

Aristotele non è morto

Il ruolo dei preconcetti non scientifici nell'apprendimento della fisica elementare
 di Angelo Blasi [abla59@libero.it]

Sommario

Accelerazione, forze, gravità, attriti: le esperienze quotidiane di senso comune sembrano spesso in contrasto con la meccanica newtoniana. E l'apprendimento della fisica da parte degli studenti ne risente.

La fisica è comunemente considerata dagli studenti una materia difficile, destinata a specialisti o persone dalla “forma mentis” particolare. Un ruolo importante in questo giudizio è giocato dalla presenza, nelle menti degli studenti, di preconcetti non scientifici difficili da abbandonare.

In questi ultimi anni molti ricercatori hanno verificato come, sulla base delle esperienze quotidiane, gli studenti spesso sviluppano alcune idee di senso comune relative al mondo fisico che, seppur in contrasto con le teorie scientifiche accreditate, risultano essere fortemente radicate nelle loro menti e quindi di ostacolo al corretto apprendimento di nuovi concetti durante lo studio della fisica.

1. Risultati sperimentali

Molte ricerche, soprattutto nel campo della meccanica, hanno mostrato come gli schemi concettuali presenti negli studenti al momento di iniziare lo studio della fisica producano spesso problemi anche con concetti semplici come posizione, velocità ed accelerazione.

Tali ricerche sono frutto, generalmente, di test scritti ed interviste nelle quali viene chiesto di prevedere l'evoluzione di una data configurazione oppure di spiegare la causa di taluni comportamenti di un dato sistema. Alcuni ricercatori, in alternativa, assegnano dei compiti pratici in laboratorio e, in relazione alle tecniche adottate

dagli studenti per risolverli, cercano di risalire alla loro interpretazione dei concetti fisici legati al moto.

Di seguito si riporta una panoramica dei risultati ottenuti:

1.1. Uso di sistemi di riferimento assoluti

Diversi studi hanno identificato una tendenza tra gli studenti a definire il moto come una proprietà intrinseca dell'oggetto e non relativa ad un certo sistema di riferimento. In altri termini moto e quiete vengono fondamentalmente ritenuti non equivalenti. [1]

La mancanza di chiarezza circa il problema dei sistemi di riferimento porta ad esempio spesso gli intervistati a credere che su di un corpo che si muove di moto circolare uniforme agiscano contemporaneamente due forze di uguale intensità ma di verso opposto (centripeta e centrifuga) e che quindi esse si annullino ! [2].

1.2 Cinematica in due dimensioni

Altre ricerche [3] hanno evidenziato le difficoltà incontrate dagli studenti nel descrivere semplici traiettorie in due dimensioni e definire correttamente il concetto di velocità.

Le domande utilizzate allo scopo erano basate su alcuni “esperimenti concettuali” descritti da Galileo nel suo “Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo” e trattavano oggetti di masse diverse in caduta libera, oggetti in caduta in un sistema di riferimento con velocità orizzontale costante e, infine, un oggetto inizialmente in quiete che cade contemporaneamente ad un secondo oggetto con una data velocità orizzontale.

Molti studenti hanno manifestato la convinzione che in assenza di una forza orizzontale, la velocità orizzontale si annulli rapidamente e l'oggetto cada verticalmente.

Le risposte hanno quindi indicato l'incapacità di concepire le componenti orizzontale e verticale della velocità come indipendenti.

1.3. Il moto implica una forza

Un gran numero di studi ha individuato la tendenza da parte degli studenti ad associare i concetti di forza e di moto.

