LA NATURA DISCONTINUA DELLA MATERIA

UN APPROCCIO STORICO

Ezio Roletto, Alberto Regis, Marco Ghirardi, Gruppo SENDS (Storia ed Epistemologia per una Nuova Didattica delle Scienze) – Università di Torino

INTRODUZIONE

Per comprendere i fenomeni chimici si deve stabilire un legame tra due registri: quello macroscopico, al quale appartengono i fatti empirici accessibili mediante osservazioni ed esperimenti, e quello microscopico delle entità invisibili che sfuggono alle percezioni sensoriali e sono quindi un prodotto dell'immaginazione e della creatività degli scienziati. All'identificazione di fatti significativi e alla loro descrizione fenomenologica, i chimici associano la loro rappresentazione mediante modelli microscopici che assumono il ruolo di strumenti di interpretazione e comprensione dei fenomeni. Tra i motivi che spingono a privilegiare i modelli e le attività di modellizzazione nell'insegnamento/apprendimento della chimica, uno dei più importanti si richiama al fatto che essi permettono di produrre rappresentazioni "concrete", percepibili mediante i sensi, di entità mentali che non sono evidenze empiriche.
Il dualismo macroscopico/microscopico, osservabile/rappresentabile, costituisce sia la specificità della chimica, sia una delle principali difficoltà del suo apprendimento. Numerose ricerche condotte in diversi Paesi mostrano che gli studenti incontrano notevoli difficoltà a gestire tale dualismo, a causa sia della persistenza di nozioni di senso comune sia della mancanza di una chiara comprensione della natura particellare della materia. Tali difficoltà non vengono generalmente colte dagli insegnanti i quali, nel corso dell'insegnamento, passano continuamente, senza segnalarlo, da un registro all'altro, non essendo consapevoli dell'impegno intellettuale richiesto agli allievi da questo continuo va-e-vieni. Tuttavia, la comprensione profonda della chimica richiede che gli allievi siano in grado di mettere in relazione il registro dei fenomeni percepibili a livello macroscopico – la situazione sperimentale che coinvolge delle sostanze – e il registro dei modelli interpretativi a livello microscopico, mediante i quali il comportamento delle sostanze viene interpretato in termini di entità non percepibili (atomi, molecole, ioni, legami chimici, ecc.). Ne segue che per assicurare basi solide allo studio della chimica, è necessario che gli allievi abbiano, in primo luogo, l'opportunità di riflettere sulle nozioni di "modello" e di "particella", nonché sulle due possibili concezioni – continua e discontinua (particellare) – della struttura della materia.
A questo fine, partendo dai risultati ottenuti con una ricerca didattica (Bréhelin, 2007), è stata progettata una sequenza d'insegnamento che permette inizialmente di introdurre le nozioni di "modello" e di "rappresentazione della realtà". In seguito, gli allievi vengono messi di fronte alle due concezioni della struttura della materia che si sono a lungo contrapposte nel corso del tempo. A questo fine, agli allievi vengono forniti due testi concisi e semplici nei quali sono riassunti i punti essenziali di due modelli della materia: quello "continuo", attribuito ad Aristotele, e quello "discontinuo", attribuito a Democrito. La personalizzazione dei due modelli è un espediente didattico: in effetti nei due modelli proposti agli allievi, soprattutto in quello attribuito a Democrito, si trovano anche contributi di studiosi successivi che comunque si inquadrarono nel modello di partenza. Viene poi fornito agli allievi un testo nel quale è descritta l'esperienza storica di Torricelli, per interpretare la quale si deve ammettere, usando un primo e più semplice livello di concettualizzazione, l'esistenza del vuoto. È alla luce di questa idea che gli allievi sono chiamati a riprendere in considerazione i due modelli della struttura della materia per stabilire quale sia il più plausibile.

UN PO' DI STORIA: DAI FILOSOFI DELLA NATURA AGLI SCIENZIATI

Nell'attuale contesto culturale, la teoria atomica e il concetto di elemento costituiscono le basi di ogni conoscenza chimica. Alla loro elaborazione nella forma attuale, l'umanità è giunta dopo venticinque secoli, a partire da due correnti di pensiero della filosofia greca: l'atomistica di Leucippo e Democrito – il sistema materialistico più importante che la filosofia antica ci abbia lasciato – e il sistema degli elementi di Empedocle e Aristotele. Seguire l'evoluzione di queste conoscenze nel corso dei secoli permette di rendersi conto di quanto il sapere umano sia relativo, storicamente e culturalmente determinato; nel tentativo di comprendere il mondo, la mente umana costruisce senza sosta concetti e modelli che non sono mai definitivi e veri in modo assoluto.
Il nostro punto di partenza è il pensiero greco, ma i greci non crearono le loro idee dal nulla: queste ebbero come substrato il patrimonio culturale delle precedenti civiltà mediterranee. Si deve pure ricordare che in altre aree geografiche lontane dal Mediterraneo, quali ad esempio la Cina e l'India, si svilupparono civiltà fiorenti nelle quali furono prodotte speculazioni sull'essenza del mondo. Tuttavia, va dato atto che la filosofia e la scienza moderne discendono direttamente dal pensiero greco. Questo è il motivo per cui la conoscenza di ciò che i greci seppero ideare nel campo della filosofia, e particolarmente della filosofia della natura, ha una grande importanza per chiunque voglia comprendere il pensiero scientifico moderno.

Il contesto filosofico

Il vero teorico della filosofia atomista greca nella forma a noi pervenuta fu Democrito, nato ad Abdera, non lontano dall'attuale Salonicco, circa nel 460 a.C. Egli sostenne una concezione discontinua o atomistica della materia che costituisce il patrimonio più prezioso che i "filosofi della natura" greci trasmisero alle epoche successive; nel XVI e XVII secolo tale concezione ebbe una funzione determinante per la formazione della scienza moderna. L'atomismo di Democrito non nasce come ipotesi scientifica di interpretazione della struttura della materia, ma come concezione filosofica per risolvere le gravissime difficoltà logiche generate dall'introduzione dell'idea di "infinito" nella scomposizione di un movimento, di un intervallo di tempo e di un segmento; tali difficoltà erano state evidenziate, intorno alla metà del V secolo a.C, dal filosofo Zenone il quale aveva proposto alcuni paradossi tra i quali i seguenti[1]:
1) *Un oggetto in movimento non raggiungerà mai nessun punto assegnato: infatti, per quanto vicino possa essere al punto, deve prima compiere metà del percorso, quindi metà del percorso che è avanzata, e così via, in una successione infinita. Perciò l'oggetto non potrà mai raggiungere il termine di qualsiasi distanza assegnata*.
2) *Il più veloce dei corridori non potrà mai raggiungere il più lento, se al più lento viene concesso un vantaggio iniziale, quale che esso sia: infatti, nel momento in cui il corridore più veloce avrà raggiunto il punto di partenza del corridore più lento, questo si sarà allontanato dal suo punto di partenza; nel momento in cui il più veloce avrà raggiunto un nuovo punto toccato in seguito dal più lento, questi ancora una volta se ne sarà allontanato e così via…*
Le argomentazioni di Zenone sembrano assurde[2], ma con questi e altri paradossi egli sollevava un interrogativo fondamentale: il tempo e lo spazio sono continui, come una linea ininterrotta, oppure risultano da un insieme di unità discrete, come una fila di perle? Le riflessioni di Zenone sulle idee di *continuo* e di *discreto*, ossia di *infinito* e di *finito*, non risparmiarono neppure il concetto

[1] Mazur Joseph, Achille e la tartaruga, il Saggiatore, Milano, 2009, p. 12
[2] Oggi noi siamo in grado di rispondere alle argomentazioni di Zenone perché sappiamo che i fenomeni fisici vengono descritti, interpretati e rappresentati mediante modelli mentali. Quindi siamo in grado di distinguere tra la realtà e la sua rappresentazione. Le nostre riflessioni sul movimento, lo spazio e il tempo non riguardano il reale, ma il reale modellizzato.

