

Tra particelle e continuo, ovvero come i nostri alunni immaginano la materia: un'indagine quantitativa condotta nelle Scuole Medie Inferiori e Superiori

Ruggero Noto La Diega, Claudia Benedict, Claus Bolte

Chemistry Education, Institute of Chemistry and Biochemistry, Freie Universität Berlin, Takustraße 3, 14195 Berlin.
Email: didaktik@chemie.fu-berlin.de

Riassunto

Obiettivo del presente lavoro è rilevare, analizzare e descrivere le idee pregresse di studenti delle scuole medie inferiori e superiori sulla natura e la costituzione della materia sulla base delle loro interpretazioni e spiegazioni di fenomeni sia a livello macroscopico (continuum) sia a livello submicroscopico (discreto). Come emerge dai risultati della nostra indagine preliminare (N = 189), magari non rappresentativa ma sicuramente in grado di fornire evidenze istruttive, anche in seguito all'introduzione a lezione della teoria particellare della materia, molti studenti, nell'interpretazione di fenomeni, continuano a ricorrere alle loro idee pregresse per lo più scientificamente erronee. E ciò accade anche per quei fenomeni, che secondo la didattica della chimica, dovrebbero indurre a spiegazioni a livello particellare, ovvero al livello submicroscopico del discreto. Dai nostri risultati emerge che una percentuale non indifferente degli studenti si immagina la materia, nonostante l'insegnamento della teoria atomistica, come corpo continuo. Inoltre, anche tra coloro che si avvalgono di modelli submicroscopici e discreti, dominano diversi fraintendimenti, oggetto del presente lavoro. Premesso che desideriamo mettere in guardia da generalizzazioni dei nostri risultati, siamo dell'opinione che la presente indagine preliminare possa offrire agli insegnanti indicazioni utili per lo sviluppo di approcci didattici che conducano gli studenti a una comprensione (più) differenziata e durevole della natura particellare della materia. Attraverso ciò è possibile aiutare i discenti in un apprendimento più profondo e più flessibile di questo "concetto di base" fondamentale nelle scienze.

Summary

The aim of this work is to collect, analyse and describe the notions which Italian middle and upper school pupils have of the "nature and make-up of matter"; in particular their interpretation and explanation of phenomena on a macroscopic (continuous) and sub-microscopic (discontinuous) level. The results of our non-representative, yet still enlightening, (pre-)investigation show that many of the pupils questioned call on their rather more non-scientific notions when interpreting phenomena, even after the "particle concept" has been dealt with in lessons. The pupils do this even though the phenomena in question should – from a science educational point of view – provoke explanations using the particle model (in other words a sub-microscopic or discontinuous level of interpretation). According to our results, a substantial number of subjects picture matter – despite lessons – as being continuous; and of the subjects who do call on sub-microscopic and discontinuous models to begin with, many misconceptions still come to light. The following work will report on these.

On the basis of constructivist learning-teaching theories intelligent and sustainable learning is only achieved if the learner can establish a connection to already existing conceptions. From these considerations the significance and urgency of the research on conceptions of students result as a didactic object of research. The data acquisition was conducted in November 2008 at four schools in Tuscany. In the course of the survey a total of 189 students between the ages of 11 years and 16 years were questioned. The data acquisition was carried out by means of a questionnaire which consists of two parts. Both parts are filled out by the students one after the other. In the first part the probands are shown three phenomena by means of simple experiments. After each experiment the participants are asked to record their conceptions regarding the observable phenomenon graphically. In the second part of the instrument the students are asked to choose from a larger number of pictures the picture that in their opinion represents the observed phenomenon best. Afterwards the probands are asked to judge closed tasks (so called items) on the basis of technical correctness.

Although a majority of the students spontaneously compose a graphical representation that could be interpreted as conceptions of particles, approximately a quarter of our sample uses graphical representations which show the conceptions of continuum in different contexts (e.g. compression of air in a syringe, dissolving of same starting volumes of water and alcohol, dissolving of a potassic permanganate crystal in water) that form the basis of the students' explanations.

According to the results of our survey it can interestingly be seen that in the first years of the middle and upper school respectively where the particle theory is introduced explicitly the comprehension of particle is represented more

Come i nostri alunni immaginano la materia

strongly than in the following years. Therefore, students draw on pre-school concepts of a continuously composed material if the discussion of this topic dates back further. The education these probands experienced did thus not lead to a sustainable and objectively and technically appropriate conceptual change.

Even regarding the students who do possess a discontinuous comprehension, the answer to the question about what is between the particles turns out to be problematic: Only a minority of the questioned students refers to the existence of free space between the particles. The conception of the *horror vacui* seems to be deeply rooted in the minds of the probands because the results regarding the assumption of empty space between turn out similar to each other over six school years. Thus, this aspect seems to be addressed in the classes only insufficiently.

Another question resulting from our survey regards the original area of the not scientifically oriented conceptions. Some of the conceptions that we can reconstruct seem to be based on a transfer of properties from our familiar macroscopic world to the invisible level of particles. Among them are properties like continuity (with our senses we see water as continuum), the color of, for example, water particles (blue molecules because of the color of the ocean), or vitalistic conceptions and anthropomorphic conceptions respectively (particles as living things or particles with human shape).

The findings of our survey which focus on the kinetic properties of particle bonds seem far less critical. This aspect of the theory of the particle nature of material is answered in a scientifically appropriate way by 80% of the Italian students.

Though we would like to explicitly warn against making exaggerated generalisations based on these findings, we nevertheless believe that the results of our pilot study can give teachers useful suggestions when planning their lessons. Suggestions which help the teacher convey a (more) differentiated and (more) lasting understanding of the particulate nature and make-up of matter. As a result, pupils can establish a more flexible learning approach as regards this fundamental scientific “basic concept”.

1. Introduzione

Il modello particellare della materia rappresenta uno dei concetti base della chimica e con essa del suo insegnamento. L'atomismo ha le sue origini nella Grecia ionica della fine del VII secolo a.c. e venne sviluppato nel secolo successivo da Leucippo e dal suo allievo Democrito. Per Leucippo “*Il mondo [...] si costituì assumendo una figura ricurva; e la sua formazione seguì questo processo: poiché gli atomi sono soggetti a un movimento casuale e non preordinato e si muovono incessantemente e con velocità grandissima*” [1]. Nella teoria atomistica di Democrito, gli atomi possiedono come attributo principale l'indivisibilità costituendosi, così, come particelle ultime non ulteriormente decomponibili tra le quali - corollario del loro moto intrinseco - non può che esservi il vuoto. I fenomeni macroscopici sono, per il filosofo, semplice espressione della grandezza e dei rapporti quantitativi tra gli atomi, i quali sono tutti uguali fra loro e con ciò privi di attributi propri del mondo fenomenologico, quali colore o temperatura [2].

I nostri sensi ci trasmettono nella vita quotidiana un'immagine continua del mondo che ci circonda (si pensi all'acqua che scorre in un torrente) e - sebbene l'atomismo abbia radici così antiche e fornisca la chiave per l'interpretazione scientifica di innumerevoli fenomeni fisico-chimici - questa immagine sensoriale fallace di un mondo senza discontinuità induce tanti di noi (sia alunni che insegnanti!) a ricorrere a rappresentazioni grafiche e a spiegazioni verbali tanto intuitive quanto scientificamente scorrette.

La teoria atomistica alla quale ci riferiamo nella nostra indagine prevede una materia costituita da particelle fra loro identiche per una stessa sostanza e differenti per sostanze differenti, separate da spazi vuoti, in continuo movimento e prive degli attributi fisici del mondo macroscopico. In seguito alle acquisizioni della fisica quantistica si potrebbe discutere sulla validità dell'affermazione dell'esistenza di particelle discrete separate da spazi vuoti, tuttavia riteniamo che per l'insegnamento scolastico della fisica e della chimica tale modello mantenga la sua validità.

Ma perché riteniamo importante che i nostri alunni approdino a una comprensione profonda della teoria atomistica? Due ordini di ragioni si possono addurre a tal proposito: da una parte il modello particellare è un concetto base della chimica e della fisica senza il quale non si possono interpretare adeguatamente una molteplicità di fenomeni (per esempio la diffusione o i passaggi di stato), dall'altra la teoria atomistica fa parte della cultura generale scientifica, *scientific literacy*, che fa dello studente un cittadino consapevole in grado di partecipare al dibattito sociale e politico avvalendosi di cognizioni e argomenti scientificamente fondati (per esempio in riferimento al dibattito sul nucleare).