John Clement [4] ha mostrato come gran parte dei soggetti intervistati a proposito delle forze agenti su di un pendolo semplice, abbia indicato una forza in direzione del moto (tangente alla traiettoria) grazie alla quale "il pendolo va dall'altra parte". Questa regola intuitiva del "moto che implica una forza" ha naturalmente una forma inversa: "in assenza di forza non può esserci moto". Questa concezione è stata evidenziata in molti lavori; in uno di questi [5] vi è una semplice esperienza che consiste nel dare ad uno studente una palla e nel chiedergli di muoversi nella stanza lasciando cadere la palla, quando lo crede opportuno, in modo da poter colpire un bersaglio posto sul pavimento. I risultati indicano che la maggioranza degli studenti lascia la palla esattamente sopra al bersaglio, trascurando la velocità orizzontale di essa o assumendo implicitamente che tale velocità sia zero non essendoci forza diretta orizzontalmente.

Un'altra conseguenza di questo schema "forza-moto" è l'opinione che l'assenza di moto precluda la possibilità della presenza di una forza. Molti studenti hanno infatti difficoltà nell'individuare la presenza di forze passive in equilibri statici. In un esperimento in cui veniva chiesto ad una classe quali forze agissero su di un libro poggiato sopra ad un banco, tutti gli interrogati individuavano la forza (gravità) che il libro esercitava sul banco, mentre solo la metà indicò la forza diretta verso l'alto che il banco esercitava sul libro in opposizione alla gravità.

Le concezioni intuitive che legano i concetti di moto e di forza possono quindi essere riassunte in tre "principi":

- ogni moto implica una forza;
- se non c'è forza non c'è moto;
- se non c'è moto non c'è forza.

1.4 La forza varia con la velocità

Al precedente punto 3 sono state discusse le relazioni tra forza e moto. Esistono però molti studi che hanno cercato di evidenziare a quale aspetto particolare del moto fosse legato, nella mente degli studenti, il concetto di forza. Ne è scaturito che i ragionamenti intuitivi degli studenti sembrano far uso di una relazione pseudo-lineare tra forza e velocità del moto del tipo $\mathbf{F}=\mathbf{f}(\mathbf{v})$.

Uno dei migliori esempi di come vada condotta una ricerca in questo campo è costituito dal lavoro della Viennot [2]: in esso troviamo diversi quesiti ai quali i soggetti intervistati rispondono secondo lo schema $\mathbf{F}=\mathbf{f}(\mathbf{v})$.

Uno di tali quesiti prevede che sei sfere identiche, lanciate in aria da un giocoliere, si trovino ad un dato istante tutte alla stessa altezza, ciascuna però con diversa velocità sia in direzione sia in modulo. La domanda era corredata da una illustrazione che mostrava le sei palle, le rispettive traiettorie ed i sei vettori velocità applicati ad esse. Agli studenti fu chiesto se le forze agenti sulle sfere fossero uguali o differenti: più della metà rispose che le forze erano differenti.

Se il diagramma avesse mostrato solo i sei oggetti alla stessa quota, senza specificare velocità e traiettorie, la percentuale di errore sarebbe stata sicuramente bassissima.

La presenza di informazioni aggiuntive sulla velocità delle sfere ha dunque provocato delle grosse difficoltà agli intervistati, impegnandoli nel considerare le differenze (di nessuna importanza pratica) tra ciascuna delle sei palle.

1.5. Gravità

I molti studi effettuati sul concetto di gravità e sugli effetti da essa prodotti, mostrano per prima cosa una tendenza naturale ad associare questa forza con l'aria e l'atmosfera.

Si ritiene spesso che la gravità agisca solo fin dove arriva l'atmosfera terrestre e che sia invece assente nello spazio, sulla Luna, e, per alcuni, sott'acqua. Sovente essa viene associata unicamente agli oggetti in caduta e ritenuta agire solo a partire dalla massima altezza raggiunta dalla traiettoria di un proiettile. E' grazie, infatti, a tale azione che il proiettile viene riportato a terra.

Essa viene inoltre vista operare in modo diverso a seconda delle circostanze. Per esempio, spesso si crede che l'accelerazione di gravità dipenda dalla massa dell'oggetto, di modo che anche tra gli studenti universitari persiste la convinzione che più un oggetto è pesante e più rapidamente esso raggiunge il terreno.