pitagorico della retta costituita da un insieme di punti, come una serie di minuscole perline infilate in una collana. Egli negò l'esistenza di qualsiasi lunghezza finita, sviluppando un ragionamento di questo tipo: *I matematici sostengono che un segmento è costituito da infiniti punti: se si ammette che ogni punto abbia grandezza diversa da zero, allora il segmento deve risultare infinitamente lungo; se invece si ammette che ogni punto abbia grandezza nulla, allora anche la lunghezza del segmento sarà nulla, ossia il segmento non esiste*.
Con i suoi paradossi, Zenone mise in crisi anche le concezioni degli atomisti, i quali sostenevano che le cose sono formate da particelle materiali (ossia pezzetti di sostanze) discrete, così piccole da sfuggire ai nostri sensi. Tali particelle sono impenetrabili, incomprimibili e non ulteriormente divisibili: si tratta degli "atomi" (dal greco átomos: indivisibile). Secondo Democrito, gli atomi dei vari corpi non sono differenti tra loro da un punto di vista qualitativo, derivando tutti dalla stessa materia primordiale; essi però possiedono due qualità specifiche: *dimensione* e *forma geometrica*, in funzione delle quali assumono pesi differenti. Quindi due aggregati di atomi (corpi), potrebbero differire per la grandezza e la forma degli atomi che li compongono, per il numero di atomi e per la loro posizione. Democrito aveva presente la differenza tra parole composte delle medesime lettere disposte in ordine diverso, come avviene per noi con i vocaboli M·O·R·A, A·M·O·R, R·O·M·A, O·R·M·A.
Gli atomi sono illimitati in numero, così piccoli da sfuggire ai nostri sensi e animati da un movimento caotico nel vuoto. A causa del loro movimento, gli atomi si urtano, si agganciano e si connettono in modo da formare insieme una massa, rendendo così percettibile ciò che è impercettibile. È possibile vedere il ferro soltanto quando un numero sufficiente di atomi di ferro si è compattato in modo da formare una massa visibile. Nella concezione discontinua o atomistica della materia, l'esistenza di uno spazio vuoto, privo di materia, risulta essenziale per spiegare la possibilità del movimento delle particelle e delle loro collisioni, altrimenti inammissibili. Democrito sostenne dunque l'esistenza di due principi: il "pieno" (che rappresenta l'essere) e il "vuoto" (che rappresenta il non essere) sulla base di un ragionamento logico di questo tipo: *Se l'essere è costituito dall'insieme dei corpi che noi chiamiamo materiali, è evidente che il non essere corrisponderà all'assenza di materia, ossia al vuoto. È innegabile che noi non possiamo percepire quest'ultimo e che abbiamo non poche difficoltà a concepirlo, in quanto ci sembra del tutto naturale immaginare che lo spazio sia tutto riempito di una sostanza aeriforme più o meno sottile. Tuttavia, l'esistenza del vuoto è una necessità logica, così come l'esistenza del pieno, in modo che entrambi entrino nella costituzione dei corpi*.
Le azioni dei corpi sui nostri sensi, le sensazioni che ci procurano, possono essere spiegate dalle caratteristiche degli atomi che li costituiscono: i corpi acidi sono costituti da atomi spigolosi, pieni di sinuosità, piccoli e sottili; ciò che è dolce è costituito da atomi arrotondati, senza spigoli; i corpi bianchi sono costituiti da atomi lisci perché, se gli atomi avessero asperità, le loro ombre nere sarebbero visibili; i corpi neri sono formati da atomi rugosi, non uniformi.
Per sfuggire ai paradossi di Zenone, Democrito introdusse l'ipotesi fondamentale dell'atomismo: la distinzione tra punto matematico e atomo fisico, fra le suddivisioni matematiche e quelle fisiche. Le prime sono atti puramente mentali: esse possono essere proseguite all'infinito, non trovano rispondenza nella realtà e non possono essere usate per calcolare perimetri, aree e volumi dei corpi geometrici; le seconde sono condizionate dalla natura di ciò che si vuole suddividere e non sono più possibili oltre un certo limite. Il punto è un'astrazione mentale senza alcuna sostanza fisica, mentre l'atomo è una particella di materia, indivisibile e indistruttibile.
Circa un secolo dopo Democrito, Aristotele (384 a. C., 324 a. C.) descrisse il mondo a partire da quattro *principi* o qualità primordiali: caldo, freddo, secco e umido e da quattro *elementi*: aria, acqua, terra, fuoco. A ciascuno dei quattro elementi, egli attribuisce una coppia di qualità: il caldo/umido all'aria; il caldo/secco al fuoco; il freddo/umido all'acqua; il freddo/secco alla terra. Gli elementi possono trasformarsi gli uni negli altri: è sufficiente che una delle qualità che lo caratterizza si trasformi nel suo contrario. L'acqua può diventare aria per azione del calore che trasforma il freddo in caldo; il fuoco può diventare aria grazie all'umidità e così via.

Secondo Aristotele, il movimento di un corpo dipende dalle proporzioni secondo le quali i quattro elementi entrano nella sua composizione. Infatti, l'aria e il fuoco tendono spontaneamente ad andare verso l'alto, l'acqua e la terra verso il basso. Se non fossero mescolati fra di loro per dare origine ai vari oggetti che ci circondano, i quattro elementi sarebbero disposti in una sequenza ordinata di sfere: al centro vi sarebbe una sfera di terra circondata da una sfera d'acqua, seguita da una sfera di aria e infine da una sfera di fuoco. Queste quattro sfere vanno intese come "luoghi naturali" verso i quali ognuno dei quattro elementi tende a portarsi non appena libero di muoversi.
Il cardine della concezione della materia di Aristotele, nettamente contrapposta a quella di Democrito, è la negazione del vuoto, la cui esistenza è impossibile non essendo il vuoto né un elemento, né una qualità. Democrito ha sostenuto che il vuoto è indispensabile per giustificare i movimenti degli atomi, ma Aristotele afferma che nel vuoto non è possibile nessun movimento. Infatti, nel vuoto è impossibile localizzare un su o un giù o qualsiasi altra direzione privilegiata e quindi i corpi non saprebbero dove dirigersi. Inoltre, se un corpo si muovesse nel vuoto non incontrerebbe nessuna resistenza: la sua velocità sarebbe infinita, cosa chiaramente assurda. Quindi, conclude Aristotele, se esistesse il vuoto i corpi dovrebbero necessariamente restare fermi.
Il dilemma continuità/discontinuità della materia non poteva essere superato al tempo di Aristotele in quanto il contrasto era più una disputa ideologica che una discussione scientifica dei nostri tempi. Né Democrito né Aristotele pensavano fosse opportuno ricorrere alla sperimentazione per decidere l'accettabilità o meno di un punto di vista sulla materia in base a evidenze empiriche. Il loro obiettivo non era quello di confrontare le proprie idee con il comportamento dei corpi reali. Gli esperimenti non li interessavano, in quanto essi miravano a sviluppare ragionamenti che fossero inattaccabili dal punto di vista della logica dell'argomentazione.
Di conseguenza, l'accettabilità di un'interpretazione dipendeva dal prestigio, dall'autorità del filosofo che l'aveva formulata e dalla forza dell'argomentazione logica. Inoltre non si può escludere che le concezioni di non pochi filosofi sul mondo reale fossero fortemente influenzate dalle percezioni immediate che essi, come tutti gli esseri umani, avevano della realtà empirica. In altre parole, le idee di molti filosofi sui fenomeni naturali erano, con ogni probabilità, fortemente impregnate di senso comune che, facendo affidamento sui dati immediati dell'esperienza, arriva a concludere, per esempio, che il sole gira intorno alla terra e che la materia ha una struttura continua.
Aristotele ebbe un'immensa influenza non solo sul pensiero dei suoi contemporanei ma anche nei secoli che seguirono. A ciò contribuì il suo ricupero da parte della Chiesa di Roma e il tentativo di interpretare la sua filosofia in termini cristiani. Il rifiuto della concezione atomistica da parte di Aristotele ha molto pesato sullo sviluppo della scienza, in quanto nessuno dei filosofi che seguirono fu in grado di elaborare una concezione del mondo che avesse lo stesso livello di complessità e di organicità. Per quasi duemila anni, il pensiero dei filosofi della natura fu dominato dalle idee di due grandi pensatori greci, Aristotele e Platone che, da punti di vista diversi, contribuirono entrambi a rendere marginale la concezione discontinua della materia.

