

In sintesi  
Introduzione al modello  
particellare  
Un percorso  
didattico per lo studio  
degli stati  
della materia  
e dei passaggi  
di stato  
Alcune caratteristiche  
del software  
Esperienza laboratoriale  
vs. simulazione  
al computer  
Attività didattiche  
correlate  
Il modello particellare  
e le reazioni chimiche  
nel primo biennio  
della scuola  
secondaria  
di secondo grado  
Conclusioni

### Il modello particellare

## Sezione B

# Il modello particellare e gli stati della materia

Gli stati della materia e una prima spiegazione a livello microscopico da introdurre nella scuola secondaria di primo grado

### ■ In sintesi

Il modello particellare viene introdotto a livello di scuola secondaria di primo grado come rappresentazione a livello microscopico della materia. Come discusso nel Capitolo 1, uno dei caratteri della chimica, fondamentale per l'insegnamento e per l'apprendimento, è legato alla sua struttura in più livelli: da quello macroscopico fenomenologico a quello sub-microscopico molecolare.

L'introduzione del modello particellare a livello di scuola secondaria di primo grado può essere fatto in vario modo ed esiste su questo una letteratura molto ampia, che in parte discuteremo in questa sezione. Ripoteremo in dettaglio un percorso didattico che prevede, oltre alle modalità più tradizionali, l'utilizzo da parte degli studenti di alcuni strumenti digitali sviluppati ad hoc finalizzati soprattutto ad aiutarli ad apprendere gli aspetti dinamici del modello, compreso il concetto di agitazione termica, e a consolidare alcuni concetti di base del modello particellare la cui utilità va molto al di là del livello della scuola secondaria di primo grado, come accennato nell'ultima parte di questa sezione.

### ■ Introduzione al modello particellare

Il percorso didattico qui presentato è frutto di una serie di attività di progettazione didattica e di sperimentazione diretta con studenti delle scuole secondarie di primo grado effettuata da un gruppo di lavoro dell'Università di Pisa, che ha visto la collaborazione tra chimici (sotto la guida dell'autrice del libro) e informatici (sotto la guida del professor Paolo Milazzo) a partire dal 2014 e che sta continuando grazie ad alcuni progetti in corso (BELLI 2016, BELLI – MILAZZO – DOMENICI 2016, LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017).

Come discusso nel paragrafo 1.3, per l'apprendimento e l'insegnamento della chimica possiamo far riferimento ai modelli di Johnstone (*modello triangolare*) o ai modelli introdotti successivamente da Ma-

**SCHEDA MINIMA**

**Target**

Studenti delle scuole secondarie di primo grado (età 12/13 anni)

**Argomenti principali (aspetti concettuali in ordine crescente di complessità)**

Concetto di sostanza;  
 Gli stati della materia;  
 Rappresentazione a livello microscopico della materia;  
 Transizioni di fase o passaggi di stato;  
 Modello particellare;  
 Temperatura;  
 Calore;  
 Agitazione termica.  
 Aspetti interdisciplinari: chimica e fisica.

**Obiettivi**

Comprendere la natura discontinua della materia sulla scala microscopica;  
 Comprendere che le unità minime costituenti la materia sono diverse per ogni tipo di sostanza;  
 Saper rappresentare la materia nei tre stati della materia;  
 Saper descrivere una transizione di fase o un passaggio di stato in termini di modello particellare.

**Competenze**

Saper spiegare le caratteristiche principali del modello particellare e a cosa serve;  
 Comprendere a livello fenomenologico il concetto di agitazione termica;  
 Collegare alcuni fenomeni osservati ad una spiegazione microscopica della materia utilizzando il modello particellare;  
 Saper leggere un grafico che rappresenta una serie di passaggi di stato;  
 Saper costruire sperimentalmente un grafico dei passaggi di stato;  
 Comprendere a livello operativo i concetti di temperatura e calore.

