

## WORKSHOP 8

*Scuola Secondaria II grado (filosofia)***LA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA**

MARCO SALUCCI

*Liceo Scientifico "Gobetti", Firenze***1. Presentazione**

Mi è stato chiesto di simulare una lezione di filosofia davanti a colleghi allo scopo di suscitare un dibattito sulla didattica della disciplina. Mi è stato anche indicato di dividere il mio intervento in due parti: la prima dedicata a una breve presentazione dei presupposti metodologici e curricolari della lezione, la seconda alla lezione vera e propria. Al riguardo, sono stato incerto se utilizzare una presentazione con videoproiettore: se dobbiamo simulare una lezione di fronte agli studenti allora la tecnologia più evoluta di cui posso avvalermi non può essere che una lavagna e del gesso. Dal momento, però, che i partecipanti al workshop non disponevano del libro di testo allora mi è sembrato opportuno e legittimo usare qualche diapositiva per visualizzare i passi dei testi che utilizzerò.

Di solito negli incontri dedicati alla didattica si parla di didattica, intendendo la didattica come una metodologia separata dal contenuto. Non sarà il nostro caso. E ciò è perfettamente chiaro agli organizzatori di questo incontro: quel che hanno chiesto non è un intervento sulla didattica ma una lezione, cioè la presentazione di un contenuto determinato. Sono del tutto convinto dell'oziosità della discussione sulle didattiche separate dai contenuti; sarà una banalità ma mi pare che troppo spesso pedagogisti e riformatori scolastici dimentichino che non si può sapere come insegnare qualcosa senza sapere cosa si deve insegnare. Ci sarà allora una specifica didattica della letteratura, della fisica, della matematica e della filosofia. Sennonché per la filosofia la faccenda si complica. Sono anni che si discute se si debba adottare un approccio storico, teoretico o problematico all'insegnamento della filosofia. Non se n'è venuti a capo, e in ciò credo ci sia una morale: tutti questi approcci possono essere utilizzati – dipende dal contenuto, appunto.

La filosofia è un'impresa sia storica, sia teoretica, sia problematica. La morale che si può trarre dal più recente dibattito sulla didattica della filosofia, e dal fatto stesso che il dibattito continui, è che non basta un solo metodo d'insegnamento per sfruttare appieno le potenzialità formative della disciplina. Le impostazioni storiche o problematiche; la presentazione in forma antologica o 'narrativa'; l'approccio disciplinare o interdisci-

plinare: sono tutte opzioni che *da sole* non sono risolutive delle esigenze e dei problemi che s'incontrano nell'esperienza concreta del lavoro in classe. Caso per caso, nel vivo dell'interazione quotidiana con gli alunni, si tratterà piuttosto di trovare le misure e i 'dosaggi' giusti. E non è detto che siano gli stessi per tutti i docenti, o anche per uno stesso docente in situazioni diverse. In sintesi, direi che ci sono quattro possibilità: la narrazione di un'epoca che si sviluppa secondo una prospettiva storica, inquadrando autori e correnti filosofiche nell'atmosfera culturale propria di ogni epoca; la presentazione del pensiero di un singolo autore; la lettura e il commento di brani più o meno ampi dei testi originali; l'esame delle questioni, dei temi o dei problemi classici e spesso tuttora dibattuti della filosofia, mettendo a confronto, per ognuno di essi, la varietà delle tesi sostenute e delle soluzioni proposte. Ho cercato, insieme ad altri, di mettere in pratica tale prospettiva in un manuale edito recentemente, dal quale sono tratti alcuni brani della parte seconda.

## **2.L'argomento della lezione**

Nel contesto di quest'incontro mi è sembrato naturale presentare una lezione sulla rivoluzione scientifica del XVII secolo. Si tratta di un argomento prezioso non solo le sue ovvie aperture interdisciplinari – tutti gli argomenti lo fanno! – ma soprattutto perché tali aperture guardano alla scienza naturale. Uno dei limiti dell'insegnamento della filosofia mi pare consista nella tendenza a considerare la filosofia una materia "letteraria".

La lezione è rivolta a una classe del penultimo anno del liceo (IV scientifico o II liceo classico). Nello svolgere l'argomento adatterò principalmente due dei quattro approcci sopra ricordati: quello storico e quello teoretico-problematico. Anzi (e questo – q.e.d. – dipende dal contenuto) nel caso specifico l'approccio teoretico è preliminare a quello storico. È decisivo capire tale fatto perché coinvolge non solo la didattica della filosofia ma della scienza in generale. Mettiamo da parte la questione, pur urgente, della disaffezione delle nuove generazioni nei confronti dello studio e consideriamo i soggetti più motivati e capaci: se qualcosa non funziona con loro a maggior ragione non funzionerà con tutti gli altri. La maggioranza degli allievi bravi spesso sono tali solo perché si sono rifugiati nel nozionismo: ripetono una serie di nozioni che hanno imparato in modo acritico. Uno degli elementi su cui bisogna riflettere è il fatto, direi antropologico e psicologico prima che culturale, che noi siamo, dal punto di vista scientifico, spontaneamente aristotelici. Le modalità percettive e le strategie cognitive di cui gli esseri umani sono dotati danno una rappresentazione del mondo che è molto lontana dalla scienza moderna: una rappresentazione ben studiata in letteratura e che è nota come "fisica ingenua". Siccome la fisica aristotelica è fondata sulla fisica ingenua ecco che Aristotele ci sembra molto più plausibile di Galileo. Quando studiamo la scienza moderna dobbiamo combattere contro l'Aristotele che è dentro ognuno di noi. Lo studio della nascita della scienza può diventare un'introduzione alla scienza. Insomma nel ripercorrere le tappe della nascita della scienza non possiamo fornire solo una serie di nozioni teoriche e storiche, dobbiamo fare molto di più: rendere gli studenti