2. Quadro teorico e status quo

Il presente studio mira a indagare le idee pregresse di studenti di scuole di vario ordine e grado relativamente, sia all'impiego spontaneo di modelli particellari nella spiegazione di fenomeni fisico-chimici, sia alle idee su alcuni aspetti cardine del modello particellare della materia. Sull'importanza di rilevare le idee pregresse dei discenti su un determinato argomento, ha posto l'accento la teoria del costruttivismo contrapponendosi così all'approccio tradizionale di stampo behaviourista di molti insegnanti i quali considerano, implicitamente, le teste degli studenti come *tabulae rasae* sulle quali potere liberamente incidere, come se l'apprendimento altro non fosse che un'assimilazione passiva da parte del discente di un sistema preformato di conoscenze trasmessogli dall'insegnante. Secondo il costruttivismo, inve-

ce, l'apprendimento è un lavoro mentale attivo di costruzione da parte del soggetto il quale impara interpretando le proprie esperienze [3]. L'apprendimento si delinea così come processo attivo fortemente legato a un contesto specifico, la cui stessa regolazione metacognitiva è nelle mani del discente il quale va costruendo da sé un nuovo sapere sulle imprescindibili fondamenta delle sue conoscenze e competenze pregresse [4]. Da qui si evince l'importanza di indagare quali e quanto diffuse siano tali idee pregresse, per fornire agli insegnanti un punto di partenza nella concezione di un percorso didattico che contempra esperienze e contesti in grado di mostrare agli studenti l'eventuale inadeguatezza dei propri preconcetti, motivandoli così a rimpiazzarli con idee scientificamente corrette (*conceptual change* [5]). Solo così è infatti possibile per il discente costruire un sapere tanto duraturo quanto flessibile, anziché posticcio e labile, a cui egli possa ricorrere attivamente e spontaneamente nei contesti applicativi più disparati.

Nell'ottica costruttivista il ruolo dell'insegnante subisce una decentralizzazione: il docente si ridefinisce come tutor che allestisce esperienze e contesti in grado di rendere lo studente insoddisfatto delle proprie teorie (conflitto cognitivo), motivandolo a sviluppare nuovi concetti scientifici che spieghino in modo soddisfacente i fenomeni osservati [6].

Con i termini *idea pregressa*, *conoscenza implicita* o anche *preconcetto* si intendono le costruzioni cognitive da parte dei soggetti sviluppate per interpretare le proprie esperienze quotidiane. Il termine inglese *misconception* e l'equivalente tedesco *Fehlvorstellung* sottolineano la discrepanza tra l'idea pregressa del soggetto e la spiegazione scientifica dello stesso.

La difficoltà principale del modello particellare della materia risiede nel fatto che le idee di atomo e di molecola sono idee astratte e inaccessibili ai nostri sensi. Per la realtà scolastica italiana, Riani ha per primo messo in evidenza le difficoltà incontrate da una parte consistente degli alunni nel ricorrere al modello particellare per spiegare la struttura della materia e i suoi passaggi di stato. L'autore attribuisce la responsabilità da una parte, ai molti insegnanti che affrontano il modello particellare come argomento fine a se stesso piuttosto che come strumento interpretativo di fenomeni concreti, dall'altra, ai libri di testo che ricorrono a rappresentazioni insidiose [7]. Andreoli e Cotaldi, in uno studio successivo, hanno esaminato la competenza nell'uso del modello da parte di insegnanti e futuri insegnanti, giungendo al preoccupante risultato che anche questi gruppi mostrano le stesse difficoltà riscontrate da Riani per gli allievi delle scuole medie [8].

Di seguito presentiamo quattro tipiche idee pregresse in contraddizione con la visione scientifica, diffuse tra studenti di età e istruzione differente, evinte da diverse ricerche di didattica disciplinare. Sugli stessi aspetti abbiamo indirizzato la nostra attenzione nella presente indagine condotta sulle classi italiane.

1) *Gli allievi si immaginano la struttura della materia come un continuum.*

Stavy, attraverso interviste a alunni di classi comprese tra la quarta e la nona, ha mostrato come tra gli studenti dell'ottava classe solo il 25% fosse in grado di descrivere un gas a livello microscopico ricorrendo al modello particellare, percentuale che sale all'80% con la classe successiva, mentre, stranamente, proprio nella settima classe in cui la teoria atomistica viene introdotta, nessuno studente ne ha fatto uso per descrivere la costituzione del gas [9]. In uno studio successivo, l'autore ha intervistato 120 allievi tra la quarta e la nona classe sull'evaporazione dell'acetone e sulla sublimazione dello iodio: nessuno degli studenti delle settime classi e appena il 15% di quelli del nono anno scolastico ricorre al concetto di particella [10]. Ulteriori evidenze forniscono Benson *et alii* [11]: nel rappresentare graficamente la struttura microscopica dell'aria, l'8% degli allievi tra la seconda e la quarta classe e solo l'85% degli studenti universitari di chimica (sic!) fa uso del modello particellare. Anche laddove con l'età una percentuale sempre maggiore di studenti fa proprio il modello particellare, singoli aspetti della teoria atomistica rimangono spesso incompresi o fraintesi. Gli studenti sviluppano così modelli ibridi in cui, ad esempio, sono sì previste particelle, ma immerse in un medium continuo o dotate di attributi tipici del macroscopico [12].

2) *Tra le particelle non esistono spazi vuoti.*

Per Aristotele la natura aborre il vuoto, questa idea di un *horror vacui* sembra valere ancora oggi per la maggior parte delle persone, sia come preconcetto antecedente l'apprendimento della chimica, sia dopo essere stati introdotti allo studio di questa materia. Novik e Nussmann [12], su un campione di 576 di allievi e di studenti universitari, hanno registrato un rifiuto dell'esistenza di spazi vuoti tra le particelle condiviso da più dell'80% degli intervistati tra la quinta e la nona classe e da ben il 60% degli allievi tra la decima e la dodicesima classe e degli studenti universitari. I ragazzi ipotizzano per lo più l'esistenza, tra le particelle, della stessa materia in forma continua o di un altro medium continuo [13].

3) *Le particelle microscopiche, siano esse atomi o molecole, possiedono le stesse caratteristiche macroscopiche del materiale che costituiscono.*

Brook *et alii* hanno domandato a 294 quindicenni di spiegare a livello particellare cosa implica il riscaldamento di un blocco di ghiaccio da -10°C a -1°C . Il 28% degli intervistati ha sostenuto che le particelle evaporano, si sciolgono o si riscaldano, ovvero hanno trasferito alle particelle il comportamento macroscopico dell'aggregato [14].

Come i nostri alunni immaginano la materia

Nelle idee pregresse di molti alunni si riscontra anche il preconcetto secondo il quale atomi e molecole abbiano un colore: il rame rosso-marrone, il cloro verde etc. [15]. Ulteriori idee pregresse, che nascono da una proiezione dal livello macroscopico a quello microscopico, includono visioni animistiche, secondo le quali le particelle sarebbero essere viventi, così come visioni antropomorfe secondo le quali atomi e molecole sarebbero dotati di sentimenti e intenzionalità [16]

4) *Le particelle non sono in continuo movimento.*

L'idea di un moto intrinseco e perpetuo è contraria alle esperienze con il mondo macroscopico nel quale ogni movimento, attraverso la perdita d'energia per attrito, finisce con l'esaurirsi. Dallo studio di Novick e Nussbaum risulta, ad esempio, che in tutte le coorti di intervistati, studenti universitari compresi, meno del 50% pensa le particelle in movimento continuo [17].

3. Obiettivi della ricerca

Domande alle quali la nostra indagine tenterà di fornire una risposta sono:

- 1) Se gli allievi italiani, confrontati con esperienze concrete, ricorrono spontaneamente all'uso di un modello particellare.
- 2) Quali e quanto frequenti siano le idee pregresse relative agli aspetti precedentemente illustrati.
- 3) Quali variabili (classe, scuola o sesso etc.) sembrano influenzare la distribuzione delle risposte.
- 4) Se il campione degli studenti italiani risulti omogeneo nel confronto con gruppi di allievi di altre nazioni o se si differenzi significativamente nella qualità e nella frequenza delle idee pregresse.

4. Campione

I questionari sono stati somministrati nell'ultima settimana di novembre 2008 a 189 allievi di 10 classi di quattro scuole medie inferiori e superiori toscane (tabella 1). Come si evince dalla tabella, fatta eccezione per una terza liceale, sono state sottoposte al test sempre almeno due classi parallele in modo tale da limitare l'influsso specifico della singola classe con il proprio curriculum e con le sue dinamiche interne. Le prime e le seconde medie rappresentano inoltre un campione per età omogeneo a quello sottoposto allo stesso questionario in Germania, fornendo così l'interessante opportunità di un futuro confronto tra le idee pregresse degli studenti italiani e di quelli tedeschi. Non avendo questo studio come obiettivo una valutazione delle singole scuole o un loro confronto, per ragioni di privacy preferiamo limitarci a indicare semplicemente il tipo di scuola senza dichiararne il nome o l'ubicazione esatta. Le due scuole medie si trovano in piccoli centri di meno di 4000 abitanti, il liceo scientifico in un capoluogo di provincia, l'istituto tecnico in un centro di circa 25.000 abitanti.