Questi preconcetti vengono continuamente rinforzati dalle conversazioni quotidiane e dai mass media, ove i termini peso, pressione atmosferica, forza di gravità e spazio vuoto si fondono disordinatamente nel cercare di fornire la spiegazione del fenomeno di caduta libera di un corpo sulla Terra o del comportamento di oggetti nello spazio interplanetario [6].

2. Implicazioni per l'insegnamento

Il criterio adottato dalla maggioranza degli insegnanti della scuola superiore è generalmente quello di ignorare che nella mente degli studenti possano esistere schemi esplicativi preconcetti, per seguire invece il metodo cosiddetto della "tabula rasa": si procede, cioè, come se la semplice esposizione di formule e dimostrazioni rigorose sia sufficiente a produrre una corretta e completa comprensione della materia.

Il criterio proposto dai ricercatori in questo campo è al contrario quello di accettare l'esistenza di schemi intuitivi e, partendo da essi, cercare di educare gli studenti alla modifica graduale di tali schemi nella direzione delle teorie scientifiche accreditate.

Per esempio, secondo Clement [4]:

"I preconcetti posseduti dagli studenti non devono essere considerati esclusivamente come ostacoli per l'apprendimento. Dal momento che tali preconcetti hanno un certo potere di previsione in alcune limitate situazioni pratiche, essi possono essere pensati come modelli di ordine zero posseduti dagli studenti; modelli che possono poi essere modificati per ottenere una maggiore precisione e generalità".

Il problema a questo punto consisterebbe nell'organizzare l'insegnamento in modo tale da produrre il passaggio dalle teorie intuitive alle teorie scientifiche in maniera graduale, senza im-

porre d'autorità agli studenti tale cambiamento. Le varie proposte avanzate dai ricercatori su un possibile modello di lezione sono riassumibili nei seguenti punti:

- identificare e chiarire le idee preconcette degli studenti (ciò va fatto ponendo loro domande, senza giudicare le loro idee);
- rendere gli studenti ben consapevoli delle proprie concezioni attraverso una discussione generale in classe;
- sfidare i loro modelli attraverso controesempi;
- introdurre nuovi concetti ed idee che permettano di eliminare le contraddizioni;
- verificare la validità delle nuove idee in un ampio insieme di contesti.

3. Parallelismo tra sviluppo storico ed apprendimento della fisica

Gli studi [7] sulla crescita intellettuale di un individuo hanno portato a confrontare lo sviluppo della conoscenza individuale con lo sviluppo storico del pensiero scientifico.

Sia nello sviluppo individuale che nello sviluppo storico della scienza si riscontra, infatti, che ogni volta che un nuovo concetto non riesce ad essere integrato in una struttura concettuale già esistente, esso viene eliminato ancor prima che possa penetrarvi. Pertanto, quando una persona (o un'intera comunità scientifica) è sollecitata ad interpretare fatti che richiedono strutture cognitive non ancora disponibili, essa manifesta confusione e rifiuto della novità.

Secondo quanto appena detto non sarebbe sorprendente trovare qualche analogia tra il fenomeno della conoscenza intuitiva (ed il relativo "rifiuto" della meccanica newtoniana) ed un certo periodo della storia della scienza [8]. Vediamo dunque quali sono, se ci sono, i legami tra le idee preconcette possedute dagli studenti e le concezioni scientifiche via via succedutesi nel corso dei secoli.

Le concezioni intuitive che alcuni studenti hanno nell'ambito della meccanica sono state etichettate da diversi studiosi come "aristoteliche".

Jean Lythcott [9] fece notare come questa classificazione venne introdotta in origine con molta prudenza ed il termine “aristotelico” era più che altro una maniera di sintetizzare un concetto del tipo “*le idee intuitive degli studenti sembrano rifarsi a concezioni pre-newtoniane*”. Questa etichetta tuttavia ha fatto rapidamente molta strada essendo stata usata da molti ricercatori, senza però le opportune precauzioni e puntualizzazioni. Spesso, in questi ultimi anni, si è quindi affermato che gli schemi intuitivi degli studenti sono simil-aristotelici, la qual cosa, detta così senza spiegazioni, equivale a dire che gli studenti credono a quello cui Aristotele stesso credeva. Tutto questo, dimostra Lythcott, non è affatto vero.