consapevoli di quanto e del perché sono sbagliate le loro idee spontanee che hanno sul mondo fisico. È solo così, confutando l'Aristotele che è in noi che possiamo far nascere un Galileo.

In quanto detto credo che siano chiari gli aspetti metodologici (lezione frontale con lettura e commento di testi: non perché sia la migliore metodologia possibile ma perché, di norma, è quella più praticabile e praticata) e curriculari (penultimo anno del liceo, sono presupposte nozioni base della filosofia aristotelica e della fisica). L'esperienza concreta che ho maturato nella presentazione agli studenti dell'argomento mi permette di dire che sono riuscito a suscitare un interesse e un'attenzione vivaci (punto di forza), ma che, alle successive verifiche, la maggior parte degli allievi non riusciva ad andare oltre il nozionismo; forse sconto qualche difetto di chiarezza? Credo però che gran parte di valutazioni del genere siano da riservarsi al dibattito in questo workshop e in primo luogo alle impressioni che i partecipanti hanno ricavato dall'esposizione (mi riferisco in particolare ai punti di forza e di debolezza).

### 3. Lezione simulata

La (prima) Rivoluzione scientifica si colloca tra la metà del XVI sec., l'epoca di Copernico, e i primi anni del XVIII, l'epoca di Newton. Più esattamente fra la pubblicazione dell'opera di Copernico, il *De revolutionibus orbium coelestium* del 1543, e quella del capolavoro di Newton, i *Philosophiae naturalis principia mathematica* avvenuta nel 1687. L'astronomia è il motore della rivoluzione scientifica.

*SCIENZA E SCIENZA INGENUA, ovvero ... quando l'ovvio è falso.* Uno dei tratti caratteristici della scienza contemporanea è quello di sconvolgere le opinioni e le credenze dell'uomo comune. Spesso i risultati della ricerca scientifica suscitano stupore e non di rado lasciano increduli; ciò non solo perché mostrano orizzonti che vanno al di là dell'immaginazione dell'uomo comune, ma anche perché mostrano che gran parte di ciò che l'uomo comune ritiene vero è in realtà falso. La differenza fra l'apparenza e la realtà, la differenza fra come crediamo che stiano le cose del mondo e come in realtà stanno, è sempre stato un tema centrale per la filosofia fin dalle sue origini. Tuttavia, il divario fra apparenza e realtà si è molto accentuato da quando la scienza moderna ha cominciato a elaborare la sua immagine del mondo. Comincerò con un esempio molto semplice: spingo la penna sulla superficie di questo tavolo, ma appena smetto di spingerla la penna si ferma. Che cosa c'è allora di più ovvio dell'affermare che "gli oggetti si muovono fino a che dura la forza che li fa muovere"? L'uomo comune la pensa così, Aristotele la pensava così. Molti, oggi, la pensano così. Peccato che sia falso. Vedremo più avanti il perché; adesso mi interessa un esempio, molto elementare, di analfabetismo scientifico.

Le ragioni di tale analfabetismo sono varie e complesse; richiederebbero un esame delle politiche educative e scolastiche, degli indirizzi dell'industria culturale e dei mass media, dei caratteri della cultura nazionale (nel caso del nostro paese, una cultura tradizionalmente di tipo letterario, umanistico e giuridico). L'analfabetismo scientifico esiste, innegabilmente, e in Italia il problema è particolarmente grave. Premesso ciò,

vorrei concentrarmi su un aspetto diverso, che chiamerò 'antropologico': l'ignoranza scientifica dell'uomo comune dipende dalla distanza che c'è fra le teorie scientifiche e il modo con cui l'uomo comune vede e percepisce spontaneamente il mondo.

*QUALITÀ VS QUANTITÀ.* La formulazione forse più efficace della distanza fra l'immagine scientifica del mondo e quella dell'esperienza comune è stata espressa da Eddington nel 1929 quando, introducendo la sua opera *The Nature of the Physical World*, dichiarava di averla scritta seduto ai suoi due tavoli:

uno di essi mi è familiare fin dall'infanzia [...] Ha estensione; è relativamente costante; è colorato; soprattutto, è solido [...] L'altro [...] è soprattutto vuoto. Disseminate in questo vuoto ci sono numerose cariche elettriche che viaggiano a gran velocità; ma la loro massa complessiva è meno di un milionesimo della massa del tavolo medesimo [...] Non ho bisogno di dirvi che la scienza moderna mi ha assicurato [...] che il mio secondo tavolo, quello scientifico, è il solo che esista realmente.