Tab. 1: campione al quale è stato somministrato il questionario.

Scuola	Classe	N° studenti
Scuola Media I	1 ^a	13
	2 ^a	18
Scuola Media II	1 ^a	16
	2 ^a	21
Liceo Scientifico	1 ^a	23
	2 ^a a	25
	2 ^a b	25
	3 ^a	22
Istituto Tecnico	1 ^a	24
	2 ^a	26

5. Strumento di indagine

Per il rilevamento delle idee pregresse ci siamo avvalsi di un questionario sviluppato da Benedict e Bolte nell'ambito delle attività di ricerca del nostro dipartimento per il progetto "KieWi & Co." [18, 19] nella traduzione italiana di Noto La Diega [20]. Il nostro strumento di indagine consta di due parti somministrate successivamente. La prima è stata concepita ispirandosi a quello di Novick e Nussbaum [17], la seconda al lavoro di Holstein [21]. Benedict, a differenza dei precedenti questionari, ha concepito i quesiti in modo tale da non suggerire a priori una costituzione particellare della materia, per poter così rilevare quanti studenti adottino autonomamente un tale modello e quanti invece facciano ricorso a rappresentazioni grafiche continue (Fig. 1-3, Tab. 2, 3). Un vantaggio di questo strumento è che gli items sono stati sviluppati dopo una fase di due anni di interviste contemplando così, fra tutte le possibili idee pregresse, quelle che effettivamente sono state formulate dagli alunni [22]. Alcune idee pregresse, come quelle relative a visioni animistiche, vengono prese in considerazione per la prima volta attraverso questo questionario. Nella prima parte del questionario vengono mostrati ai ragazzi tre semplici esperienze al termine del quale gli studenti hanno il compito di fornire una descrizione grafica di ciò che hanno appena osservato. In particolare:

- 1) compressione dell'aria all'interno di una siringa (senza ago) ottenuta tenendo chiusa l'apertura apponendovi un polpastrello e spingendo il pistone con l'altra mano.
- 2) osservazione di una soluzione di 50 cl di alcool etilico e 50 cl d'acqua.
- 3) osservazione del processo di soluzione di cristalli di permanganato di potassio in acqua.

Come esempio delle rispettive consegne si riporta qui quella relativa alla prima esperienza: *Cosa accade all'aria spingendo il pistone verso il basso? Prova a rappresentare graficamente la tua idea disegnando l'aria prima della compressione nello schema n°1. Disegna adesso nello schema n°2 come ti immagini l'aria dopo la compressione.* Nel prossimo capitolo riportiamo a titolo d'esempio alcuni dei disegni realizzati dai ragazzi. Dopo aver raccolto questa prima parte del questionario, i ragazzi hanno ricevuto la seconda da compilare, costituita da una scelta di rappresentazioni grafiche per ciascuna delle tre esperienze, tra le quali gli studenti hanno selezionato quella a parere loro più idonea a descrivere il fenomeno, nonché da 37 items a formato chiuso (vero, falso, non so) relativi ai tre fenomeni.

Per l'analisi dei dati sono stati analizzati tanto i disegni degli studenti quanto la frequenza delle risposte agli items. Per potere interpretare i disegni in un modo anche quantitativo abbiamo proceduto alla loro scomposizione in aspetti caratteristici, istituendo per ciascuno di essi una categoria con un rispettivo codice numerico. In tal modo, abbiamo potuto inserire anche i disegni nella stessa matrice del programma di statistica (SPSS versione 17.0) del quale ci siamo avvalsi per analizzare le risposte agli items della seconda parte del questionario.

6. Risultati qualitativi

Prima di illustrare i risultati in termini quantitativi di frequenza delle varie risposte, sia per la totalità del campione che per alcuni suoi sottogruppi, vogliamo presentare qui di seguito, per ciascuna delle tre esperienze, una piccola selezione dei disegni realizzati dagli studenti. Questa rassegna non ha pretese di esaustività, funge piuttosto da introduzione alla sorprendente molteplicità delle idee pregresse sulla natura della materia attraverso la loro espressione grafica. I disegni qui di seguito sono esemplari, seppure con frequenze diverse, sia per il campione delle medie che per quello delle superiori. Cominciamo con la compressione dell'aria (fig. 1).

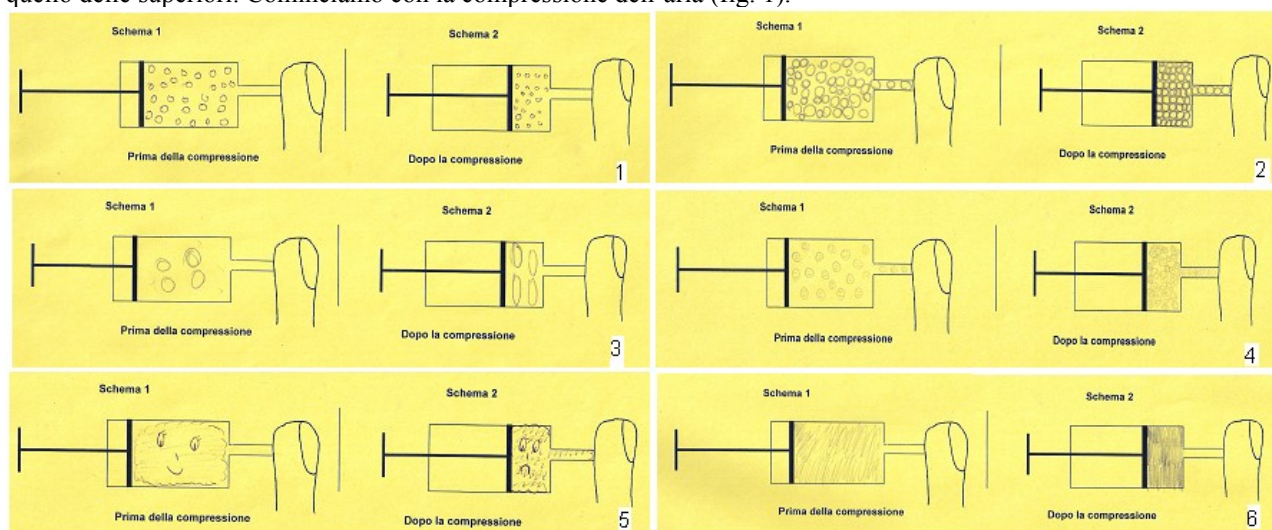


Fig. 1: qualche disegno dell'esperienza della compressione dell'aria. In ogni riquadro rappresenta lo schema 1 a sinistra l'aria nella siringa prima della compressione e lo schema 2 a destra l'aria dopo la compressione.

Come i nostri alunni immaginano la materia

Mentre gli studenti 5 e 6 hanno adottato un modello continuo per rappresentare l'aria, i primi quattro disegnatori danno espressione a una visione discreta della materia. Pur essendo tali rappresentazioni più vicine al modello scientifico di quanto non lo siano 5 e 6 con i loro disegni, anche i "particellari", attraverso le loro scelte grafiche, danno voce ad alcuni ricorrenti *misconcepts* che effettivamente ritroviamo poi anche nelle risposte agli items della seconda parte del questionario. 1 ad esempio pensa si correttamente a particelle separate da spazi vuoti, omogeneamente e casualmente distribuite nello spazio e tra loro tutte uguali, ma nello schema 2 le disegna rimpicciolite, probabilmente come effetto della compressione. 2 rappresenta invece, dopo la compressione, le particelle ordinate secondo uno schema geometrico compatto come si trattasse di un corpo cristallino. 3 trasferisce alle particelle gli effetti deformanti della pressione noti dalle esperienze con il mondo macroscopico; esse infatti assumono una forma appiattita come fossero palloncini compressi da due parti. 4 e 5 disegnano faccine prima sorridenti e poi, dopo la compressione, tristi: 4 fa uso di particelle per illustrare la sua idea, 5 con la nuvoletta immagina, probabilmente, l'aria come corpo continuo. Il dubbio che tali scelte grafiche siano eventualmente da interpretarsi come burla, viene fugato da un controllo incrociato con i rispettivi items (ad esempio: Le molecole dell'aria sono esseri viventi). Proseguiamo con qualche disegno del secondo esperimento (fig. 2).