Il contesto scientifico

Nel Rinascimento, l'idea di atomo fu rimessa in circolazione dal canonico Pierre Gassendi (1592-1655) il quale riteneva che l'atomismo non dovesse essere inteso come una verità assoluta, di carattere metafisico, come ritenevano i filosofi dell'antichità, bensì come una teoria molto plausibile, utile a spiegare con rigore i fenomeni fisici. Rifacendosi a Epicuro, Gassendi sostiene che la materia è discontinua e quindi costituita da atomi che possiedono tre proprietà intrinseche: la forma, il peso, la dimensione, proprietà che variano da atomo ad atomo. Inoltre, egli si appoggia sui risultati delle sperimentazioni condotte da Evangelista Torriccelli (1608-1647) e Blaise Pascal (1623-1662) per sostenere l'esistenza del vuoto. Per difendere la concezione atomistica, Gassendi si basava anche sulla difficoltà di spiegare i mutamenti fisici dei corpi (per esempio, il passaggio dell'acqua a ghiaccio o a vapore d'acqua) se non si postula in essi l'esistenza di un "invariante", di

qualcosa che permane: tali sarebbero appunto gli atomi, che nessuna forza fisica è in grado di suddividere o alterare. Gassendi sostiene che le proprietà dei corpi sono in rapporto con le forme degli atomi che li costituiscono: corpi dal gusto piccante o amaro sono costituiti da atomi appuntiti, corpi fluidi e dolci da atomi rotondi, ecc. Egli ritiene inoltre che la formazione di corpi voluminosi sia preceduta dalla formazione di associazioni intermedie di atomi, che egli chiama "molecole": «A partire dagli atomi si formano prima certe molecole diverse tra di loro che sono i semi di cose diverse: in seguito ogni cosa è tessuta e costituita in modo tale che non è e non può essere costituita da altri semi». Contrariamente a quanto pensavano i filosofi atomisti dell'antichità, Gassendi ritiene che il numero di questi atomi sia finito.
Le opere di Gassendi furono all'origine delle concezioni atomiste di Robert Boyle (1627-1691). Nella sua opera principale, *The Sceptical Chymist*, pubblicata nel 1661, egli rifiutò l'idea che avevano i filosofi antichi degli elementi o sostanze primarie, affermando che la loro esistenza non è corroborata da alcun dato empirico, da alcuna prova materiale. Egli sostenne la struttura particellare della materia e scrisse: «Tutti gli elementi, che sono più di quattro, sono sostanze fisicamente reali, formate da minutissime particelle. Tali corpuscoli piccolissimi e indivisibili sono costituiti dalla medesima sostanza primordiale e hanno tre proprietà fondamentali: grandezza, forma e movimento […] Ammettiamo che la materia sia formata da atomi e aggregati di atomi sempre in continuo movimento».
Alla fine del XVII secolo, la chimica era in pieno periodo di transizione: abbandonati i pregiudizi e le ricette degli alchimisti, essa stava diventando un processo di conoscenza razionale e quantitativo. L'importanza via via crescente accordata agli aspetti quantitativi delle trasformazioni chimiche favorì lo sviluppo di una scienza sperimentale, nel cui seno si andava precisando l'idea di corpo puro semplice o elemento; però in tale contesto gli atomi propriamente detti erano assenti. I chimici del tempo, infatti, manipolavano quantità definite di vari corpi e si interessavano alle trasformazioni qualitative e quantitative di tali corpi. Gli atomi, in quanto entità teoriche sulle quali era difficile ragionare, non contribuivano a risolvere alcune questioni importanti relative alle trasformazioni dei corpi.
Nel corso del secolo che separa Boyle da Lavoisier, gli studi sperimentali sui corpi e le loro trasformazioni permisero ai chimici di rendersi sempre più conto dell'importanza dei dati quantitativi. Anche grazie a questi dati sperimentali, si impose sempre più l'idea che i corpi semplici dovessero essere ritenuti le entità di base dei corpi composti. Questi allora non sarebbero più costituiti dalle quattro sostanze primordiali dei filosofi greci antiatomisti, in rapporti vari, non ben definiti e sempre difficili da apprezzare, ma da corpi semplici identificabili, presenti in rapporti misurabili con precisione quando si riesce, con opportune trasformazioni, a decomporre i corpi composti.
Fu Dalton che introdusse l'*atomo chimico* esponendo le proprie idee nell'opera *A new system of chemical philosophy*, tre volumi pubblicati tra il 1808 e il 1827. Come la maggior parte dei suoi contemporanei, Dalton era convinto che la materia fosse costituita da un insieme di corpuscoli distinti tra i quali agiscono forze di attrazione e di repulsione. Però egli fu il primo scienziato a formulare un'***ipotesi atomica*** della materia nella quale la concezione filosofica della natura discontinua della materia viene accoppiata con l'idea di elemento (sostanza semplice) elaborata da Lavoisier. L'innovazione di Dalton consiste nell'attribuire a ogni elemento o corpo semplice puro[3] di Lavoisier una specificità chimica, dal momento che lo pensa formato da atomi chimici identici, indivisibili e specifici, sia per il loro peso sia per le loro qualità particolari. Sono proprio le qualità particolari e specifiche di ogni atomo che comunicano ai corpi, a livello macroscopico, la loro specificità chimica.
Le idee di Dalton possono essere così riassunte:

[3] In seguito, Mendeleev cominciò a differenziare i concetti di corpo semplice e di elemento, attribuendo al primo significato a livello macroscopico e al secondo significato a livello microscopico.

1. La materia è costituita di particelle estremamente piccole, indivisibili, indeformabili e indistruttibili, gli *atomi*.
2. Ogni singolo elemento o corpo semplice puro di Lavoisier è costituito di “atomi semplici” perfettamente uguali tra loro sotto tutti gli aspetti, ma differenti dagli atomi di ogni altro elemento.
3. Ogni atomo ha un determinato peso atomico.

Con la sua ipotesi atomica, Dalton stabilì un chiaro legame tra il registro macroscopico, quello delle sostanze, e il registro microscopico, quello delle particelle invisibili. Fu senz’altro grande merito di Dalton associare all’idea di sostanza semplice (o elemento chimico, come si diceva allora) quella di atomo, di simbolo chimico e di peso atomico relativo invariabile, ritenendolo un attributo essenziale, una proprietà fondamentale di ogni elemento.

LA SEQUENZA DIDATTICA

PROBLEMA: COSA È UN MODELLO?

OBIETTIVI - Permettere agli allievi di:
- affrontare la nozione di modello in ambito scientifico;
- rendersi conto che la scienza non riproduce la realtà, ma la rappresenta;
- rendersi conto che un modello permette di rappresentare e interpretare la realtà.

ATTIVITÀ - I CIECHI E L'ELEFANTE

L'insegnante fornisce agli allievi una copia del testo "I ciechi e l'elefante" e un foglio di formato A4.

I ciechi e l'elefante.
Traduzione di un testo del poeta statunitense John Godfrey Saxe (1816-1887)

Sei abitanti dell'Indostan, molto desiderosi di migliorare le loro conoscenze, si recarono a vedere, benché fossero tutti ciechi, un elefante, in modo che ognuno potesse appagare il proprio desiderio di sapere.