E Galileo:

io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'è in questo o in quel luogo, in questo o in quel tempo, che si muove o sta ferma [...], ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta non sento farmi forza alla mente di doverla concepire accompagnata da cotali condizioni [...] Per lo che io vo pensando che questi sapori, odori ecc. [...] tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate e annichilate tutte queste qualità. (*Il Saggiatore* 1623)

Assumendo una distinzione terminologica e concettuale che dominerà la filosofia moderna e contemporanea, Galilei (sempre nel *Saggiatore*) distingue le qualità primarie (forma, movimento, posizione ecc.), che sono possedute dai corpi indipendentemente dal fatto di essere conosciuti da qualcuno, dalle qualità secondarie (colori odori, sapori ecc.) che dipendono dal soggetto che conosce in quanto sono causate dalla stimolazione dell'oggetto sugli organi di senso.

La filosofia è iscritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.

Il primo carattere della scienza che dobbiamo prendere in considerazione è l'approccio quantitativo ai fenomeni della natura, cioè l'applicazione della matematica – scienza che studia le quantità – allo studio dei fenomeni fisici. Galileo Galilei (1564-1642) fu il primo ad utilizzare tale approccio: perfino Cartesio (1596-1650) che, con la geometria analitica, aveva applicato l'algebra alla geometria, non aveva avuto l'intui-

zione di applicarla anche alla fisica.

In quanto tesa a favorire una descrizione quantitativa della realtà, la scienza moderna si differenzia radicalmente dal sapere precedente. La scienza antica, medievale e rinascimentale era infatti legata alla ricerca di qualità. La magia rinascimentale prosegue l'approccio medievale alla natura: essa cerca qualità come il calore o il colore, la pesantezza o la leggerezza, attribuendole alla vera natura delle cose. Alcuni passi tratti dal *De occulta philosophia* di Cornelio Agrippa (1486-1535) possono servire a illustrare l'atteggiamento della magia naturale del XVI secolo.

Ciascun elemento ha due qualità specifiche, di cui la prima gli è caratteristica e inscindibile e l'altra è transattiva e comune a un altro elemento. Così il fuoco è caldo e secco, la terra è secca e fredda, l'acqua è fredda e umida e l'aria è umida e calda. [...] Dicono che una pietra morsicata da un cane rabbioso abbia il potere di discordia, se messa in una bevanda. [...] una pozione di cervello d'orso bevuto nel cranio dell'orso rende feroce come un orso [...] l'unghia del cavallo o del mulo fa fuggire i topi e quella del piede sinistro del mulo anche le mosche. [...] la gazza ciarliera annunzia gli ospiti o significa compagnia [...] le api sono di buon augurio ai sovrani e indicano l'obbedienza dei sudditi. Le mosche significano molestia e impudenza, perché per quanto le si scaccino ritornano sempre.

Come si vede chiaramente nella citazione di Agrippa, secondo l'approccio qualitativo le cose sono ciò che sembrano essere: ciò che sentiamo caldo è realmente tale, il calore è una reale proprietà dell'oggetto e non una nostra sensazione. La stessa cosa vale per l'umido, per il nero, ma anche per la rabbia, la ferocia, l'impudenza. La scienza ha invece introdotto e poi sempre più ampliato la distanza fra ciò che sembra e ciò che è: il calore è l'energia cinetica media, il colore è una radiazione elettromagnetica, i moti reali degli astri non sono come appaiono e così via. La differenza fra come le cose sono e come appaiono emerge ben presto nell'astronomia: moto apparente e moto reale.

Come è ancora evidente nel brano di Agrippa, la magia presenta anche una peculiare componente antropocentrica e antropomorfa: agli esseri e agli eventi naturali vengono attribuiti caratteri umani; gli esseri e gli eventi naturali hanno un significato per l'uomo (la gazza, le api, le mosche «significano che...»). Nella concezione magica il cosmo è animato da forze vitali che hanno strette relazioni con l'uomo e alle quali la magia si propone di comandare. Per la scienza del XVII e del XVIII sec. invece la natura è soggetta solo a leggi meccaniche che descrivono il comportamento di parti materiali inanimate in movimento. Meccanicismo.

*IDEE E PRINCIPI BASILARI.* Con quanto detto, abbiamo già introdotto un'idea fondamentale che caratterizza la prima rivoluzione scientifica:

1. La matematica giuoca un ruolo fondamentale nella scienza. Le leggi della natura sono formulate e formulabili in termini geometrico-matematici.

Vediamone altre:

2. La Terra non è il centro né del sistema solare né, tantomeno, dell'universo.

3. La Terra si muove su se stessa e intorno al Sole.
4. Le leggi della natura sono ubiquitarie, valgono in tutto l'universo. Le leggi che gli scienziati scoprono sulla Terra, per esempio quelle del moto, sono valide anche per qualsiasi altra regione dell'universo.