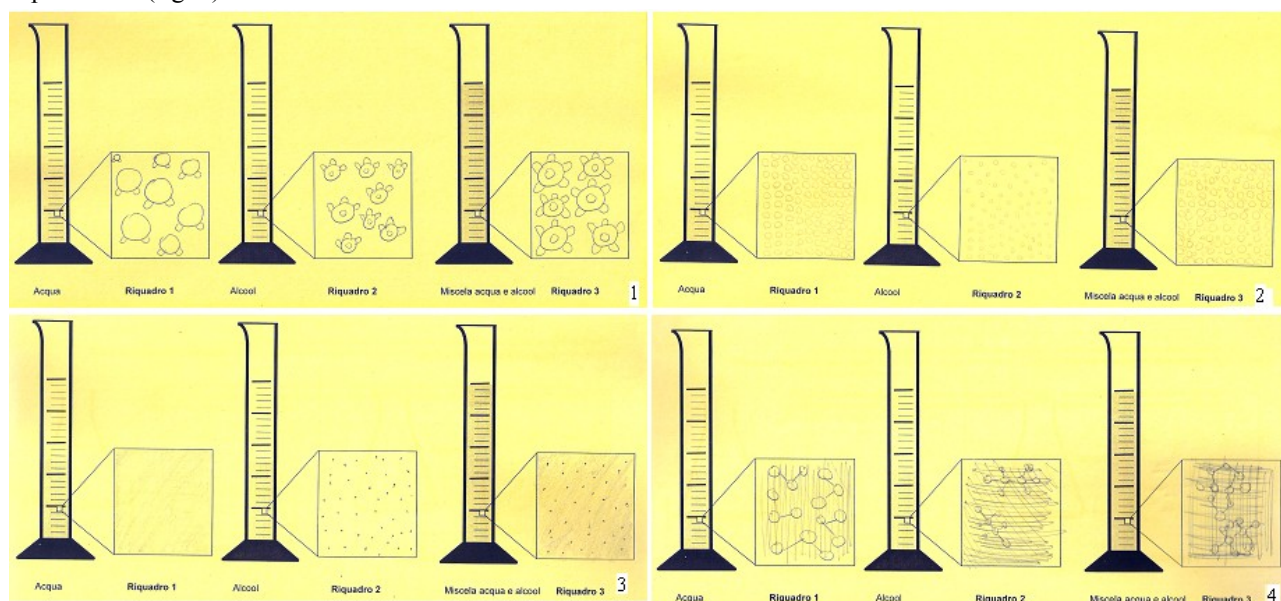


Figura 2: qualche disegno dell'esperienza della soluzione di acqua e alcool etilico. Accanto ai tre cilindri graduati, rispettivamente per l'acqua, per l'alcool e per la miscela acqua – alcool, si vedono i disegni dei ragazzi per ciascuno dei tre liquidi.

Lo studente 7 rappresenta correttamente le molecole d'acqua e di alcool utilizzando simboli differenti. Per la soluzione (riquadro 3) sceglie però una nuova forma grafica che, a ben guardare, risulta dalla sovrapposizione delle molecole delle due sostanze, così che, attraverso l'unione dell'acqua e dell'alcool, si vengono a formare nuove particelle. Il disegno dello studente 8 è invece coerente con la visione scientifica: nel terzo riquadro abbiamo infatti molecole di entrambe le sostanze che si alternano occupando omogeneamente lo spazio e lasciando spazi vuoti tra esse. 9 rappresenta, e quindi presumibilmente immagina, l'acqua come continuo e l'alcool come particellare: unendo i due liquidi, si osservano le molecole d'alcool immerse a loro volta in un'acqua con le caratteristiche del continuo. 10 dà espressione ad un'idea pregressa piuttosto diffusa basata su una commistione di elementi discreti e continui, infatti, per entrambe le sostanze, disegna molecole immerse in una matrice continua; nel terzo riquadro si istaurano dei legami disegnati come legami covalenti così che, come nel primo disegno, dall'unione di alcool e acqua risulta, attraverso una reazione, una nuova sostanza. Concludiamo questa breve rassegna dei disegni degli studenti con quelli relativi alla terza esperienza (fig. 3).

11, 13 e 16 fanno uso esclusivo di particelle, tuttavia i disegni si differenziano in alcuni tratti essenziali. Studente 11 fa reagire, analogamente allo studente 7 di figura 2, le particelle per sovrapposizione delle stesse; 13 rappresenta delle particelle del cristallo che fagocitano le molecole d'acqua che quindi si trovano a essere inclusioni nelle particelle del cristallo. Solo 16 fornisce un disegno da noi valutato coerente con la spiegazione scientifica del fenomeno. 12, 14 e 15 ricorrono a rappresentazioni ibride del tipo già visto in figura 2. Nel secondo disegno osserviamo particelle d'acqua di grandezza varia immerse in acqua e poi del permanganato di potassio rappresentato come macchia di colore piuttosto che ricorrendo a particelle. 14 rappresenta l'acqua azzurra (!) e in essa le molecole d'acqua e nel secondo riquadro solo le molecole del cristallo immerse in una soluzione rossastra. Anche 15 mescola continuo e discreto, interessante come in questo caso le molecole d'acqua si uniscano a formare una figura chiusa che nel secondo riquadro circonda le particelle del cristallo.

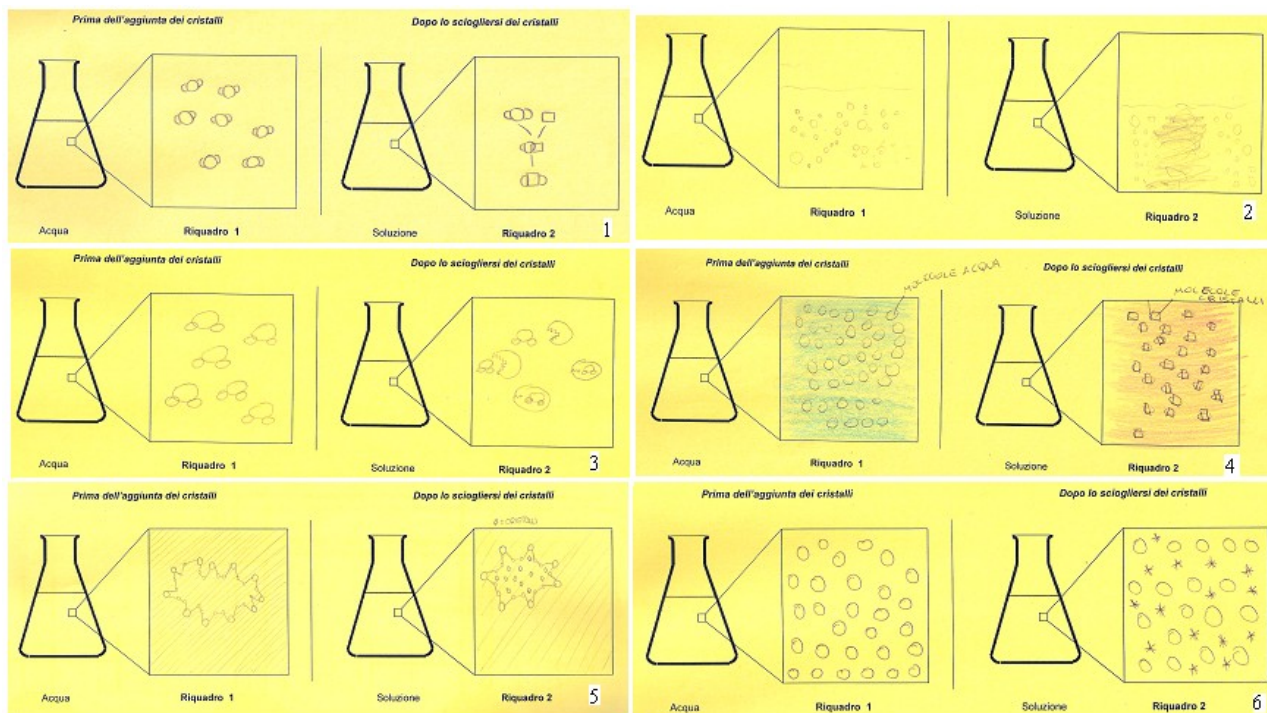


Figura 3: qualche disegno dell'esperienza della soluzione di cristalli di permanganato di potassio in acqua. La prima beuta contiene l'acqua, la seconda la soluzione. Accanto a ciascuna beuta si possono vedere i disegni realizzati dagli studenti per rappresentare l'acqua e la soluzione acquosa di permanganato di potassio.

7 Risultati quantitativi

Quanti e quali studenti fanno uso spontaneo di particelle nei loro disegni? Nel caso dell'aria nella siringa circa il 63% del campione totale disegna particelle, circa un quarto rappresenta invece l'aria come continuum e ben pochi (6 studenti tra 189) mescolano le due idee (fig. 4). Le percentuali sono estremamente simili per i disegni dell'aria dopo la compressione della stessa.