**Metodi didattici**

Metodo investigativo;  
 Problem-based learning;  
 e-learning e blended learning;  
 Utilizzo di strumenti digitali;  
 Inquiry based-learning.

haffy e da Sjöström (*modello tetraedrico*). Tutti questi modelli evidenziano la presenza di alcuni livelli concettuali della chimica che presuppongono il passaggio da una descrizione macroscopica fenomenologica ad una descrizione sub-microscopica molecolare, utilizzando il linguaggio simbolico delle rappresentazioni (vedi Capitolo 1). Il modello particellare viene introdotto solitamente a livello di scuola secondaria di primo grado (DD-SCI 2012) come rappresentazione a livello microscopico della materia (vedi paragrafo 4.4.2 e Tabella 12).

Sul modello particellare della materia esiste una vasta letteratura sia a livello italiano (ROLETTO – ALBERTAZZI – REGIS 1996, ROLETTO – REGIS – GHIRARDI – GIORDANO 2010, GIORDANO 2016) sia a livello interna-

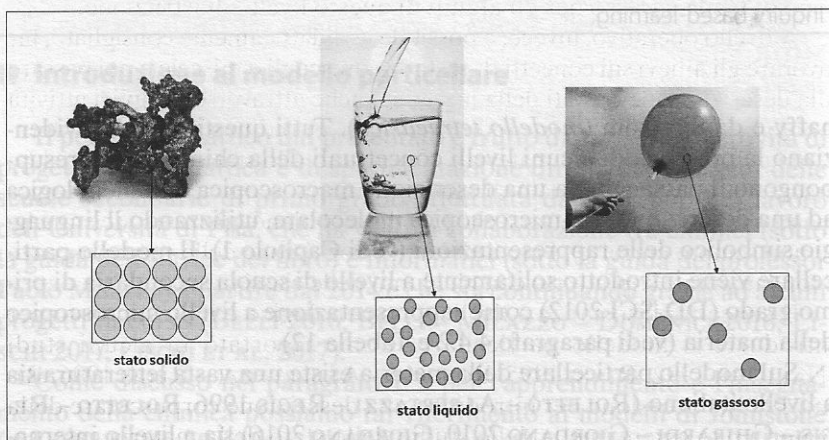
Il modello particellare è un ostacolo cognitivo

zionale (BRIDLE – YEZIERSKI 2012, HADENFELDT – LIU – NEUMANN 2014, KAPICI – SAVASCI-AÇIKALIN 2015), perché il modello particellare ha una grande valenza dal punto di vista didattico per introdurre gli allievi, in modo graduale, ad una spiegazione della natura della materia su una scala microscopica e, in particolare, per descrivere alcune proprietà dei tre stati della materia: solido, liquido e gassoso.

Il modello particellare può rappresentare un ostacolo cognitivo per gli studenti, perché devono sviluppare delle capacità di astrazione per immaginare qualcosa che nella realtà non possono sperimentare. Questo ostacolo è testimoniato dalle difficoltà che alcuni studenti incontrano in questa fase dello studio della chimica e dei miscionetti diffusi relativi al modello particellare della natura, come dimostrato da una ricca letteratura sull'argomento (NAKHLEH 1992, MULFORD -ROBINSON 2002).

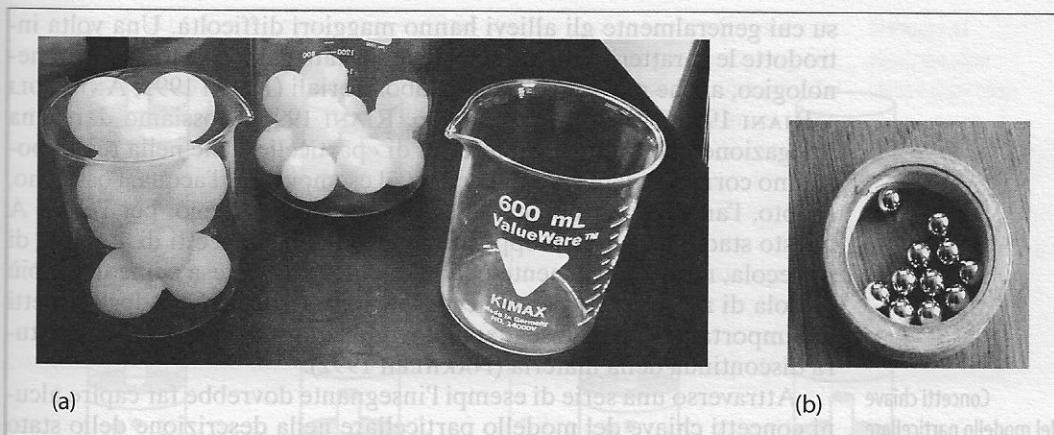
Il modello particellare è molto utilizzato anche nei libri di testo per la didattica scolastica per rappresentare la materia (KAPICI – SAVASCI-AÇIKALIN 2015) e può essere adottato dagli insegnanti per spiegare varie proprietà della materia nei diversi stati (solido, liquido e gassoso). In **Figura B1** sono riportati alcuni esempi di uso grafico del modello particellare per rappresentare la materia nei diversi stati di aggregazione. Tipicamente gli insegnanti ricorrono al modello particellare a livello grafico, oppure utilizzano dei modellini fisici reali, come sferette, palline di polistirolo, ecc. (**Figura B2**).