Per farsi una prima idea della portata che la nascita della scienza moderna ebbe sulle idee delle epoche precedenti, basta considerare che *nessuna* delle affermazioni di cui sopra era condivisa prima del XVII sec. Vediamo come sulla base dell'esperienza quotidiana, ragionerebbero gli scienziati antichi e medievali.

Su 2): «Tutti i movimenti dei corpi celesti osservati dalla Terra hanno come centro l'osservatore», quindi la Terra è il centro del sistema. Pertanto l'affermazione 2 è falsa. «Osservando il cielo vediamo che il Sole e le stelle si spostano, ma non percepiamo nessun movimento della Terra», quindi la Terra è immobile e i corpi celesti si muovono. Perciò la 3 è falsa.

Su 3): «Un oggetto posto su un corpo in movimento, se non vi è fissato, tende a cadere in direzione contraria al senso del movimento»; ne consegue che la Terra è immobile, altrimenti gli oggetti che si trovano sulla sua superficie (compresi uomini e animali) cadrebbero spostati in direzione contraria al suo movimento. Quindi l'affermazione 3 è falsa.

Su 4): «Se smettiamo di spingere un carretto questo si ferma», quindi i corpi tendono a stare fermi, in quiete. Per spostarli occorre applicare loro una forza, quando cessa l'applicazione della forza i corpi si arrestano. Il movimento dei corpi celesti invece è incessante. Inoltre, a meno che non siano costretti a fare diversamente, i corpi si muovono sulla Terra di moto rettilineo. I movimenti dei corpi celesti sono invece circolari. Quindi ci sono moti caratteristici dei corpi terrestri e moti caratteristici di quelli celesti; la fisica terrestre è diversa da quella celeste, di conseguenza l'affermazione 4 è falsa. «I corpi pesanti, come i sassi, cadono verso il basso, quelli leggeri, come alcuni gas o le fiamme, tendono verso l'alto», quindi vi sono dei luoghi verso cui i corpi, a seconda della loro natura, tendono spontaneamente a dirigersi e a rimanervi. Il movimento di questi corpi pesanti e leggeri è rettilineo (verso l'alto o verso il basso), mentre il movimento naturale dei corpi celesti è circolare, quindi, di nuovo, la 4 è falsa.

*NEI PANNI DI UNO SCIENZIATO MODERNO.* Vediamo adesso come si pone la scienza di fronte alle proposizioni di cui sopra. Galileo compie due semplici esperimenti. In realtà non li compie neppure: si tratta di due esperimenti di pensiero (uno necessariamente tale, l'altro nemmeno c'è bisogno di realizzarlo).

Il primo esperimento illustra il principio galileiano di relatività: gli oggetti che si trovano in un sistema in movimento condividono il movimento del sistema. Il fatto che noi non percepiamo il movimento della Terra dipende da tale principio.

Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; [...] sospendasi in lato qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando

dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto abbasso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza [...]; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; [...] e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina oppure sta ferma: [...] le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi [...] E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'esser il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora.

*Dialogo sopra i due massimi sistemi...*, Giornata seconda

Immaginiamo di far correre una palla lungo una superficie: tanto più levigata sarà la superficie tanto più a lungo durerà il movimento della palla. Si può immaginare che su una superficie totalmente levigata la palla non si arresti mai (assenza di attrito).

I corpi tendono a mantenere il loro stato di quiete o di moto (principio d'inerzia) a meno che non intervenga una forza a mutarlo. Se un corpo in moto si ferma è perché incontra un attrito; nel caso della caduta, l'attrito dell'aria. La piuma giunge a toccare il suolo dopo la palla di piombo perché offre più resistenza all'aria, in condizioni di vuoto. Si può dare una descrizione matematica della caduta (in termini di spazi e tempi) senza ricorrere a concetti qualitativi come pesantezza e leggerezza. La pesantezza e la leggerezza non sono proprietà intrinseche dei corpi ma dipendono dalla forza di gravità con cui la Terra li attrae. Questo principio vale tanto sulla Terra che nel cielo. I movimenti rettilinei di caduta sulla Terra e quelli circolari dei pianeti sono descritti dalla stessa legge, quella della gravitazione universale. Dunque le leggi di natura sono universali.

Essendosi ritirato nel 1666 in campagna, nei pressi di Cambridge, un giorno, mentre passeggiava nel suo giardino, vedendo dei frutti cadere da una pianta, egli si abbandonò a una profonda meditazione su quella gravità su cui tutti i filosofi hanno cercato per tanto tempo, senza successo, la causa, e in cui il volgo non vede nessun mistero. Egli si disse: "Da qualunque altezza cadano nel nostro emisfero quei corpi, la loro caduta avverrà sempre secondo la progressione scoperta da Galileo; e gli spazi da essi percorsi saranno sempre proporzionali al quadrato dei tempi. Questo potere che fa scendere i corpi è sempre il medesimo, senza nessuna diminuzione degna di nota, a qualsiasi profondità ci si trovi dentro la Terra o sopra la più alta montagna. Perché dunque questo potere non si dovrebbe estendere sino alla Luna? E, se è vero che si estende sino a essa, non è molto verosimile che sia esso a trattenerla nella sua orbita e a determinarne il movimento? E se la Luna obbedisce a

tale principio, quale esso sia, non è più che ragionevole credere che gli siano egualmente soggetti anche gli altri pianeti?