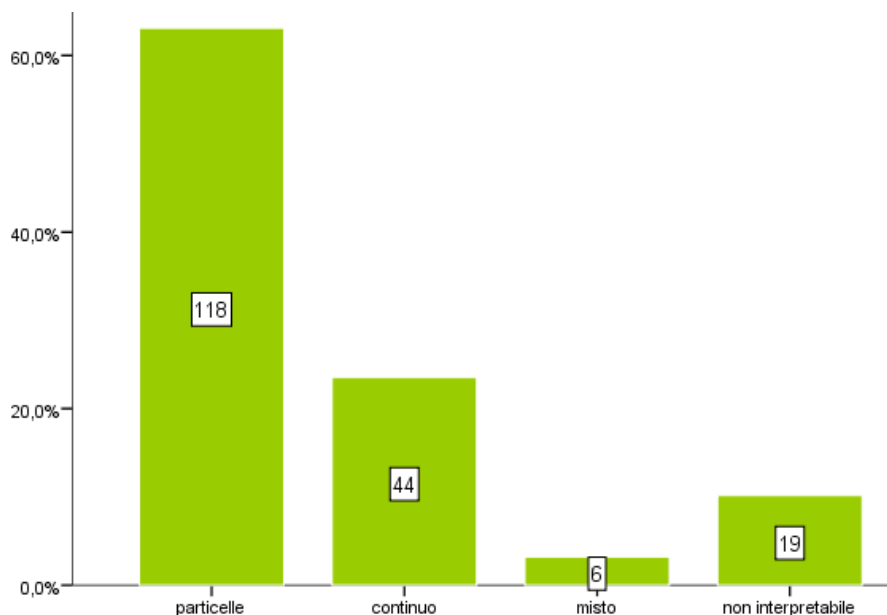


Fig. 4: frequenza delle scelte grafiche per rappresentare l'aria nella siringa prima della compressione relativamente al campione totale.

Come i nostri alunni immaginano la materia

Quali fattori spiegano al meglio la variabilità dei dati? Sia per questa categoria che per altri items, abbiamo analizzato il pattern delle risposte separando per variabili, in particolare: „sesso“, „età“, „singola classe“, „scuola“ e infine „classe“ intesa come livello all'interno del sistema scolastico. Ad esempio con „prima superiore“ accorpriamo la prima del liceo con quella dell'istituto tecnico, mentre con „seconda media“ intendiamo il sottocampione risultante dall'unione di entrambe le seconde medie. Quest'ultima partizione per classi sembra illustrare al meglio la distribuzione delle risposte mettendo in evidenza interessanti tendenze ricorrenti per numerose categorie dei disegni (prima parte del questionario) così come per molti degli items (seconda parte).

Il 63% del campione totale che rappresenta l'aria avvalendosi di particelle, è in realtà solo un valore medio: come si evince dalla fig. 5, la percentuale dei „particellari“ spazia tra una frazione minoritaria dei ragazzi di seconda media (29%) e la quasi totalità (94%) degli studenti della terza superiore. È interessante notare come l'adozione di un modello atomistico della materia correli solo in modo debole e con vistose anomalie con il livello dell'istruzione scolastica: una percentuale quasi uguale di ragazzi della seconda media e della seconda superiore (più di un terzo!) rappresenta infatti l'aria come corpo continuo. Altra vistosa anomalia è la maggiore frequenza di risposte consone con la visione scientifica in prima media e in prima superiore che nelle classi a esse immediatamente successive (Fig. 5).

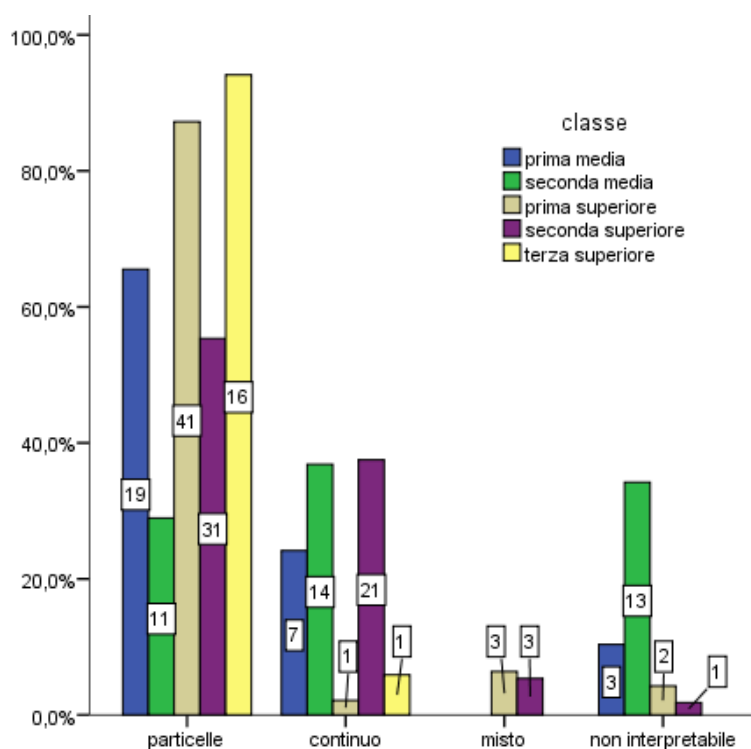


Fig. 5: frequenza delle scelte grafiche per classi per rappresentare l'aria nella siringa prima della compressione

Per quanto riguarda l'acqua nel cilindro della seconda esperienza la percentuale di coloro che disegnano particelle sale al 73%, i fautori del continuo sono decisamente meno che per l'aria, mentre ben un quinto degli studenti adotta una soluzione grafica mista in cui le molecole d'acqua sono immerse in un'acqua disegnata come matrice continua (fig. 6). Un pattern molto simile delle risposte si riscontra pure per l'etanolo e per la soluzione risultante dall'unione di entrambi i liquidi.

Più eterogenee le evidenze sulle idee pregresse risultanti dai disegni del terzo esperimento (fig. 7). Meno del 60% degli studenti si avvale di particelle tanto per rappresentare l'acqua quanto per il permanganato di potassio in soluzione, il 20% ricorre esclusivamente a rappresentazioni continue e il restante 20% da voce a interpretazioni miste fra le quali la più ricorrente quella di molecole d'acqua immerse in una soluzione continua risultante dalla soluzione dei cristalli.

Come nel caso dell'aria, anche nel caso dell'acqua e della soluzione di permanganato di potassio, le prime classi delle scuole medie inferiori e superiori forniscono più risposte coincidenti con la visione scientifica delle seconde.

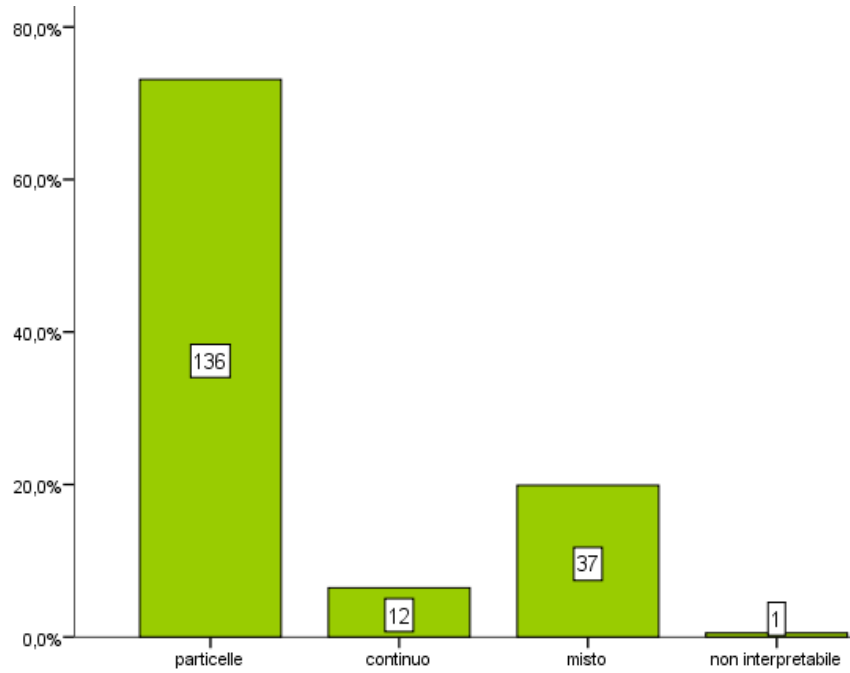


Fig. 6: frequenza delle scelte grafiche per rappresentare l'acqua nel cilindro relativamente al campione totale.