A proposito della gravità il filosofo greco sosteneva che quando un oggetto cade a terra nessuna forza agisce su di esso. Egli era così fermo su questo punto da chiamare il moto di caduta libera “moto naturale” a differenza di moti soggetti a forze che venivano detti “moti violenti” o “innaturali”. Nel caso quindi di problemi relativi ad oggetti in caduta libera, su piani inclinati, ecc. è del tutto scorretto definire come aristotelico lo schema “il moto implica una forza” che viene solitamente riscontrato nei soggetti intervistati.

Anche la relazione che gli studenti spesso stabiliscono spontaneamente tra forza e velocità sembra che non avere nulla a che fare con Aristotele. Le concezioni degli studenti, seppur non newtoniane, non sono pertanto etichettabili neanche come aristoteliche.

Una sorprendente somiglianza è stata invece riscontrata [4] tra le concezioni di alcuni studenti e quelle di Galileo nei primi anni della sua carriera. Le risposte di alcuni studenti per descrivere il moto di una moneta lanciata in aria parlavano infatti di “forza impressa dalla mano maggiore del peso della moneta” e quindi di “forza che si va indebolendo fino a quando la gravità non prende il sopravvento”. Interpretazioni del tutto simili, non solo nei contenuti ma anche nella terminologia, sono ritrovabili in una delle prime opere di Galileo: “De motu”. Sebbene nelle opere successive Galileo abbia manifestato dei dubbi circa questo modo di interpretare il suddetto fenomeno, è comunque un fatto impressionante la somi-

glianza esistente tra le affermazioni di persone separate tra loro da quasi 400 anni di storia. Alla luce di questa scoperta gli errori degli studenti non appaiono più come ingenui frutti della fantasia, ma come una teoria plausibile costruita sulla base delle esperienze quotidiane.

La domanda che a questo punto dovrebbe sorgere spontanea è la seguente: qual’è l’origine di queste concezioni tanto simili seppur distanti ?

Una risposta abbastanza convincente è stata trovata da McCloskey [10], il quale sostiene che le idee intuitive degli studenti sono in accordo con una teoria ritenuta valida tre secoli prima di Newton: la teoria dell’impeto. Questa era una variazione medievale alle concezioni del moto di Aristotele. Questi due modi di pensare condividevano l’idea che il moto dovesse avere una causa, concezione questa negata dalla meccanica newtoniana. Nella fisica aristotelica la forza responsabile del moto era supposta esterna all’oggetto in movimento; ciò rendeva problematica la spiegazione del moto di un proiettile, una volta lanciato, in quanto veniva a mancare la sorgente di una forza esterna. La teoria dell’impeto aggirava questa difficoltà ipotizzando una forza interna, detta impeto, acquisita dal corpo quando veniva messo in movimento. Per spiegare il fatto che un qualsiasi corpo in movimento prima o dopo finiva con il fermarsi, i teorici avevano ipotizzato che l’impeto si dissipasse gradualmente.

Questa teoria è decisamente incompatibile con la meccanica newtoniana: se infatti secondo Newton un oggetto può essere indifferentemente considerato in quiete oppure in moto rettilineo uniforme unicamente in funzione del sistema di riferimento scelto, per la teoria dell’impeto i due stati, di moto o di quiete, sono nettamente distinti: nel primo caso l’oggetto possiede un impeto, nel secondo assolutamente no.

Riprendendo in esame l’esempio precedente della moneta lanciata per aria, la teoria in questione ne spiegava il moto ipotizzando che l’impeto verso l’alto posseduto dalla moneta stessa fosse predominante sul peso e che la dissipazione dell’impeto fosse tale da produrre un rallentamento del moto fino a quando la gravità non avesse prevalso su di esso con conseguente movimento della moneta verso il basso. Questa in-

interpretazione è esattamente uguale a quella adottata da Galileo nei suoi primi scritti ed anche, come già detto, da un gran numero di studenti non ancora istruiti secondo la teoria newtoniana.