Voltaire, *Elementi della filosofia di Newton*

*ASTRONOMIA.* Il moto dei corpi celesti è la questione più rilevante all'inizio della rivoluzione scientifica. A chi li osservi dalla Terra, i movimenti dei corpi celesti che appaiono in cielo sono fondamentalmente di tre tipi: quello del Sole e della Luna, che descrivono un arco sull'orizzonte; quello delle stelle, che descrivono circonferenze intorno a un centro posto in prossimità della Stella Polare; quello dei pianeti, che invece appare irregolare. L'osservazione continuata dei movimenti dei corpi celesti mette dunque in evidenza che esistono non solo i moti circolari come quelli delle stelle o del Sole, ma anche moti irregolari come quelli dei pianeti del sistema solare. Del resto, la parola 'pianeta' deriva dal greco e significa "vagabondo". I pianeti sembrano ora allontanarsi, poiché appaiono più piccoli, ora avvicinarsi, poiché appaiono più grandi. Ma il carattere saliente del moto dei pianeti è di essere a volte retrogrado: in certi periodi dell'anno sembrano rallentare e perfino tornare indietro: raggiunta una certa posizione sulla volta celeste i pianeti invertano la direzione del movimento. La traiettoria che essi descrivono nel cielo assume la forma di un cappio e, perciò, il loro movimento è detto retrogrado. Il moto dei pianeti ha costituito il principale problema per i sistemi astronomici antichi e medievali e anche, come vedremo, il principale motivo della loro evoluzione. (A questo punto è opportuno servirsi di alcune figure che mostrano come, osservando il cielo per un periodo sufficientemente lungo e riportando le posizioni dei vari corpi celesti su una mappa, risulta il loro movimento apparente.)

*ESPERIENZA ED ESPERIMENTO.* I principi fondamentali (geocentrismo, immobilità della Terra, tendenza alla quiete, distinzione fra fisica terrestre e fisica celeste) su cui si fondavano la fisica e l'astronomia aristotelica, erano, come abbiamo visto, sostenuti dall'osservazione. Non è, dunque, del tutto corretto affermare, come a volte si fa, che la scienza moderna si differenzia da quella antica per il ricorso all'osservazione. Occorre invece precisare che è il *tipo di osservazione* che fa la differenza: l'osservazione che conduce a sostenere i principi della cosmologia aristotelica è l'esperienza quotidiana, mentre l'osservazione praticata dalla scienza è l'esperimento.

Se l'esperienza quotidiana fosse alla base della scienza, allora la scienza contemporanea sarebbe ancora quella aristotelica. I dati dell'esperienza comune, infatti, depongono a favore di una fisica di tipo aristotelico: sembra a tutti molto "naturale" che un corpo pesante cada a terra; ugualmente troviamo "naturale" che la fiamma si diriga verso l'alto ed è perciò che posiamo le pentole sopra e non sotto il fuoco. Troviamo altrettanto naturale che, se tutte le cose fossero al loro posto, non ci sarebbe movimento: non c'è, né per la fisica aristotelica né per quella del senso comune, nessun bisogno di spiegare perché i corpi stanno in quiete, ma c'è invece bisogno di spiegare perché si muovono. Come un carro si muove solo se viene spinto o tirato e continua a muoversi solo fintanto che gli viene applicata una forza, così è anche per tutti i corpi, secondo Aristotele. La



quiete è la loro condizione naturale; il moto si verifica solo se c'è un motore che lo causa e lo mantiene; il moto non persiste da solo, come invece accade per la quiete.

A differenza dell'esperienza quotidiana, che avviene in modo casuale, l'esperimento è invece un'esperienza controllata. Esso è caratterizzato cioè dalla costruzione di una situazione artificiale nella quale lo sperimentatore isola gli aspetti del fenomeno che ritiene determinanti da quelli che ritiene estranei o accessori. Non si tratta dunque di una semplice osservazione, ma, come ha scritto Galilei, di una domanda che poniamo alla natura. È necessario allora costruire strumenti e meccanismi in grado di riprodurre e di misurare il fenomeno oggetto di studio. Ad esempio, l'esperimento con il quale si dimostra il principio, stabilito da Galilei, secondo il quale i corpi cadono con la medesima velocità indipendentemente dal loro peso, viene realizzato lasciando cadere corpi di peso diverso in un contenitore in cui sia stato fatto il vuoto, la cosiddetta bottiglia di Newton.

Troviamo qui tutti gli elementi che caratterizzano ogni esperimento:

1. l'esperimento non coincide con l'esperienza: infatti nell'esperienza quotidiana non ci troviamo mai in una situazione di vuoto;
2. la bottiglia di Newton è un apparecchio costruito appositamente;
3. l'apparato elimina gli elementi che potrebbero alterare i risultati (la presenza dell'aria);
4. esso pone una domanda alla natura ("la diversa velocità di caduta dipende dalla presenza di aria?");
5. l'esperimento presuppone un'ipotesi, una teoria, dalla quale risulti che l'aria è un elemento che può alterare i risultati.