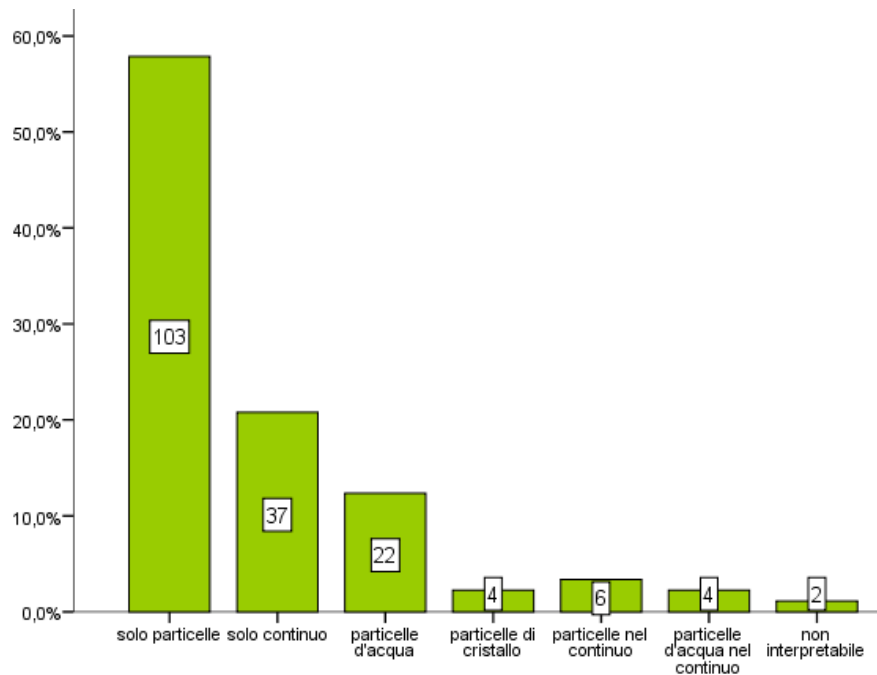


Fig. 7: frequenza delle scelte grafiche per rappresentare la soluzione di permanganato di potassio in acqua relativamente al campione totale.

Passiamo ora ai risultati della seconda parte del questionario con items a formato chiuso. L'aspetto che per primo intendiamo prendere in esame è quello delle idee pregresse relative al problema di cosa, secondo i ragazzi, si trovi negli spazi tra le particelle (tab. 2).

Come i nostri alunni immaginano la materia

Tab. 2: frequenza delle risposte a dieci items sul problema degli spazi tra le particelle (campione totale).

Item	risposte giuste	risposte sbagliate	non so
1. Tra le molecole ² dell'aria ci sono spazi vuoti	44,2%	50,5%	3,7%
2. Tra le molecole dell'aria non ci sono spazi vuoti	48,4%	46,8%	4,2%
3. Tra le molecole dell'aria c'è dell'aria	54,7%	30,5%	13,2%
4. Tra le molecole dell'aria si trovano altre molecole o atomi	35,8%	52,1%	11,6%
5. Tra le molecole d'acqua c'è dell'aria	38,9%	53,7%	6,8%
6. Le molecole d'acqua sono immerse in acqua	42,6%	47,4%	8,4%
7. Tra le molecole d'acqua ci sono altre molecole	41,6%	45,3%	11,6%
8. Tra le molecole d'acqua c'è dell'acqua	46,3%	42,1%	8,4%
9. Dopo che i cristalli si sono sciolti in acqua le molecole dei cristalli si trovano negli spazi tra le molecole d'acqua	55,3%	34,7%	7,9%
10. Dopo che i cristalli si sono sciolti in acqua le molecole d'acqua si trovano negli spazi tra le molecole dei cristalli	35,3%	51,1%	12,6%

2. Nella traduzione italiana del questionario abbiamo optato per "molecola" anziché per il termine più vago di "particella" per timore che quest'ultimo potesse essere poco familiare agli studenti o indurli a associazioni fuorvianti, ad esempio con le particelle subatomiche. Dal momento che naturalmente non esiste "la molecola d'aria", utilizziamo l'espressione più vaga "le molecole dell'aria", sottintendendo con essa "le molecole dei vari gas che costituiscono l'aria". Con "Le molecole del cristallo" intendiamo gli anioni e i cationi del sale in questione. In questo caso abbiamo rinunciato al rigore al fine di rendere i quesiti comprensibili anche agli studenti delle scuole medie.

Le percentuali che appaiono nelle prossime tabelle sono quelle del dataset ricodificato, ovvero laddove la risposta giusta a un item era "falso" essa compare nel nuovo dataset come risposta giusta. Come si vede nella tabella 2 su dieci items, che in diversi contesti e in modo differente mirano a rilevare le idee pregresse su cosa si trovi tra le particelle, in appena due casi poco più della metà del campione è stato in grado di scegliere la risposta giusta. Su quasi ogni punto gli studenti si dividono in due gruppi di grandezza paragonabile e in ben otto casi su dieci è meno della metà del campione a selezionare la risposta giusta. Per esempio il 50,5% del campione nega l'esistenza di spazi vuoti tra le particelle dell'aria, percentuale che cala un poco con la formulazione complementare in forma negativa dello stesso item. Per il 53,7% negli spazi tra le molecole d'acqua si trova dell'aria e per il 47,4% esse sono invece immerse in acqua: così vediamo riaffiorare gli stessi misconcepts dei disegni della prima parte del questionario. Nel caso dell'acqua, le risposte sbagliate sono ancora più frequenti che per l'aria. Per la soluzione dei cristalli in acqua, è una debole maggioranza a pensare le particelle del cristallo tra quelle dell'acqua, mentre appena un terzo è in grado di assumere la prospettiva complementare e riconoscere che quindi anche le molecole d'acqua si trovano negli spazi tra le particelle del cristallo.

Da un'analisi più dettagliata dei cinque sottocampioni per classi risulta che essi si differenziano tra loro in modo notevole scostandosi spesso in modo significativo dai valori medi della tabella 2. Per esempio per il primo item osserviamo un aumentare graduale delle risposte esatte con l'avanzare delle classi, fatta eccezione per la seconda media (solo un terzo circa di risposte giuste) che raggiunge così nuovamente risultati meno positivi della prima media. Nonostante questa crescita, perfino in terza liceo è solo poco più della metà degli studenti ad ammettere spazi vuoti tra le molecole dell'aria. Anomalo anche il fatto che per il settimo e il nono item siano le prime medie a fornire le più alte percentuali di risposte giuste, così come che ben una netta maggioranza degli studenti di terza creda alla presenza d'aria tra le molecole d'acqua. Anche se per la maggiorparte dei quesiti sono i ragazzi di terza a individuare più numerosi l'affermazione corretta per il resto si osserva come i record di risposte sbagliate siano distribuiti tra diverse classi così che non risulta possibile constatare una chiara tendenza dello sviluppo o dell'assimilazione di una visione atomistica della materia (questa anomalia viene discussa nel prossimo capitolo).

Per quanto riguarda il movimento, è ben diffusa l'idea congruente con la teoria atomistica che le particelle si muovano, sebbene la percentuale delle risposte esatte sia più alta per l'aria che per l'acqua (Tab. 3, item 11-13). Sorprende invece la diffusione di visioni animistiche: per un quinto circa del campione totale le molecole, siano esse d'aria o d'acqua, sono esseri viventi! (Items 14-16).

Riguardo alla visibilità delle molecole, le opinioni sono varie: per la metà del campione è possibile vedere le molecole al microscopio e per quasi un quinto degli studenti a volte si vedono le molecole quando splende il sole (items 17-19). Ancora più che per la problematica degli spazi tra le particelle, sorprende la distribuzione delle risposte per classi: tanto i record delle risposte corrette quanto quelli delle risposte sbagliate si distribuiscono attraverso tutte le classi non lasciando intravedere nessuna chiara correlazione con l'età degli studenti; la terza addirittura ha fornito in un solo caso, item 19, la percentuale più alta di risposte scientificamente corrette. La prima media risulta essere la classe con la più alta percentuale di risposte corrette relativamente al comportamento cinetico delle particelle, ma anche quella con la

maggior ricorrenza dell'idea pregressa delle particelle come esseri viventi. Sorprendentemente nella terza superiore è ancora circa un quinto degli studenti a esprimere idee animistiche sulle molecole. Uno dei pochi items per i quali osserviamo un aumento progressivo delle risposte giuste col crescere dell'età dei ragazzi, è quella dell'item 19: mentre in prima media circa un terzo dei ragazzi pensa che a volte quando splende il sole si possano vedere le molecole dell'aria, nemmeno uno studente di terza superiore dà questa risposta. Tuttavia alla domanda se si possano osservare le molecole al microscopio, in tutte le classi, con la sola eccezione della seconda liceale, è più della metà del campione a sostenere che ciò è possibile e in terza sono ben tre quarti a essere di questo avviso.

Tab. 3: frequenza delle risposte a nove items riguardante il movimento delle particelle, il loro essere entità animate e la loro visibilità (campione totale).