Un'altra importante corrispondenza si riscontra a proposito del moto circolare: per la teoria medievale un oggetto in movimento su una traiettoria circolare acquista un impeto circolare che agisce in modo da conservare tale moto. Questa idea veniva utilizzata per spiegare, ad esempio, perché una ruota, una volta messa in rotazione, continuasse a girare per un certo tempo.

Anche in molti studenti è stata riscontrata [5] una concezione di questo tipo: si è constatato infatti che una buona parte di essi ritiene che una pallina, uscendo con una certa velocità da una guida di plastica circolare, continui a muoversi lungo una traiettoria curva, piuttosto che in linea retta, nella direzione della tangente, come vuole la risposta corretta.

Un ulteriore esempio è rappresentato dalla previsione della traiettoria percorsa da un corpo in caduta libera dotato di velocità iniziale orizzontale. La risposta corretta è, ovviamente, che la velocità orizzontale (costante) e quella verticale (in continuo aumento) si combinino formando un arco di parabola. Molti studenti invece ritengono, seguendo inconsapevolmente la teoria dell'impeto, che il corpo nel primo tratto si muova con moto orizzontale e poi, quando l'impeto inizia a dissiparsi, percorra un tratto curvo, per cadere infine verticalmente.

Sembra dunque che il senso comune induca gli studenti ad una interpretazione dei fenomeni naturali (limitatamente alla meccanica) in accordo con la suddetta teoria dell'impeto; teoria che evidentemente si basava molto più sull'apparenza e sull'intuizione che non sulla verifica sperimentale. Alla luce di queste conclusioni è più facile capire per quale motivo un così grande numero di giovani incontri difficoltà nell'assimilare correttamente la teoria newtoniana: basta considerare il lungo periodo di tempo trascorso per modificare il concetto di moto dal medioevo fino a Newton e confrontarlo con i tempi ristretti disponibili nelle scuole per compiere analogo evoluzione nella mente degli studenti.

Si può quindi sicuramente concordare con la seguente conclusione:

“Oggigiorno ogni studente di fisica elementare deve lottare con gli stessi errori e preconcetti che erano già stati vinti in passato e quindi, seppur in scala ridotta, il cammino seguito dalla scienza si ripete ogni anno nelle scuole”. [9]

BIBLIOGRAFIA

- [1] WALSH E. et al. (1993), *“Physics Students’ Understanding of Relative Speed: A Phenomenographic Study”*, Journal of Research in Science Teaching, 30(9), p.1133-1148.
- [2] VIENNOT L. (2001), *“Reasoning in Physics”* – Dordrecht. Kluwer Academic Publisher
- [3] THOMPSON P.W. (1994), *The development of the concept of speed and its relationship to concepts of rate*, in: G. Harel & J. Confrey (Eds.), *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics* (pp. 179-234). Albany: SUNY Press.
- [4] CLEMENT J. (1982), *Students’ preconceptions in introductory mechanics* – Am. J. Phys. N. 50, p. 66-71
- [5] McCLOSKEY M. (1984), *Cartoon physics* – Psychology Today, April, p.52
- [6] VICENTINI M. et al. (1984), *Gravità e pressione dell'aria* – La fisica nella scuola, XVII, 2, p.83
- [7] PIAGET J., INHELDER B. (1958), *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence* – Basic Books, New York
- [8] ECKSTEIN S.G., KOZHEVNIKOV M. (1997), *Parallelism in the development of children’s ideas and the historical development of projectile motion theories* - International Journal of ScienceEducation, 19(9), p.1057-1073.
- [9] LYTHCOTT J. (1985), *Aristotelian was given as the answer, but what was the question?* – Am. J. Phys. N. 53, p. 428
- [10] McCLOSKEY M. (1983), *Fisica intuitiva* – Le Scienze, Giugno, p.108