L'esperimento suppone che sia stata avanzata un'ipotesi su *come-funziona-la-natura* e quindi su come debbano andare le cose nel corso dell'esperimento stesso. Nel caso in questione: tutti i corpi cadono con velocità costante a meno che ci siano forze, come l'attrito dell'aria, che vi si oppongono. Senza un'ipotesi preliminare (che ci permette di formulare la domanda, di eliminare gli elementi ritenuti non essenziali, di costruire gli strumenti ecc.) non è possibile progettare e quindi effettuare nessun esperimento. È chiaro che la formulazione di un'ipotesi, la costruzione di un esperimento e la valutazione dei risultati suppongono l'uso della logica e della ragione.

SCIENZA E TECNICA. La Rivoluzione scientifica non sarebbe stata possibile senza una collaborazione fra scienza e tecnica. Abbiamo già osservato come l'esperimento consista sostanzialmente nella costruzione di un apparato in cui vengono riprodotti certi aspetti di un fenomeno naturale. I dati ottenuti con l'esperimento devono essere poi misurati attraverso appositi strumenti. Apparati sperimentali e strumenti di misura sono "macchine" per la costruzione delle quali è indispensabile l'apporto di conoscenze tecnologiche. Il periodo di cui ci stiamo occupando è in effetti anche un momento d'impetuoso sviluppo della tecnologia, come è attestato dai numerosi manuali che vengono compi-

lati e che trattano di arte mineraria, metallurgia, arte militare, fortificazioni, architettura, navigazione, idraulica. Nasce una nuova figura di 'intellettuale', esemplarmente rappresentata da Leonardo da Vinci, che coltiva sia la ricerca teorica che l'applicazione pratica. La tecnica per la progettazione e la costruzione di macchine, la meccanica, fornisce un modello per una nuova concezione della natura: come le macchine sono costituite da parti materiali in movimento, così la natura comincia a essere concepita come una grande macchina, un insieme di parti materiali in movimento. La meccanica, da semplice tecnica, diverrà dunque il centro generatore della nuova scienza fisica e il meccanicismo, l'idea che la natura sia una macchina composta solo da corpi in movimento, sarà la concezione filosofica che accompagnerà la nuova scienza della natura.

Ma la necessaria collaborazione fra scienza e tecnica poteva aver luogo, a sua volta, solo se fosse stato superato l'atteggiamento che la scienza antica e medievale avevano nei confronti della tecnica e del lavoro manuale in genere. L'intreccio sempre più inestricabile fra conoscenze tecniche e teoriche dà luogo a una nuova figura di intellettuale, esemplarmente rappresentata da Leonardo da Vinci (1452-1519). Gli scienziati che si accingevano a costruire il nuovo sapere attribuirono un ruolo decisivo alla tecnica, ancora fortemente avversata dalla scienza ufficiale dell'epoca. Galileo apre i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* con l'osservazione che le macchine dell'arsenale veneziano offrono numerosi spunti per filosofare.

Largo campo di filosofare a gl'intelletti specolativi parmi che porga la frequente pratica del famoso arsenale di voi, Signori Veneziani, ed in particolare in quella parte che meccanica si domanda; atteso che quivi ogni sorte di strumento e di machina vien continuamente posta in opera da numero grande d'artefici, tra i quali, e per l'osservazioni fatte dai loro antecessori, e per quelle che di propria avvertenza vanno continuamente per se stessi facendo, è forza che ve ne siano dei peritissimi e di finissimo discorso.

Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, in: *Opere*, cit., vol. VIII, p. 49

È in tale contesto che deve essere considerata la pratica rivoluzionaria di utilizzare apparecchi meccanici come strumenti scientifici. Galilei fu il primo a usare il cannocchiale a scopi scientifici; e questo atto apparentemente semplice segnò l'inizio di una rivoluzione nella scienza, anzi segnò l'inizio della stessa scienza moderna.

## L'INFINITO NELLA MATEMATICA, NELLA LETTERATURA, NELLA MUSICA, NELLA FILOSOFIA

### *Le ragioni di una mostra*

ATTILIO FERRINI

*I.S.I.S.S. "Giovanni da San Giovanni", San Giovanni Valdarno*

#### **1. Motivazioni del progetto**

Da molti anni, nei primi giorni di scuola, do agli studenti un tema "Io e la Matematica" e li invito a esprimere liberamente le loro idee.