Recentemente, nella letteratura internazionale, sono comparsi molti studi sull'utilizzo di strumenti informatici, come *software* o *app* per *tablet* e *smartphone*, sviluppati proprio per aiutare gli studenti nella visualizzazione del modello particellare. Come discusso nel paragrafo 9.4, anche per il modello particellare (AKTAS – BILGIN 2015), gli strumenti digitali possono risultare efficaci per l'apprendimento della chimica (AMARAL ET AL. 2013, HUANG 2015), come dimostrato da questo interessante studio (BRIDLE – YEZIERSKI 2012) su un approccio misto (*blended learning*) (SEERY – O'CONNOR 2015) in cui si utilizza il metodo investigativo (*inquiry-based learning*) insieme ad esperienze sulla modellizzazione della materia utilizzando *tool* digitali. Quello descritto di seguito è un *blended learning*



**Figura B1**  
Esempio classico di descrizione degli stati della materia ricorrendo al modello particellare.



**Figura B2**

Due modi di visualizzare la materia utilizzando modelli fisici reali: (a) palline di polistirolo; (b) sferette di metallo. Immagini modificate dal web.

in cui gli studenti hanno utilizzato un particolare software di simulazione dinamica (BELLI 2016, BELLI – MILAZZO – DOMENICI 2016, LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017) che li ha aiutati a comprendere meglio alcune proprietà della materia, come il concetto di agitazione termica.

### ■ Un percorso didattico per lo studio degli stati della materia e dei passaggi di stato

Il modello particellare viene generalmente introdotto dopo aver affrontato il concetto di sostanza a livello fenomenologico. Nella scuola secondaria di primo grado, le definizioni dei concetti di base della chimica vengono date dall'insegnante a livello operativo, in quanto le definizioni formalmente corrette e accettate dalla comunità scientifica non sono di facile accesso per gli alunni di questo livello di istruzione.

A livello operativo, invece, è possibile, e didatticamente consigliato, far lavorare gli allievi sui concetti di sostanza, miscugli e miscele e poi passare alla descrizione degli stati della materia, anche attraverso semplici attività laboratoriali esplorative (metodo investigativo) o dimostrative. L'esplorazione della materia e dei materiali, soprattutto allo stato solido, dovrebbe essere già avvenuta a livello di scuola primaria, e quindi su questi argomenti è ragionevole aspettarsi che gli allievi abbiano già molte idee (anche se non sempre corrette). Fare attività di ricognizione delle preconcoscenze è fondamentale soprattutto con gli alunni delle classi prime.

Il concetto di sostanza a livello fenomenologico è il presupposto per introdurre il modello particellare. Come riportato in alcuni studi (NAKHLEH 1992, RIANI 1995, ROLETTO – ALBERTAZZI – REGIS 1996, RIANI 1999), l'occasione per introdurre una descrizione corpuscolare della materia può essere quella dello studio dello stato della materia gassoso,

La ricognizione  
delle preconcoscenze



su cui generalmente gli allievi hanno maggiori difficoltà. Una volta introdotte le caratteristiche principali dello **stato gassoso** a livello fenomenologico, anche attraverso attività laboratoriali (RIANI 1995, ANDREOLI – RIANI 1996, ANDREOLI ET AL 1996, RIANI 1999), possiamo dare una spiegazione microscopica in termini di «particelle», che nella realtà potranno corrispondere sia a molecole (ad esempio, per l'acqua, l'ossigeno, l'azoto, l'anidride carbonica) che ad atomi (ad esempio, per l'elio). A questo stadio però non è opportuno introdurre i concetti di atomo e di molecola, ma semplicemente quello di particella, intesa come unità più piccola di materia che ne conserva le caratteristiche. Uno degli aspetti più importanti su cui l'insegnante dovrebbe porre l'attenzione è la natura discontinua della materia (NAKHLEH 1992).