Item	risposte giuste	risposte sbagliate	non so
11. Le molecole dell'aria si muovono	83,7%	6,8%	7,9%
12. Le molecole dell'aria non si muovono	88,9%	6,3%	3,7%
13. Le molecole d'acqua sono in continuo movimento	78,4%	16,8%	2,6%
14. Le molecole dell'aria non sono esseri viventi	67,9%	23,2%	7,9%
15. Le molecole dell'aria sono esseri viventi	69,5%	18,4%	10,5%
16. Le molecole d'acqua non sono esseri viventi	72,1%	18,4%	8,4%
17. Al microscopio è possibile vedere le molecole dell'aria	41,1%	50,5%	6,3%
18. Le molecole dell'aria sono invisibili	58,4%	33,2%	5,8%
19. Quando il sole splende è a volte possibile vedere le molecole dell'aria	72,1%	17,4%	10,0%

8. Discussione

Come illustrano i risultati della nostra indagine, gli studenti, tanto delle scuole medie inferiori quanto delle superiori, anche in seguito all'introduzione della teoria atomistica a scuola, posti davanti a situazioni concrete, ricadono sovente in idee pregresse non conciliabili con la visione scientifica della natura particellare della materia. È come se *l'horror vacui*, che gli antichi attribuivano alla natura, continuasse a sopravvivere radicato nelle menti dei nostri studenti, inducendoli a spiegazioni scientificamente errate.

Sebbene una maggioranza degli intervistati adotti spontaneamente nei disegni forme grafiche che esprimono una visione discreta della materia, circa un quarto del campione totale in diversi contesti (aria, acqua, alcool, soluzione di permanganato di potassio in acqua), ricorre a rappresentazioni che tradiscono un comprensione della materia come corpo continuo. Se si considera che a questi studenti, o nell'anno scolastico in corso o in una classe precedente, è stato insegnato che la materia è particellare, ci troviamo di fronte a evidenze che dovrebbero indurci a riflettere sul perché l'insegnamento così sovente non riesca a scalfire le idee pregresse.

Interessante a tal proposito il fatto che, in modo ricorrente, le seconde medie e le seconde liceali, con i loro disegni e con le loro risposte, mostrino una comprensione della costituzione particellare della materia notevolmente meno diffusa di quanto non sia il caso per le classi a loro immediatamente precedenti. Nelle prime medie inferiori e superiori del nostro campione, è stata introdotta nello stesso anno scolastico la teoria atomistica e i ragazzi, avendola fresca in mente, sono in grado di avvalersene spontaneamente per risolvere i problemi del questionario. Nelle classi successive, invece, una percentuale significativamente più alta, posta davanti a esperienze concrete, ignora quanto le è stato insegnato un anno prima ricadendo nei *misconcepts* che l'insegnamento della teoria atomistica non è stato in grado di sradicare, sostituendoli con la visione scientifica del fenomeno. In altre parole, l'insegnamento sembra non essere stato capace di condurre a un *conceptual change* e quindi ad un apprendimento duraturo e flessibile.

Secondo noi, tali difficoltà sono da ricondursi a uno stile didattico tradizionale in cui l'insegnante, in tanti casi, tenta di trasmettere frontalmente il sapere non considerando le importanti acquisizioni della teoria costruttivista dell'apprendimento. In particolare, per un apprendimento duraturo e flessibile, quindi usufruibile da parte del discente anche in contesti applicativi, ci appare di imprescindibile importanza sondare a priori quali siano le idee pregresse diffuse nelle teste dei ragazzi, per poterne fare punto di partenza per proposte didattiche che abbiano il potenziale di condurre gli studenti in una situazione di conflitto cognitivo. Lo studente deve rendersi conto da se, attraverso esperienze pratiche o esperimenti ideali, che le sue categorie interpretative non sono più sufficienti per interpretare le nuove osservazioni, solo così si può sperare che, attivamente, egli costruisca per sé un sapere nuovo che modifichi, amplii o sostituisca le sue idee pregresse.

Come i nostri alunni immaginano la materia

Inoltre è importante che idee basilari di una disciplina, come la teoria atomistica per la chimica o la teoria evuzionistica per la biologia, non vengano considerati dall'insegnante argomenti da trattare a lezione una sola volta in modo isolato, bensì che si spinga i ragazzi, anche a distanza di tempo e in altri contesti, a applicare quanto appreso. L'importanza di mostrare la validità del costruito in diversi contesti viene rinforzata dal carattere situativo delle idee pregresse: mentre per l'aria, per via del suo stato gassoso, risulta più facile ai ragazzi immaginarla in termini di particelle separate da spazi vuoti, l'acqua, recepita più fortemente come corpo continuo, induce una percentuale più alta del campione a ricadere in idee pregresse di tipo continuo o ibrido. Risultati simili emergono anche dagli studi di Stavy: molti più studenti sono in grado di spiegare la natura particellare di un gas di quanti non sappiano applicare lo stesso modello particellare per spiegare l'evaporazione dell'acetone o la sublimazione dello iodio [9, 10].

Il fenomeno da noi osservato delle seconde che fanno un passo indietro rispetto alle prime, è documentato anche in letteratura: ad esempio nello studio di Barke & Harsch, studenti dell'undicesimo anno scolastico mostrano una minore comprensione della natura particellare della materia rispetto alle classi del nono anno scolastico [23].

Qualche considerazione ora sul problema di cosa si trovi negli spazi tra le particelle. Come mostrano i nostri risultati questo aspetto appare essere particolarmente insidioso, mentre una maggioranza degli studenti pensa in termini di particelle solo una minoranza è disposta ad ammettere che fra le molecole possano esistere spazi vuoti. Le idee a tal riguardo appaiono molto confuse. Parecchi studenti ad esempio non ammettono l'esistenza di spazi vuoti tra le particelle ma contemporaneamente neppure la presenza in essi d'aria, d'acqua o d'altre particelle. Cosa c'è allora negli spazi tra le particelle? Quest'*horror vacui* è ben radicato, come emerge per esempio nel caso dell'aria: dalla prima media alla terza (liceo scientifico), una percentuale variabile tra il 43% e il 53% dei ragazzi nega l'esistenza di spazi vuoti tra le molecole dell'aria: in sei anni di percorso scolastico la crescita scientifica nei termini di una sostituzione di idee pregresse con le nuove idee scientifiche è stata pertanto alquanto limitata. Ciononostante i risultati del nostro campione italiano sono migliori di quelli dell'indagine di Novick e Nussbaum, dalla quale è risultato che l'80% degli studenti più giovani e il 60% di quelli delle classi più avanzate non ammettono l'esistenza di spazi vuoti tra le particelle d'aria [12, p. 193].

Un problema interessante riguarda l'origine delle idee pregresse: perché certe idee pregresse sono più diffuse e radicate di altre? Da dove traggono la loro origine? Un processo ricorrente nella formazione delle idee pregresse sulla natura della materia appare essere quello di una estensione (illecita) di caratteristiche a noi familiari per il mondo macroscopico al mondo microscopico [24, pp. 210-211]. Questo è il caso ad esempio del terzo disegno nella fig. 2 in cui l'effetto deformante della pressione noto per i corpi macroscopici viene qui esteso anche alle particelle. Un'altra fonte di *misconcepts* potrebbero essere le scelte grafiche fuorvianti di molti libri di testo o di certa divulgazione scientifica [7]. Circa il 20% del campione totale disegna ad esempio molecole d'acqua immerse in acqua come se esistessero due qualità d'acqua, l'una particellare e l'altra continua. È lecito sospettare che l'illustrazione ricorrente in tanti libri di testo del becher o del cilindro riempito d'acqua azzurrina (perché poi l'acqua dovrebbe essere azzurra? Si veda fig. 3 disegno 4), al cui interno "sguazzano" le molecole d'acqua, possano rinforzare idee pregresse ibride del tipo di quelle da noi rilevate o addirittura indurre la formazione [12]. Similmente le scelte grafiche di atomi e molecole dotati di faccine, braccia e gambe, sebbene carine, sono problematiche e potrebbero indurre alcuni studenti a credere realmente che le particelle siano esseri viventi: questa idea pregressa, per quanto astrusa, come si è visto, viene sorprendentemente condivisa da circa un quinto del campione totale. Da ciò, risulta ancora una volta l'importanza di integrare il rilevamento delle idee pregresse su un certo argomento nel percorso didattico e di discutere criticamente con gli studenti dei limiti e degli errori delle rappresentazioni grafiche e dei modelli.

Ulteriore dominio di origine di idee pregresse animistiche, potrebbe essere rintracciabile nelle esperienze fatte dagli studenti in biologia: così come le cellule sono i mattoncini di cui è fatta la materia vivente, le molecole lo sono per la materia "fisico-chimica" e come le cellule anche le particelle sono dotate di vita. Questa nostra spiegazione ha naturalmente solo valore ipotetico e andrebbe confermata o smentita attraverso interviste con i ragazzi. Un ulteriore indizio indiretto di eventuali analogie fuorvianti tra le esperienze fatte in biologia e le esperienze di chimica, proviene dalle risposte sulla visibilità delle particelle: se le microscopiche cellule in biologia sono visibili con l'ausilio di un microscopio perché ciò non dovrebbe essere possibile con le particelle?