Il primo si avvicinò all'elefante, ma inciampò e colpendo il fianco largo e robusto dell'animale, subito gridò: "Mio Dio! Ma l'elefante è molto simile a un muro!"

Il secondo, toccando una zanna, esclamò: "Oh! Cosa sarà mai quest'oggetto così rotondo liscio e appuntito? Secondo me è chiaro che questa meraviglia di elefante assomiglia molto a una lancia!"

Il terzo si avvicinò all'animale e, afferrando la proboscide che si contorceva, affermò senza esitazione: "Vedo che l'elefante assomiglia molto a un serpente!"

Il quarto si mise a palpare il ginocchio con mano impaziente e disse: "È evidente che l'elefante assomiglia a un albero!"

Il quinto toccò per caso un orecchio e disse:" Anche il più cieco degli esseri umani può dire a cosa assomiglia l'elefante; nessuno può negare che questo magnifico elefante è simile a un ventaglio!"

Il sesto aveva appena cominciato a tastare l'animale quando improvvisamente la coda che oscillava gli colpì la mano: "Vedo", egli disse," che l'elefante assomiglia molto a una corda!"

Così questi abitanti dell'Indostan discussero a lungo e animatamente, ciascuno sostenendo con forza e convinzione la propria opinione. Anche se ognuno sosteneva una verità parziale, nel complesso erano tutti nell'errore

Testo originale

It was six men of Indostan
To learning much inclined,
Who went to see the Elephant
(Though all of them were blind)
That each by observation
Might satisfy his mind

The first approached the Elephant,
And happening to fall
Against his broad and sturdy side,

At once began to bawl:
"God bless me! But the Elephant
Is very like a wall!"

The Second , feeling of the tusk,
Cried,"Ho! What have we here
So very round and smooth and sharp?
To me 'tis mighty clear
This wonder of an Elephant
Is very like a spear!"

The Third approached the animal,
And happening to take
The squirming trunk within his hands,
Thus boldy up and spake:
"I see,"quoth he, "the Elephant
Is very like a snake!"

The Fourth reached out an eager hand,
And felt about thr knee.
"What most this wondrous beast is like
Is mighty plain", quoth he;
" Tis clear enough the Elephant
Is very like a tree!"

The Fifth, who chanced to touch the ear,
Said: "E'en the blindest man
Can tell what this resembles most;
Deny the fact who can
This marvel of an Elephant
Is very like a fan!"

The Sixth no sooner had begun
About the beast to grope,
Than, seizing on the swinging tail
That fell within his scope,
"I see" quoth he, "the Elephant
Is very like a rope!"

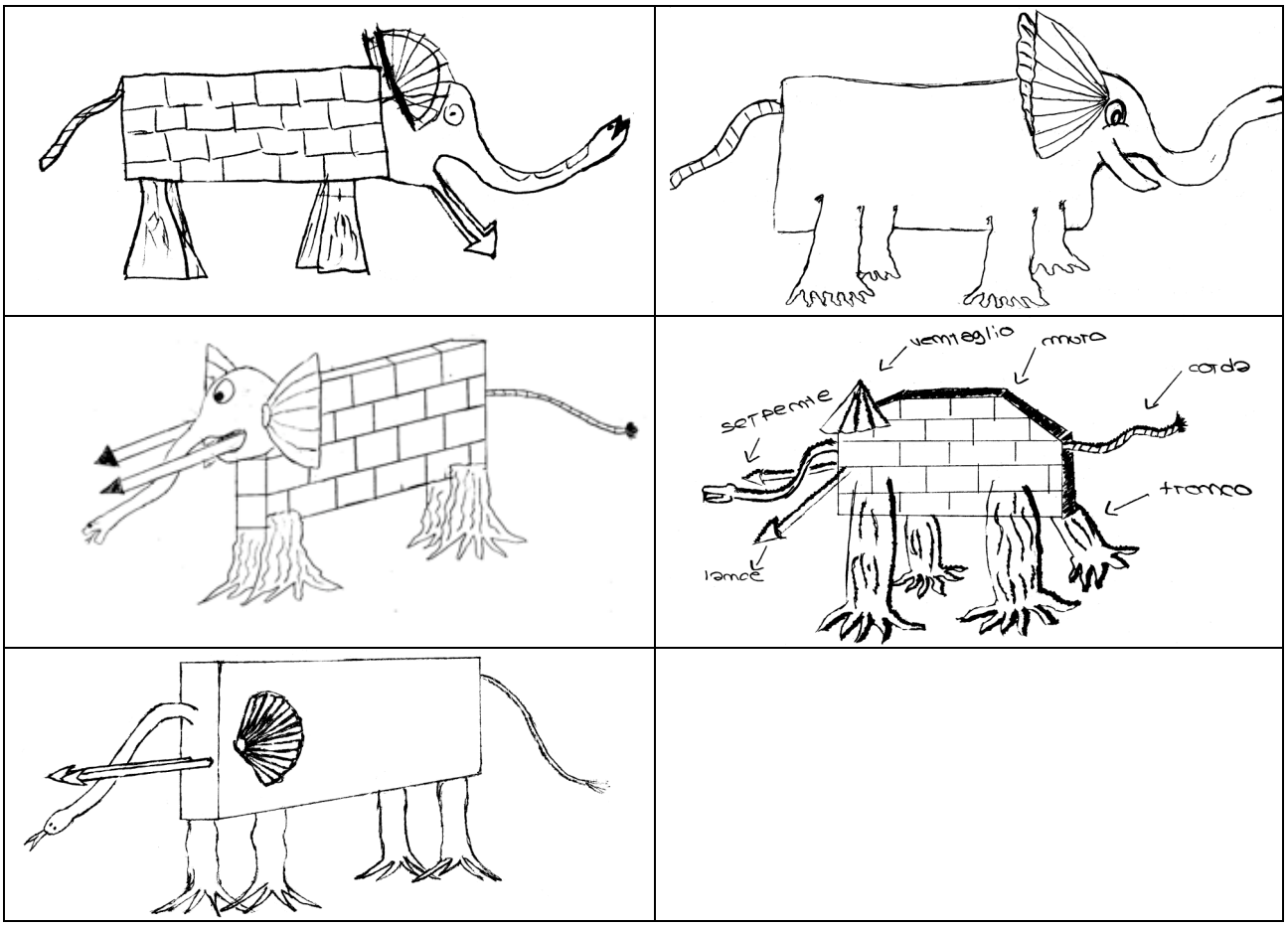
And so these men of Indostan
Disputed loud and long,
Each in his own opinion
Exceeding stiff and strong,
Though each was partly in the right,
And all were in the wrong!

Consegna individuale: Raffigura su un foglio A4 un elefante sulla base delle informazioni fornite dai sei ciechi sulle diverse parti dell'animale.
ATTENZIONE – Gli allievi sanno come è fatto un elefante. Qui si tratta di raffigurarlo sulla base delle loro conoscenze (relative alla forma dell'elefante) e delle informazioni fornite dai ciechi (i quali già si ***rappresentano*** l'elefante)
Si costituiscono gruppi di 4-5 allievi i quali confrontano i loro disegni. L'insegnante avvia la discussione, invitando gli allievi a mettere in comune i disegni, a evidenziare le somiglianze e le differenze, a verificare se sono coerenti con le informazioni fornite dal testo. In seguito passa

all'interrogativo 1 che permette di affrontare le nozioni di "riproduzione" e di "rappresentazione" della realtà.

Nella Tabella 1 sono riportati alcuni disegni di allievi di una classe prima di un liceo scientifico-tecnologico.

Tabella 1



Interrogativo 1. Il disegno che ognuno ha eseguito è una riproduzione della realtà?

Nel riquadro 1 sono riportate alcune risposte esemplificative fornite dagli allievi.