Attraverso una serie di esempi l'insegnante dovrebbe far capire alcuni concetti chiave del modello particellare nella descrizione dello stato gassoso (ROLETTO – ALBERTAZZI – REGIS 1996), come:

1. le particelle non si possono ulteriormente dividere;
2. le particelle non possono cambiare forma o dimensioni;
3. ogni sostanza è formata da un tipo di particelle;
4. il numero delle particelle usate per una rappresentazione corrisponde ad una certa quantità di materia;
5. nello stato gassoso le particelle occupano tutto lo spazio a disposizione e si muovono liberamente.

Un semplice esercizio da far risolvere graficamente agli alunni, utilizzando il modello particellare, è quello di **Figura B3**. Questo esercizio può essere utile a mettere in evidenza le proprietà delle particelle viste sopra. Le risposte B e C, infatti, corrispondono ad una non corretta comprensione del modello particellare, ma sono del resto associate a misconcetti piuttosto comuni (MULFORD – ROBINSON 2002, NAKHLEH 1992).

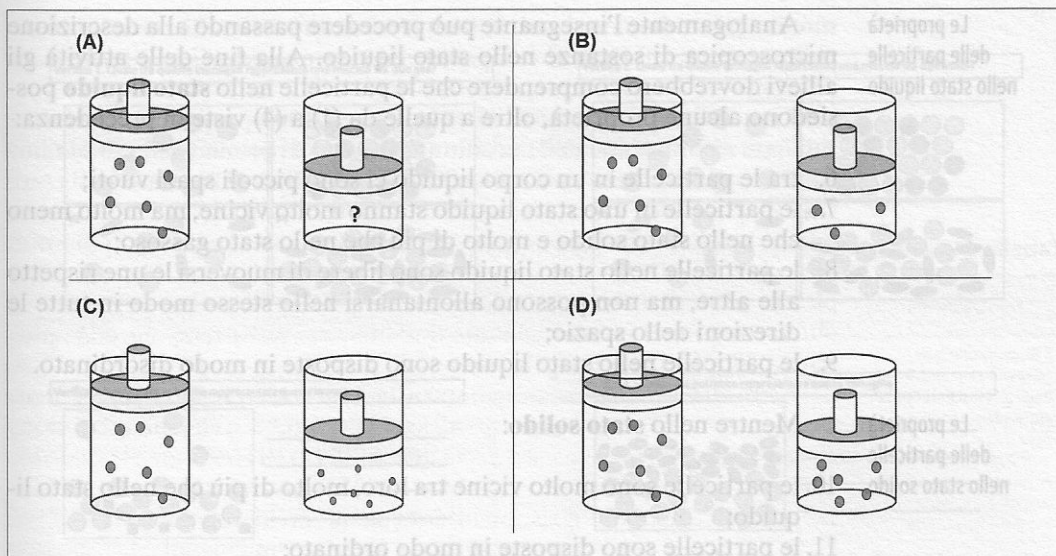
Le proprietà da (1) a (4) si mantengono anche negli altri due stati della materia: solido e liquido. L'insegnante può quindi chiedere agli allievi di rappresentare con le particelle un oggetto solido (o un liquido), tenendo conto delle quattro proprietà viste in precedenza, cercando di far emergere quali sono le differenze e le analogie rispetto allo stato gassoso.

La difficoltà degli studenti a questo livello di concettualizzazione consiste nell'associare alcune proprietà macroscopiche fenomenologiche (ad esempio il fatto che allo stato solido un oggetto ha una forma definita e occupa un volume definito) con la rappresentazione particellare.