«La matematica non mi piace per niente. Alle elementari ero una delle più brave e anche in I<sup>a</sup> media. Poi in II<sup>a</sup> media ho cominciato ad avere difficoltà a capire quello che mi spiegava la prof ... Tremavo ogni volta che ci riportava i compiti in classe» (Elisa, I G). «A me la matematica non è mai piaciuta ... forse perché alle elementari avevo una maestra terribile. Questa maestra non mi ha mai considerato simpatica e faceva di tutto per dimostrarcelo ... Tutt'ora, se mi viene messo un problema di matematica davanti agli occhi, mi sento morire perché so che non lo risolvo» (Claudia, I G). «Io e la matematica negli ultimi tempi siamo come cane e gatto.» (Gabriele, I G). «Ora mi ritrovo in prima superiore e se penso che dovrò convivere ancora cinque anni con la matematica mi sento male. Comunque, una cosa è certa: finite le superiori non voglio più saperne di MATEMATICA!!!» (Giulia, I G).

Le affermazioni degli studenti, che sono quasi tutte di questo tono, ci fanno capire quanti danni siano stati causati da un insegnamento ripetitivo, privo di slancio e creatività. Bisognava fare qualcosa, rompere quel 'contratto didattico' tra insegnante e allievo: tu mi riferisci quello che io ti dico ed io ti premio con voti più o meno alti – il che ci fa vivere tranquilli, ma non fa emergere le potenzialità dell'uno e dell'altro.

Nel maggio del 2000 partecipai al Convegno Internazionale di Didattica della Matematica di Terranuova Bracciolini sul tema: *Matematica e Didattica, tra sperimentazione e ricerca*, tenuto da Bruno D'Amore. Fu una fucina di idee che mi spinsero a ricercare nuove strade. Con una collega di Lettere che proveniva dalla scuola media, e per questo non ancora catturata dagli infiniti laccioli reali o fittizi, che ognuno di noi porta come scusa per giustificare la propria routine (i compiti, gli orari, il programma e la mancanza di tempo per attuarlo) decidemmo di adottare in classe il libro di D'Amore *Più che l'doppiare de li scacchi s'inmilla*.

Si sviluppò un progetto interdisciplinare che entusiasmò a tal punto gli studenti che nacque anche l'idea di creare una mostra che rendesse visibili i risultati ottenuti. Gli

studenti presentarono i loro lavori agli esami di maturità, trovando anche il consenso entusiasta della commissione esaminatrice.

A questo seguì un secondo progetto, *L'Infinito: nella Matematica, nella Letteratura, nella Filosofia, nella Musica*, che ha coinvolto dodici insegnanti e due operatori volontari, tra cui gli insegnanti di Inglese, Francese, Russo, Spagnolo, Tedesco. Il progetto prevedeva oltre alla mostra, uno spettacolo-concerto *Musica e Poesia per l'Infinito*, con letture di poesie di *Baudelaire, Beelove-Binadee, Garcia Lorca, Leopardi, Eichendorff, Ungaretti*; e musiche di *Bach, Schumann, Chopin, Listz, Paganini, Piovani, Morricone, M.T. Paradais*; recitate e suonate al pianoforte e al violino dagli studenti. Un seminario in collaborazione con L'Istituto Comprensivo "Giovanni XXII" di Terranova Bracciolini sul tema *Quattro passi negli Infiniti*, organizzato da Maria Paola Nannicini, e uno spettacolo teatrale, *Ipazia, scienziata alessandrina*, tratto dal testo di Mario Luzi, *Libro di Ipazia*.

## 2. Il progetto della mostra sull'infinito

Partendo dal tradizionale programma di matematica, che prevede nelle ultime classi lo studio di limiti, funzioni, derivate, integrali, dove gli studenti incontrano espressioni come "limite infinito di una funzione per  $x$  tendente a infinito", partendo a ritroso, siamo andati a cercare dove hanno origine questi concetti. Nel nostro viaggio attraverso l'infinito, ci siamo incontrati con i filosofi greci, Ipazia, l'infinito assoluto dei teologi, la prospettiva del Quattrocento, Giordano Bruno, Galileo e – incredibile a credersi – con il personaggio interpretato da Robin Williams nel film *L'attimo fuggente*, passando attraverso Leibniz e i Pink Floyd.

Essendo la nostra scuola un Liceo linguistico, le insegnanti di lingue (Francese, Inglese, Russo, Spagnolo, Tedesco) hanno scelto una poesia ed un autore che esprimesse l'idea di infinito, mentre l'insegnante di italiano ha approfondito il tema dell'infinito in Leopardi ed Ungaretti.

Una studentessa che frequentava il conservatorio ha trattato il tema dell'infinito nella musica con riferimento a Bach, Schubert, Wagner, Schönberg e Berg.

Credo che abbiamo centrato l'obiettivo di rendere gli studenti attivi nella costruzione della propria formazione: far vivere la scuola come qualcosa che li avvicini al loro mondo, ne valorizzi le potenzialità; la scuola come luogo dove si ricerca, si sperimenta, si realizza, in sintonia con la naturale curiosità degli allievi; dove si produce qualcosa, un'idea innovativa o un oggetto, comunque il frutto di un lavoro che al tempo stesso ne rappresenta il senso agli occhi dei giovani: mostrare i prodotti della ricerca ad una platea che superi i limiti dell'ambiente scolastico è una forte motivazione al fare, all'assunzione di responsabilità, all'apprendimento.