Riquadro 1

Allievo A
No, perché loro, essendo ciechi, si sono basati esclusivamente su ciò che sentivano con il tatto e hanno confrontato le loro sensazioni con oggetti che conoscevano, senza riuscire a cogliere il vero aspetto dell'elefante.

Allievo B
Non è una riproduzione della realtà che percepiamo noi ma della realtà che percepiscono delle persone cieche che non hanno mai visto un elefante e per cui non hanno un modello a cui riferirsi quindi cercano di scoprire come è fatto senza essere influenzati da nulla perché non sanno com'è questo elefante per cui la proboscide la scambiano data la forma per un serpente le gambe per

degli alberi le orecchie per dei ventagli. Invece cercano di paragonare queste forme a cose che conoscono già di cui ne sanno già la forma.

Allievo C
Naturalmente, per le persone che possiedono il senso della vista, il disegno non rappresenta la realtà, ma come in questo caso, ciò che si sono immaginati i non vedenti. Le due realtà appaiono molto diverse: è chiaro che però quella vera è quella dei vedenti, dato che loro non devono usare l'immaginazione, ma vedono la realtà che li circonda.

Allievo D
No, non lo è. È una riproduzione fatta sulla base delle impressioni che i sei ciechi hanno avuto e, siccome non possedevano la vista, non potevano sapere di aver sbagliato e quindi erano convinti di ciò che hanno toccato. Si sono fatti un'idea sbagliata di come potrebbe essere un elefante.

Allievo E
No, il disegno non è una riproduzione della realtà. L'elefante immaginato dai sei ciechi non è frutto della realtà, ma dell'immaginazione. Essi hanno utilizzato i sensi per riuscire ad immaginare l'animale, ma senza la vista questo è impossibile.

Allievo F
No perché gli uomini, essendo ciechi, per descrivere l'elefante si sono basati solo sulla cosa che avevano toccato, per questo non rappresenta la realtà che percepiamo noi, perché noi ci siamo fatti il modello di elefante, invece per loro il modello è frutto della loro immaginazione.

La maggior parte degli allievi sostiene che i disegni non riproducono la realtà e che il disegno è frutto dell'*immaginazione* dei saggi privi della vista. Particolarmente interessante è l'affermazione dell'allievo C, «l*e* due realtà appaiono molto diverse» perché ha offerto alla classe l'opportunità di discutere il problema della realtà considerata "dal punto di vista di...", arrivando a concludere che una cosa è la realtà (l'elefante) per chi vede e un'altra cosa è la realtà (l'elefante) per chi non vede. A questo punto l'insegnante ha posto il seguente interrogativo: «Potremmo allora dire che esiste più di una realtà, quella di noi che vediamo e quella dei ciechi che non vedono?».
Nella discussione che si è sviluppata, gli allievi non hanno avuto difficoltà ad ammettere, sulla base del testo, che i vedenti vedono l'elefante in un certo modo, mentre i ciechi "vedono" l'elefante in modo diverso. Questo porta a riconoscere che la realtà può essere vista in modi diversi. In genere, nelle risposte degli studenti si riscontra l'idea che la realtà sia percepibile solo se si può vedere: per esempio l'allievo C scrive "*Le due realtà appaiono molto diverse: è chiaro che però quella vera è quella dei vedenti ..."* e l'allievo E dichiara che *"Essi hanno utilizzato i sensi per riuscire ad immaginare l'animale, ma senza la vista questo è impossibile.* Emerge però anche la convinzione che, per i ciechi, l'uso del verbo "vedere" non è appropriato. I ciechi non vedono l'elefante, ma lo "immaginano": il disegno dell'elefante, eseguito in base alle informazioni fornite dal testo, è ciò che i ciechi *immaginano* dell'elefante. A questo punto l'insegnante introduce il termine "rappresentazione": il disegno è una *rappresentazione* dell'elefante così come lo immaginano i ciechi. In altre parole, ciò che dicono i ciechi a proposito delle parti dell'elefante (corpo, zanne, proboscide, ecc...) costituisce un *modello* di elefante, mediante il quale è possibile produrre una *rappresentazione* dell'elefante. Interessante risulta quanto scrive l'allievo F che affianca al modello di elefante dei ciechi quello che possiedono i vedenti, elaborato sulla base delle impressioni visive. La discussione di questa risposta porta la classe a riconoscere che le rappresentazioni prodotte dagli allievi sono l'esito della sintesi di due modelli: quello dei vedenti rivisto alla luce delle informazioni fornite dai ciechi.
Cosa fanno gli scienziati quando parlano di particelle, atomi, molecole, elettroni, protoni, ecc.? Parlano di cose che non vedono, ma che immaginano. Essi si trovano di fronte a evidenze empiriche (per esempio, le trasformazioni fisiche e chimiche della materia) e tentano di spiegarle con entità non percepibili, frutto della loro creatività immaginazione. Se le possono immaginare

come vogliono? Sicuramente no, perché esiste una realtà empirica che si comporta in un certo modo. Lo scienziato può pensare, immaginare qualcosa di assolutamente nuovo che non ha mai pensato nessuno; può attribuirgli le proprietà che ritiene più plausibili. Però poi queste proprietà devono trovare riscontro nel comportamento dei corpi macroscopici. Prendiamo il caso degli elettroni: gli scienziati non hanno mai visto un elettrone, però lo hanno immaginato e gli hanno attribuito determinate proprietà. Sulla base di queste idee, i tecnici hanno concepito e progettato apparecchi che dovrebbero fornire determinate prestazioni. Quando gli apparecchi sono stati costruiti, le loro prestazioni erano quelle previste. Conclusione: se non esiste l'elettrone, esiste qualcosa che gli assomiglia molto!

PROBLEMA: LA MATERIA È CONTINUA O DISCONTINUA?

Obiettivo – Offrire agli allievi l'opportunità di ricavare un modello da uno scritto, di farne un'esposizione orale e di utilizzarlo per costruire testi esplicativi della realtà e rappresentazioni di situazioni empiriche.

ATTIVITÀ 1 - I FILOSOFI DELL'ANTICHITÀ

Per fare in modo che gli allievi comprendano bene la natura del problema affrontato (continuità o discontinuità della materia), l'insegnante espone sul tavolo due oggetti:

- un pezzo di legno o di polistirolo o di metallo.
- un mucchietto di semi di mais o di chicchi di riso o di sabbia

L'insegnante avvia con gli allievi una discussione sui due oggetti, focalizzando la loro attenzione sul loro aspetto: il pezzo di legno (polistirolo, metallo) è un pezzo unico, la sua struttura è continua. L'aspetto del mucchietto è diverso: non vi è un pezzo unico, ma tanti piccoli pezzi distinguibili a occhio nudo. Il problema affrontato è questo: *Se fossimo in grado di vedere la struttura intima della materia, questa sarebbe continua o discontinua?* Nel primo caso, ogni corpo sarebbe un pezzo unico, cioè continuo; nel secondo caso, ogni corpo sarebbe discontinuo, ossia costituito da tante minuscole particelle non più divisibili e separate l'una dall'altra. Si tratta di raccogliere le idee di partenza degli allievi senza alcun commento o discussione.
Superata questa fase preliminare, l'insegnante entra nel vivo dell'attività con un intervento di questo tipo: «*Oltre 2000 anni fa, i filosofi cercarono di dare risposta ad alcuni interrogativi relativi alla materia. Di cosa sono fatti la terra, il mare, il cielo e le svariate cose che ci circondano? Come mai lo stesso corpo, per esempio l'acqua, esiste come liquido, come solido e come vapore? Cosa succede al sale quando si scioglie in acqua e non è più visibile? Democrito e Aristotele, due pensatori del V secolo avanti Cristo si posero questi interrogativi, arrivando a due conclusioni diverse, ossia a due diversi modelli della materia*».

Gli allievi vengono ripartiti in gruppi di 4-5. Ogni allievo riceve il testo (Riquadro 2) nel quale sono riportate, per sommi capi, le concezioni della materia secondo Democrito e secondo Aristotele. Ogni gruppo riceve un foglio A2. Servono matite e pennarelli.