Un esempio di attività da proporre con modalità *problem solving* è riportato in **Figura B4**. Dalle risposte non corrette (**B** e **D**) si comprendono i misconcetti e le difficoltà comunemente incontrate dagli allievi. In un caso (**Figura B4 (B)**) gli alunni rappresentano lo stato solido come lo stato gassoso. Pur comprendendo che la quantità doppia di materia deve corrispondere ad un numero doppio di particelle, queste sono rappresentate senza vincoli spaziali e senza regolarità. Nel caso di **Figura B4 (D)** gli alunni rappresentano le particelle con una certa regolarità e con un impaccamento spaziale tipico dello stato solido, ma non comprendono la relazione corretta tra quantità di massa e numero di particelle.

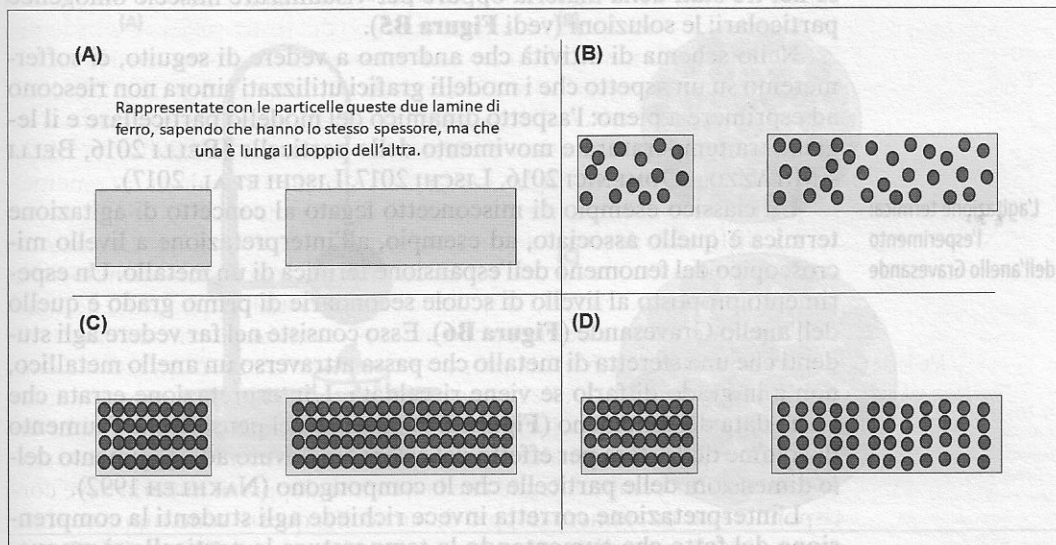
Concetti chiave  
del modello particellare  
per lo stato gassoso

Modalità  
*problem solving*



**Figura B3**

Esempio di rappresentazione dello stato gassoso a livello microscopico: (A) esercizio da risolvere graficamente da parte degli allievi che devono indicare cosa accade ad un gas quando viene compresso; (B) risposta errata: l'alunno associa la diminuzione di volume con il fatto che diminuisca il numero delle particelle; (C) risposta errata: l'alunno associa la diminuzione del volume con il fatto che le particelle diventano più piccole; (D) risposta esatta: l'alunno disegna lo stesso numero di particelle senza modificarne le dimensioni, distribuendole nel volume ridotto.



**Figura B4**

Esempio di problema da risolvere con il modello particellare per un oggetto solido. Quesito iniziale (A); Risposte non corrette (B e D); Risposta corretta (C).

Le proprietà  
delle particelle  
nello stato liquido

Analogamente l'insegnante può procedere passando alla descrizione microscopica di sostanze nello stato liquido. Alla fine delle attività gli allievi dovrebbero comprendere che le particelle nello **stato liquido** possiedono alcune proprietà, oltre a quelle da (1) a (4) viste in precedenza:

6. tra le particelle in un corpo liquido ci sono piccoli spazi vuoti;
7. le particelle in uno stato liquido stanno molto vicine, ma molto meno che nello stato solido e molto di più che nello stato gassoso;
8. le particelle nello stato liquido sono libere di muoversi le une rispetto alle altre, ma non possono allontanarsi nello stesso modo in tutte le direzioni dello spazio;
9. le particelle nello stato liquido sono disposte in modo disordinato.