Inoltre abbiamo voluto far vedere come, Matematica, Poesia, Filosofia, Musica, pur nella loro diversità, si compenetrino e offrano una lettura comune del senso dell'infinito. La *profondissima quiete, i sovrumani silenzi, gli interminati spazi*, leopardiani che ci richiamano alla Filosofia, alla Musica, alla Matematica, trovano nella "voce del vento", cioè nella *Poesia*, la chiave che apre l'anima dell'uomo all'infinito.

... non vi è alcuna incompatibilità  
Fra l'esatto e il poetico.  
Il numero è nell'arte come nella scienza  
L'algebra è nell'astronomia e l'astronomia  
Confina con la poesia.  
L'anima dell'uomo ha tre chiavi che  
Aprono tutto: la cifra, la lettera, la nota.  
Sapere, pensare, sognare.  
(Victor Hugo)

## WORKSHOP 8 – SINTESI DEI LAVORI

CARLO BERNARDINI

*Comitato Scientifico di Pianeta Galileo*

L'incontro del 7 novembre scorso, Prove d'orchestra, a San Giovanni Valdarno, nell'ambito delle attività regionali del programma Pianeta Galileo, ha visto la partecipazione introduttiva di due docenti, Attilio Ferrini dell'ISISS (locale) Giovanni da Sangiovanni e Marco Salucci del Liceo Scientifico Gobetti di Bagno a Ripoli, di 12 insegnanti di scuola secondaria di secondo grado, provenienti da vari comuni toscani e di un coordinatore (il sottoscritto).

Le relazioni di base, cui si riferiscono i due testi precedenti, riguardavano la matematica (Ferrini) e la filosofia (Salucci) nei loro rapporti con le altre discipline scolastiche. Una mostra, allestita mediante pannelli nelle sale dell'istituto ospitante e sapientemente guidata da allieve poliglote del professor Ferrini, riguardava la presenza dell'infinito nelle scienze e nelle arti e poteva essere visitata negli intervalli.

La relazione di Attilio Ferrini prende le mosse da quello che oggi si chiama comunemente il "rifiuto della matematica", così come viene espresso senza reticenze dagli allievi in ogni scuola e qui, in particolare, in un Liceo Linguistico: seguendo un tracciato di "umanizzazione" che prende spunto dai suggerimenti di Bruno D'Amore, Ferrini spiega come, con una collaborazione tra colleghi di varie discipline, si sia riusciti a ravvivare l'interesse degli allievi, che appariva assai spento dalla ripetitività e dal nozionismo fine a se stesso dell'insegnamento ordinario. Vari colleghi presenti hanno convenuto sull'importanza di questa didattica interattiva e sull'interesse che avrebbero i modi di renderla istituzionale – modi peraltro di difficile attuazione. Si discutono alcune perniciose modalità astratte dell'insegnamento, residui di infausto bourbakismo, che tra l'altro non tengono conto delle necessità dei non-matematici di usare matematiche elementari e capacità di valutazione nella vita comune. C'è tutto un settore di matematica intuitiva e qualitativa che andrebbe coltivato anche nella didattica: riguarda gli *ordini di grandezza*, l'*arrotondamento* e la *similitudine* (con l'esempio del teorema di Pitagora).

La relazione di Marco Salucci verte su un settore trascurato nell'insegnamento se-

condario: il rapporto tra filosofia e scienze. Concordato tutti insieme che le scienze moderne rappresentano un superamento del “senso comune”, esemplificato dalla fisica ingenua aristotelica pregalilæana, sono stati discussi i vari aspetti della pratica scolastica: dai testi disponibili all’assenza di considerazioni epistemologiche pregnanti. Anche in questo caso si ravvisa l’importanza di una collaborazione interdisciplinare che, purtroppo, non è nelle tradizioni scolastiche italiane e si nota che gli aspetti linguistici sono particolarmente trascurati.

Al termine della riunione pomeridiana, mi sono permesso di lasciare alcune indicazioni bibliografiche utili nonché il mio indirizzo di posta elettronica per chi volesse proporre temi di discussione di comune interesse (che mi premurerei di far circolare con l’aiuto della segreteria di Pianeta Galileo; prego chi mi scrive di fare riferimento all’incontro “Prove d’Orchestra”): [carlo.bernardini@roma1.infn.it](mailto:carlo.bernardini@roma1.infn.it).

### **Bibliografia utile**

- Bernardini, C., Tamburini, S., *Le idee geniali*, Dedalo, Bari 2005.
- Bernardini, C., *Prima lezione di fisica*, Laterza, Roma-Bari 2007.
- Bernardini, C., *Che cos’è una legge fisica*, Editori Riuniti, Roma 2006.
- Braccesi, A., *Una storia della fisica classica*, Zanichelli, Bologna 1992.
- Braccesi, A., *Per una storia della fisica del ventesimo secolo*, Bononia University Press, Bologna 2008.
- Lombardo Radice L., *L’infinito*, Editori Riuniti, Roma 2006.
- A. Oliverio, *Strategie della scelta. Introduzione alla teoria della decisione*, Laterza, Roma-Bari 2007.