Confrontati con altri studi, positivi appaiono invece i risultati italiani sul comportamento cinetico delle particelle (tab. 4 e 5). Circa l'80% del nostro campione riconosce che le particelle sono in continuo movimento, di contro appena il 10-20% del campione di Stavy è dello stesso avviso [9, p. 557].

Per concludere qualche considerazione critica sul nostro studio. Una fonte di errore sistematico è quello dell'interpretazione dei disegni e delle risposte degli studenti: la ricostruzione delle idee pregresse a partire dagli elaborati è infatti un processo interpretativo con un suo margine di errore intrinseco, dato che le idee pregresse non sono direttamente osservabili. Infine, in seguito a domande di chiarimento da parte degli studenti durante il questionario o a discussioni condotte con le classi dopo la sua somministrazione, siamo consapevoli del fatto che qualche item andrebbe formulato diversamente. Per esempio all'affermazione "Le molecole dell'aria sono invisibili" ripetutamente gli studenti hanno chiesto se si intendesse ad occhio nudo o al microscopio. Il questionario verrà qui e lì ottimizzato in vista di

eventuali rilevamenti a più ampia scala, tuttavia, grazie a una certa ridondanza degli items e alla possibilità di confronti incrociati tra le due parti del questionario, riteniamo che i limiti appena discussi non inficino la validità generale dei risultati.

9. Considerazioni conclusive

Da questo studio risulta, per diversi livelli dell'istruzione scolastica italiana, una grande varietà di idee pregresse non conciliabili con la visione scientifica della natura discreta della materia. Si tratta di preconcetti che sopravvivono anche dopo che a lezione è stata introdotta la teoria atomistica. La comprensione dei fenomeni a livello microscopico spazia da visioni continue, attraverso costrutti ibridi, fino a concezioni particellari più o meno corrette. In particolare anche gli studenti italiani, sia delle medie che delle superiori, hanno difficoltà a pensare l'esistenza di spazi vuoti tra le particelle: l'*horror vacui* aristotelico non ha perso di attualità e induce a idee tanto fuorvianti quanto persistenti. Quali indicazioni per gli insegnanti possiamo trarre da questi risultati?

Non assumere che le menti dei ragazzi siano *tabulae rasae* sulle quali poter incidere partendo da zero. Ognuno crescendo sviluppa propri schemi interpretativi e idee pregresse che vanno rilevate per poter concepire un percorso didattico che abbia la potenzialità di indurre il discente a sostituire le idee pregresse inadeguate con le nuove idee scientifiche. A tal, fine prima dell'introduzione di un nuovo argomento, il docente può sondare lo *status quo* attraverso un colloquio con gli studenti o attraverso un questionario come il nostro, il quale può fungere come punto di partenza per una riflessione comune e per l'elaborazione di domande e problemi a cui cercare soluzione a lezione. Partendo dalle idee pregresse, l'insegnante dovrebbe poi allestire esperienze e fornire contesti attraverso i quali i ragazzi possano sperimentare i limiti delle proprie idee e da soli approdare a nuove concezioni. Come si è visto, spesso gli studenti un solo anno dopo che la teoria atomistica è stata trattata a lezione ricascano nei vecchi preconcetti: non solo è importante procedere come esposto sopra secondo le acquisizioni della didattica costruttivista, ma anche, a distanza di tempo e in svariati contesti, spingere i ragazzi a descrivere e interpretare i fenomeni avvalendosi di quanto appreso precedentemente.

Un'ulteriore indicazione riguarda il valore di riflessioni metacognitive con i ragazzi che li sensibilizzino a riflettere sull'apprendimento così come l'esercizio in classe di critica costruttiva alle illustrazioni dei libri di testo, ai modelli o a metafore verbali mettendone sempre in evidenza le semplificazioni e i limiti rispetto alla realtà.

Con questo stesso questionario stiamo conducendo uno studio analogo in Germania. Un confronto tra i risultati italiani e quelli tedeschi sarà oggetto di un futuro lavoro con l'obiettivo di capire in che misura il genere e la frequenza delle idee pregresse sulla natura della materia siano universali e tipiche dello sviluppo cognitivo del bambino e del giovane o in che misura invece dipendano da influssi culturali specifici e dai singoli sistemi scolastici.

Ringraziamenti

Senza la disponibilità dei presidi e dei professori e degli studenti delle quattro scuole che hanno collaborato con noi, questo studio non sarebbe stato possibile: a loro i nostri più sentiti ringraziamenti per la calorosa accoglienza. Grazie anche agli amici Ida, Tancredi e Viviana per il grande aiuto durante la campagna di campionamento e a Cinzia Urso Noto La Diega per l'accurato lavoro di revisione linguistica del manoscritto.

Bibliografia

- [1] G. Giannantoni (a cura di), *I presocratici*, 2° vol., Laterza 1981, 656
- [2] N. Abbagnano e G. Fornero, *Filosofi e filosofie nella storia*, Vol. 1, Paravia, Torino, 1999, 65-66
- [3] M.D. Merrill, Constructivism and instructional design. *Educational Technology*, 1991, 31, 45-53
- [4] T. Riemer, *Moderater Konstruktivismus*. A cura di D. Krüger e H. Vogt: *Handbuch der Theorien in der biogiedidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, 2007, 69-78
- [5] G. J. Posner e K. A. Strike, *A Revisionist Theory of Conceptual Change*. A cura di R. A. Duschl e R. J. Hamilton: *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*. State University of New York Press, 1992, 147-176
- [6] G. Reinmann e H. Mandl, *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*. A cura di A. Krapp e B. Weidenmann: *Pädagogische Psychologie*. Beltz, 2006, 615-658
- [7] P. Riani, La struttura particellare della materia nella scuola media inferiore: risultati di un'indagine e riflessioni didattiche. *La Chimica nella Scuola*, 1995, 3, 79-85
- [8] R. Andreoli e L. Contaldi, La struttura particellare della materia. Risultati di una indagine condotta su alcuni gruppi d'insegnanti e futuri insegnanti. *La Chimica nella Scuola*, 2000, 3, 97-100 [9] R. Stavy, Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 1988, 5, 553-560
- [10] R. Stavy, Children's conceptions of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 1990, 27, 247-266
- [11] D.L. Benson, M.C. Wittrock e M.E. Baur, Student's Preconceptions of the Nature of Gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 1993, 6, 587-597

Come i nostri alunni immaginano la materia

- [12] S. Novick e I. Nussbaum, Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 1978, 3, 273-281
- [13] O. Lee, D.C. Eichinger, C.W. Anderson, G.D. Berkheimer e T.D. Blakeslee, Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 1993, 3, 249-270
- [14] A. Brook e R. Driver. Aspects of secondary students' understanding of energy: Full report. Leeds, University of Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematic Education, 1984
- [15] A.M. Ingham e J.K. Gilbert, The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 1991, 13, 193-202
- [16] J. Nussbaum, The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase. A cura di: R. Driver, E. Guesne e A. Tiberghien: *Children's ideas in Science*. Milton Keynes – Philadelphia: Open University Press, 1985, 124-144
- [17] S. Novick e I. Nussbaum, Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 1981, 2, 187-196
- [18] C. Bolte, C. Benedict e S. Streller, KieWi & Co. – Kinder im Grundschulalter entdecken Naturwissenschaften. A cura di: R. Lauterbach, A. Hartinger, B. Feige e D. Cech: *Kompetenzerwerb im Sachunterricht fördern und erfassen. Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts*, Bad Heilbrunn, Klinkhardt, 2007, 17, 183-194
- [19] C. Benedict e C. Bolte, Befragungsinstrument zur Analyse von Schüler-Vorstellungen zum Aufbau der Materie aus Teilchen. Freie Universität Berlin. Berlin. Polyscript, 2009
- [20] C. Benedict, C. Bolte e R. Noto La Diega, Questionario per l'analisi delle idee pregresse degli studenti sulla costituzione particellare della materia. Freie Universität Berlin. Berlin. Polyscript, 2009
- [21] A. Hollstein, Computerunterstütztes Lernen auf der Basis konstruktivistischer Lerntheorien am Beispiel der Einführung in das Kugelteilchenmodell, Universität Essen, 2001
- [22] S. Streller, Förderung von Interesse an Naturwissenschaften. Eine empirische Untersuchung zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Interessen von Grundschulkindern im Rahmen eines außerschulischen Lernangebotes. In stampa. Frankfurt a. M., Peter Lang, 2009
- [23] H.-D. Barke e G. Harsch, *Chemiedidaktik heute. Lernprozesse in Theorie und Praxis*, Berlin, Springer, 2001, 223-240.
- [24] E. Kircher e P. Heinrich, Eine empirische Untersuchung über Atomvorstellungen bei Hauptschülern im 8. und 9. Schuljahr. In: *chimica didattica*, 1984, 10, 199-222