Riquadro 2

La materia secondo Democrito

Democrito sostiene che la materia è discontinua. Un corpo materiale, per esempio un pezzo di ferro, è formato da particelle talmente piccole che non sono visibili a occhio nudo, ma che hanno ancora tutte le proprietà del ferro e che non è possibile suddividere in particelle più piccole. Le particelle di corpi diversi (ferro, marmo, acqua, ecc.) sono costituite tutte dalla medesima materia prima, ma hanno forma e grandezza differenti. Esiste un numero illimitato di particelle che sono invisibili, indistruttibili e indivisibili. Inoltre, le particelle sono caratterizzate dal continuo movimento, in seguito al quale, riunendosi e separandosi, danno origine a tutte le cose così come noi le vediamo. Per esempio, l'acqua liquida e il ghiaccio sono formati da particelle dello stesso tipo. Però queste particelle sono più stipate nel ghiaccio e meno stipate nell'acqua liquida: in questo modo Democrito spiega la differenza di aspetto tra il ghiaccio (solido) e l'acqua (liquida). Le azioni dei corpi sui nostri sensi possono essere spiegate dalle caratteristiche delle particelle che li costituiscono. I corpi acidi sono formati da particelle spigolose, piene di sinuosità, piccole e sottili; ciò che è dolce è formato da particelle arrotondate, senza spigoli; i corpi bianchi sono formati da particelle lisce perché, se avessero asperità, le loro ombre scure sarebbero visibili; i corpi neri sono formati da particelle rugose, non uniformi.

La materia secondo Aristotele

Aristotele sostiene che la materia è continua: essa riempie completamente lo spazio che occupa perché è estesa in lunghezza, larghezza e profondità per cui occupa tutti gli spazi immaginabili. La materia è formata a partire da quattro *elementi*: Terra, Acqua, Aria e Fuoco e da quattro *principi* o qualità primordiali: caldo, freddo, secco e umido. A ciascuno dei quattro elementi, egli attribuisce una coppia di qualità: il caldo/umido all'aria; il caldo/secco al fuoco; il freddo/umido all'acqua e il freddo/secco alla Terra. Gli elementi possono trasformarsi gli uni negli altri: è sufficiente che una delle qualità che lo caratterizza si trasformi nel suo contrario. L'acqua può diventare aria per azione del calore che trasforma il freddo in caldo; il fuoco può diventare aria grazie all'umidità e così via. I cambiamenti riguardano la forma non la materia che anche per Aristotele è unica e primordiale.
Tutte le infinite cose che sono percepite dai nostri sensi provengono dalla mescolanza di due o più dei quattro elementi fondamentali. Le ossa sarebbero formate da due parti di Acqua, due parti di Terra e quattro parti di Fuoco; il sangue sarebbe formato da una miscela perfetta, costituita da una parte di Terra, una parte di Acqua, una parte di Aria e una parte di Fuoco. Scaldando l'Acqua (fredda e umida) si ottiene l'Aria (calda e umida) e, in modo inverso, raffreddando l'Aria si ottiene l'Acqua.

Consegna: Ogni gruppo realizzi sul foglio A2 un manifesto (poster) mediante il quale fare capire le idee sulla materia di Aristotele e Democrito a una persona che non ne sa assolutamente niente. Il manifesto realizzato sarà presentato e illustrato alla classe.

I manifesti prodotti dai gruppi vengono esposti: ogni gruppo designa un componente per illustrare il contenuto del proprio manifesto. In seguito, l'insegnante lancia la discussione in modo che si abbia un'analisi comparativa dei due modelli; inoltre, egli propone agli allievi di eliminare le rappresentazioni che sono oggetto di troppe critiche, conservando solo quelle ritenute accettabili dalla maggioranza. Dalla discussione emerge che la concezione di Aristotele non permette di capire come sia strutturata la materia, ma solo di affermare che la materia è ovunque; non vi è uno spazio, anche minimo, che non sia occupato da materia.
Invece la concezione di Democrito permette di rappresentare la materia come un insieme di particelle di forme e dimensioni differenti, in continuo movimento. Quindi Democrito propone un "modello" della materia. L'insegnante sottopone ora all'attenzione degli allievi il seguente interrogativo: "*Se ammettiamo che la materia sia costituita di particelle, cosa ci sarà tra una particella e l'altra?*" Di primo acchito, alcuni allievi sostengono che c'è dell'aria. Però altri ritengono che, se così fosse, sarebbe sempre materia, anch'essa formata da particelle e il problema si porrebbe di nuovo. L'unica idea plausibile è che, tra una particella e l'altra, non vi sia nulla; qualche allievo propone il termine "vuoto". L'insegnante concorda che questo "nulla" prenda il nome di "vuoto".
In conclusione, questa attività permette agli allievi, grazie al confronto dei due modelli, di porsi interrogativi sulla struttura della materia, dal momento che l'idea di una natura particellare è tutt'altro che banale e intuitiva, di avviare la discussione sulle idee di continuità/discontinuità della materia e sull'esistenza del vuoto, sapendo che questo aspetto è centrale nella concezione della struttura della materia.

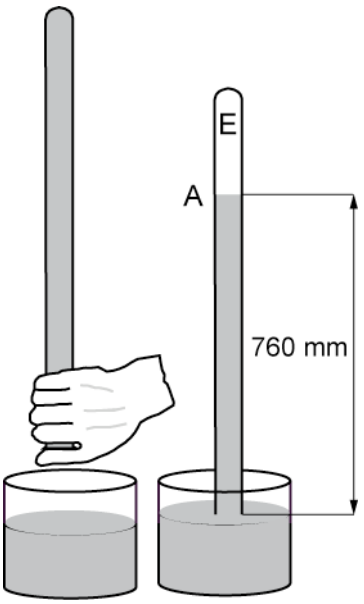
ATTIVITÀ 2 – MA IL VUOTO ESISTE?

Con questa attività si mira a portare gli allievi a riflettere sulla possibilità che esistano spazi nei quali la materia è assente. A questo fine si fornisce a ogni allievo il testo (Riquadro 3) relativo agli studi di Torricelli sul comportamento dei fluidi.

Riquadro 3

Gli studi di Torricelli

Evangelista Torricelli (1608 – 1647) fu studioso di matematica e fisica. Nel corso dei suoi studi sul movimento dei fluidi, egli si interessò del problema del vuoto. L'idea di Aristotele "la materia è continua" cominciava a essere messa in discussione, ma mancava ancora una prova sperimentale convincente che ne mostrasse la falsità.
Nell'ambito di una serie di studi sul trasporto dell'acqua mediante condutture che dovevano superare dislivelli naturali, Torricelli concepì e realizzò il seguente esperimento. Un tubo di vetro lungo 1 metro e con un'estremità chiusa, viene riempito di mercurio. Dopo il riempimento, l'estremità aperta viene tappata con un dito in modo da impedire la fuoriuscita di mercurio. Quindi si immerge questa estremità del tubo dentro il mercurio contenuto in una bacinella. A questo punto il dito viene tolto, così da mettere in contatto il mercurio contenuto nel tubo con il mercurio contenuto nella bacinella. Il mercurio contenuto nel tubo scende di circa 24 cm e poi si ferma (livello A). In questo modo, sopra il livello del mercurio contenuto nel tubo, esiste uno spazio E.
L'insegnante pone allora agli allievi il seguente interrogativo:



Cosa c'è nel tubo in questo spazio sopra il mercurio? [4]

Nel riquadro 4 sono riportate alcune risposte esemplificative fornite dagli allievi.

Riquadro 4

Allievo A
Secondo me, nello spazio sopra il mercurio c'è il vuoto, cioè l'assenza di materia, perché non è possibile che sia entrata aria, dato che il tubo era completamente chiuso.

Allievo B
Nello spazio vuoto secondo me c'è dell'aria che ha spinto una parte di mercurio fuori dal tubo all'interno della bacinella anche se dopo un breve spazio l'aria perde forza perché incontra l'opposizione del liquido all'interno della bacinella".

Allievo C
A mio parere c'è del vuoto, infatti lo spazio non è occupato da un corpo liquido (il mercurio), né da qualsiasi altro corpo, quindi, secondo me, quello spazio non è occupato da alcun corpo.

Allievo D
Secondo me nel tubo c'è il vuoto perché prima che fosse immerso, il tubo, non conteneva altro che mercurio quindi non può essere entrato nessun altro corpo nel tubo. A un certo punto il

[4] Il livello del mercurio nel tubo si fissa per via dell'equilibrio tra la pressione atmosferica e la pressione prodotta dalla colonna di mercurio liquido + la pressione del gas mercurio all'interno del tubo. Poiché quest'ultima risulta trascurabile in condizioni di temperatura standard, si può ritenere che nel fondo del tubo (spazio E) vi sia assenza di materia, cioè il vuoto. Se la temperatura venisse elevata in modo rilevante, la pressione di vapore del mercurio crescerebbe fino a non essere più trascurabile. I seguenti dati giustificano come mai la zona del tubo priva di mercurio liquido venga ritenuta priva di materia, quindi lo spazio relativo sia da considerare vuoto:
Pressione di vapore dell'acqua a 25° C = 3 173 Pa
Pressione di vapore del mercurio a 25° C = 0,24 Pa (0,0018 mmHg)
Pressione di vapore del mercurio a 100° C = 106 Pa

mercurio contenuto nel tubo si ferma perché la pressione esterna tende a far salire il mercurio ma essendo troppo pesante non ce la fa.

Allievo E
C'è del vuoto, perché se ci fosse stata della materia il mercurio sarebbe caduto tutto.

Allievo F
Secondo me è uno spazio vuoto perché non è potuto entrare altro.

Ogni allievo formula le risposte che ritiene più adeguate, sforzandosi di argomentarle. L'insegnante procede a un rapido inventario delle risposte fornite, mettendo così in evidenza che vi sono due idee contrapposte: 1) nello spazio libero del tubo c'è dell'aria (idea minoritaria); 2) si tratta di uno spazio vuoto, poiché non c'è materia. Le due idee vengono messe a confronto: si sviluppa così una discussione nel corso della quale un allievo, di fronte all'affermazione che nel tubo, sopra il mercurio, vi è dell'aria, pone l'interrogativo: "*Da dove viene l'aria che, secondo voi, si trova nel tubo sopra il mercurio?*"
Gli allievi che sostengono questo punto di vista si trovano in difficoltà di fronte a questo interrogativo. Qualcuno giustifica la propria convinzione affermando che si tratta di aria che, all'inizio dell'esperimento, era contenuta nel mercurio. L'insegnante pone allora l'interrogativo "*Se nel mercurio ci fosse stata dell'aria, che cosa si sarebbe dovuto vedere quando si sposta*?" Vi è chi fa presente che quando l'aria (o un altro gas) si sposta in un liquido, per esempio l'acqua, vi sono bolle o bollicine, segni percepibili di tale movimento. Però Torricelli non parla di bolle o bollicine che avrebbe notato nel mercurio nel corso dell'esperimento. Quindi è possibile un'unica conclusione: nello spazio che sovrasta il mercurio non vi è materia, vi è il *vuoto*. Con i suoi studi Torricelli mostrò che *in natura il vuoto esiste*.

ATTIVITÀ 3 – ARISTOTELE O DEMOCRITO?

Grazie alle discussioni sollecitate dall'attività precedente, gli allievi sono giunti a riconoscere che l'esperimento di Torricelli fornisce l'evidenza sperimentale che il vuoto esiste. Disponendo di questa prova empirica, si può ritornare sui due modelli della materia già visti e stabilire quale sia più plausibile.
La prima fase dell'attività consiste in un compito da realizzare dopo avere letto il testo riportato nel Riquadro 5 di cui viene fornita una copia a ogni allievo.

Riquadro 5

I modelli di Aristotele e Democrito dopo l'esperienza di Torricelli

I modelli della materia proposti da Democrito e Aristotele sono opposti. Democrito sosteneva che la materia è formata da particelle invisibili, indistruttibili e indivisibili. Ammettere che la materia è costituta di particelle, significa ammettere che esiste una separazione tra una particella e l'altra. Se tutta la materia è costituita di particelle, dove non ci sono particelle c'è assenza di materia, cioè "vuoto". Se si accetta l'idea che la materia sia discontinua, ossia formata da particelle, allora si deve anche accettare l'idea che il vuoto esiste.
Aristotele rifiutava l'esistenza delle particelle di Democrito per svariate ragioni. In primo luogo, diceva Aristotele, le particelle non si possono né vedere, né toccare. Che cosa allora ci prova che le particelle esistono? La seconda ragione era la seguente: Democrito sosteneva che esistevano molti tipi di particelle di forme differenti. Però Aristotele si chiedeva: quante sono esattamente le forme che possono avere le particelle? Democrito non indicava un numero definito e Aristotele pensava che questa imprecisione fosse una prova del fatto che il modello di Democrito era sbagliato. Infine, Aristotele negava l'esistenza del vuoto perché sosteneva che la materia è

continua e riempie tutti gli spazi disponibili. Egli riteneva che la grande varietà di oggetti dovesse essere spiegata come conseguenza della combinazione di quattro elementi fondamentali: Terra, Aria, Acqua e Fuoco. L'aria e il fuoco tendono spontaneamente ad andare verso l'alto, l'acqua e la terra verso il basso. Quindi il movimento di un oggetto dipende dalle proporzioni secondo le quali i quattro elementi entrano nella sua composizione. Però nel vuoto non è possibile nessun movimento. Infatti, nel vuoto è impossibile localizzare un su o un giù o qualsiasi altra direzione privilegiata e quindi i corpi non saprebbero dove dirigersi. Inoltre, se un corpo si muovesse nel vuoto non incontrerebbe nessuna resistenza: la sua velocità sarebbe infinita, cosa chiaramente assurda. Quindi, conclude Aristotele, se esistesse il vuoto, i corpi dovrebbero necessariamente restare fermi. Secondo Aristotele, *la natura ha orrore del vuoto*.

Consegna : Leggi con attenzione il testo e rispondi alle domande seguenti:

1. In che cosa sono differenti i modelli della materia di Democrito e Aristotele?
2. Quali critiche muoveva Aristotele al modello della materia di Democrito?
3. Secondo Democrito, cosa c'è tra una particella e l'altra?
4. I risultati degli studi condotti da Torricelli con i tubi pieni di mercurio possono aiutarci a stabilire se è più accettabile il modello di Aristotele oppure quello di Democrito? Argomenta la tua risposta

Nei Riquadri 6-9 sono riportate alcune risposte esemplificative fornite dagli allievi.

Riquadro 6 – In che cosa sono differenti i modelli della materia di Democrito e Aristotele?

Allievo A
I due modelli sono differenti in quanto il primo (quello di Aristotele) sosteneva che la materia fosse continua, mentre il secondo (Democrito) sosteneva che fosse discontinua.

Allievo B
La differenza sostanziale è che secondo Democrito, essendo la materia costituita da particelle separate le une dalle altre, esiste il vuoto. Secondo Aristotele, invece, in natura non esiste il vuoto, perché la materia riempie completamente lo spazio; inoltre, secondo questi, le particelle non esistono perché non si possono né vedere, né toccare.

Allievo C
Sono diversi perché in uno la materia è formata da tante piccole parti e tra di loro c'è il vuoto mentre nell'altro la materia riempie completamente lo spazio che occupa.

Allievo D
Democrito sosteneva che la materia fosse costituita da un numero finito di particelle. Tra una particella e l'altra esiste uno spazio. Quello spazio non può essere materia quindi deve essere nulla, cioè vuoto. Aristotele rifiutava l'esistenza delle particelle di Democrito per svariate ragioni:
- le particelle non si possono né vedere né toccare;
- il numero di forme che possono avere le particelle;
- Aristotele sosteneva che tutti gli oggetti del mondo siano la conseguenza di quattro elementi fondamentali: Terra, Aria, Acqua e Fuoco.

Allievo E
Democrito sosteneva che tutta la materia è costituita da particelle, e che tra una e l'altra c'è spazio vuoto, cioè del nulla. Aristotele invece sosteneva che la varietà di oggetti è spiegata dalla mescolanza dei 4 elementi (terra, aria, acqua, fuoco).

Allievo F
Democrito sostiene che la materia è costituita da particelle e che tra l'una e l'altra c'è uno spazio e che quella cosa che separa le particelle non può essere materia e quindi è uno spazio vuoto.

Aristotele sostiene che la grande varietà degli oggetti è spiegata come conseguenza della combinazione di 4 elementi fondamentali: Terra, Aria, Acqua, Fuoco.

Riquadro 7 – Quali critiche muoveva Aristotele al modello della materia di Democrito?

Allievo A
Aristotele critica il modello di Democrito perché: le particelle non si possono né vedere né toccare e perché non si conosce il numero preciso di tipi di particelle.

Allievo B
Aristotele rifiutava l'esistenza delle particelle, perché esse non si possono né vedere, né toccare. Inoltre lui, dato che Democrito non indicava un numero definito di particelle, pensava che questa imprecisione fosse una prova della falsità del modello di Democrito.

Allievo C
Arisototele criticava Democrito perché quest'ultimo non sapeva dire quante differenti particelle di materia esistevano e perché esse non si possono né vedere né toccare. Inoltre, Aristotele non accettava l'idea del vuoto.

Allievo D
Aristotele sosteneva che dato che le particelle non si possono né vedere né toccare nulla ci provava la loro esistenza. Pensava che l'imprecisione dovuta dal fatto che Democrito non indicava il numero definito delle forme delle particelle fosse una prova della falsità dell'altro modello. Infine sosteneva che il vuoto non può esistere perché nel vuoto i corpi non saprebbero come muoversi.

Allievo E
Aristotele non credeva che tra una particella e l'altra c'era il vuoto, ma pensava che la materia occupasse spazio. Inoltre Aristotele non credeva all'esistenza di particelle perché queste se non si potevano né vedere né toccare non si poteva spiegare la loro esistenza, infine Democrito aveva stabilito che le particelle avevano forme differenti; però alla domanda posta da Aristotele quante sono le forme? Democrito non aveva saputo rispondere.

Allievo F
Le critiche che muoveva Aristotele al modello di Democrito è che non può esistere il vuoto perché la materia riempie completamente lo spazio. Poi Aristotele rifiutava l'esistenza delle particelle per due motivi.
- Se non si possono né vedere né toccare chi ci prova che esistono?
- Democrito sosteneva che avevano forme differenti ma Aristotele chiese quanti tipi di particelle esistevano ma Democrito non seppe rispondere e per questo motivo può essere una prova che il modello di Democrito non è giusto.

Riquadro 8 – Secondo Democrito cosa c'è tra una particella e l'altra?

Allievo A
Secondo Democrito c'è il vuoto, ossia l'assenza di materia.

Allievo B
Secondo Democrito c'è assenza di materia, nulla, vuoto.

Allievo C
Secondo Democrito tra una particella e l'altra c'è "assenza di materia" cioè il "vuoto".

Allievo D
Secondo Democrito tra una particella e l'altra c'è assenza di materia, cioè il vuoto.

Allievo E
C'è l'assenza di materia, cioè il vuoto.

Allievo F
Secondo Democrito tra una particella e l'altra c'è il vuoto perché se tutta la materia è fatta da particelle in quello spazio non può esserci materia e quindi c'è il nulla, cioè il vuoto.

Riquadro 9 – I risultati degli studi condotti da Torricelli con i tubi pieni di mercurio possono aiutarci a stabilire se è più accettabile il modello di Democrito oppure quello di Aristotele? Argomenta la tua risposta.

Allievo A
Sì, perché l'esperimento di Torricelli afferma l'esistenza del vuoto concepito solo dal modello di Democrito. Perciò il modello di Democrito è quello vero.

Allievo B
Sì. Infatti con l'esperimento condotto da Torricelli si è potuto affermare che in natura esiste il vuoto; dunque risulta essere esatto (perché dimostrato scientificamente) il modello di Democrito per il qualetra una particella e l'altra c'è assenza di materia, cioè vuoto. Da non considerare invece quello di Aristotele, colui che si era rigidamente opposto alle idee di Democrito.

Allievo C
Secondo me, l'esperimento di Torricelli fa pendere l'ago della bilancia dalla parte di Democrito, perché ci aiuta ad accettare l'esistenza del vuoto.

Allievo D
Gli studi condotti da Torricelli possono aiutarci a stabilire che il modello più accettabile è quello di Democrito. Torricelli "tappando" con un dito il tubo di mercurio e distogliendolo solo dopo averlo immerso nella bacinella di mercurio, osservò che il livello di mercurio nel tubo scese di qualche centimetro. Poiché immergendolo e togliendo il dito solo dopo che il tubo era già immerso nel mercurio, non è potuta entrare aria e quindi lo spazio vuoto al di sopra del mercurio è occupato dal nulla, dal vuoto, dall'assenza totale di materia.

Allievo E
È più accettabile l'idea di Democrito perché se lo spazio vuoto era costituito da materia (es aria) tutto il mercurio sarebbe sceso.

Allievo F
Secondo i risultati ottenuti dagli studi di Torricelli è più accettabile il modello di Democrito; perché secondo me sopra il livello del mercurio, nello spazio che si è formato, non c'è nulla, cioè è vuoto perché se fosse entrata aria il mercurio sarebbe uscito tutto e anche Democrito sostiene che il vuoto esiste.

La discussione in classe delle risposte degli allievi porta a concludere che gli studi di Torricelli permettono di invalidare e confutare il modello di Aristotele e di ritenere più plausibile il modello di Democrito. Quindi, gli allievi dovrebbero ora disporre di una congettura sulla struttura particellare della materia, a partire dalla quale possono affrontare attività più impegnative relative alla modellizzazione dei corpi e delle loro trasformazioni.

Conclusione

Questa sequenza permette di mettere gli allievi in contatto con l'idea di "modello", inserendo i concetti affrontati in un contesto storico. L'attività relativa alla scelta tra il modello di materia proposto da Democrito e quello proposto da Aristotele permette all'insegnante di impegnare gli allievi in una discussione scientifica nella quale è necessario argomentare, portando prove a sostegno delle proprie idee, e confrontare le proprie opinioni con quelle dei compagni. È inoltre probabile che con questo approccio gli allievi si rendano conto che gli interrogativi che gli studiosi si sono posti nel corso dei secoli sono talvolta simili agli interrogativi che essi stessi si pongono. Inoltre la sequenza offre la possibilità di discutere il ruolo dell'errore nel lavoro degli scienziati. Una concezione che nel corso del tempo risulta non accettabile non è una concezione inutile: essa segnala comunque che certe idee sono meno proficue di altre al fine di comprendere il mondo ed evidenzia che la scienza procede per "tentativi ed errori", ossia per congetture esplicative messe in crisi da evidenze empiriche e sostituite da altre congetture.

BIBLOGRAFIA

Bréhelin D., Geudj M., *Le modèle particulaire au collège: fluctuactions des programmes et apport de l'histoire des sciences*. Didaskalia, 2007, n. 31, pp. 129-165.
Ciardi M., Breve storia delle teorie della materia, Carrocci, Roma, 2003
Geymonat L., Storia del pensiero filosofico e scientifico, Garzanti,Milano, 1970