Le proprietà  
delle particelle  
nello stato solido

Mentre nello **stato solido**:

10. le particelle sono molto vicine tra loro, molto di più che nello stato liquido;
11. le particelle sono disposte in modo ordinato;
12. le particelle non sono libere di muoversi le une rispetto alle altre, ma possono solo fare piccolissime oscillazioni attorno alla loro posizione.

Come proposto e discusso ampiamente in letteratura (vedi, ad esempio, ROLETTO – ALBERTAZZI – REGIS 1996) questo approccio risulta piuttosto efficace per far capire i concetti chiave del modello particellare per la rappresentazione della materia a livello microscopico, e possono essere verificati in vario modo, proponendo ulteriori attività di rappresentazione grafica, ad esempio per descrivere miscele di sostanze diverse nei tre stati della materia oppure per visualizzare miscele omogenee particolari: le soluzioni (vedi **Figura B5**).

Nello schema di attività che andremo a vedere di seguito, ci soffermeremo su un aspetto che i modelli grafici utilizzati sinora non riescono ad esprimere a pieno: l'aspetto dinamico del modello particellare e il legame tra temperatura e movimento delle particelle (BELLI 2016, BELLI – MILAZZO – DOMENICI 2016, LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017).

L'agitazione termica:  
l'esperimento  
dell'anello Gravesande

Un classico esempio di misconcetto legato al concetto di agitazione termica è quello associato, ad esempio, all'interpretazione a livello microscopico del fenomeno dell'espansione termica di un metallo. Un esperimento proposto al livello di scuole secondarie di primo grado è quello dell'anello Gravesande (**Figura B6**). Esso consiste nel far vedere agli studenti che una sferetta di metallo che passa attraverso un anello metallico, non è in grado di farlo se viene riscaldata. L'interpretazione errata che viene data del fenomeno (**Figura B6**) consiste nel pensare che l'aumento di volume della sfera per effetto del calore sia dovuto ad un aumento delle dimensioni delle particelle che lo compongono (NAKHLEH 1992).

L'interpretazione corretta invece richiede agli studenti la comprensione del fatto che aumentando la temperatura le particelle si muovono molto più velocemente e questo movimento comporta anche un aumento del volume della sfera metallica. A partire da questo misconcetto, ben noto in letteratura, è nata l'idea di sviluppare un software per



**Verifica 1.** Quale tra queste immagini rappresenta una miscela tra due gas?

(A)

(B)

(C)

(D)

**Verifica 2.** Quale tra queste immagini rappresenta una miscela tra due solidi?

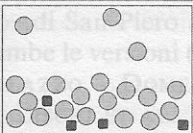
(A)

(B)

(C)

(D)

**Verifica 3.** Spiega cosa potrebbe rappresentare questa immagine.



---

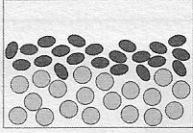


---



---

**Verifica 4.** Spiega cosa potrebbe rappresentare questa immagine.



---



---

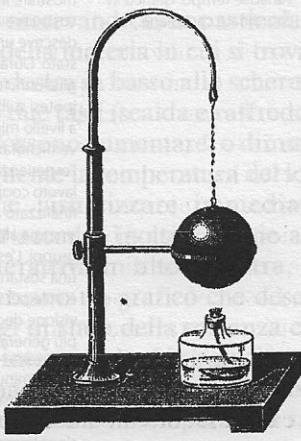


---

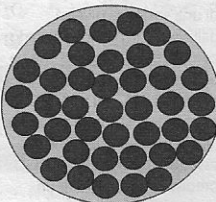
**Figura B5**

Esempi di quattro esercizi di verifica in cui si richiede agli alunni di saper applicare le conoscenze acquisite sulla natura particellare delle sostanze nei tre stati della materia.

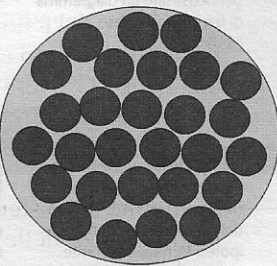
**(A)**



**(B)**



**(C)**



**Figura B6**

Esperimento dell'anello di Gravesande (A), interpretazione a livello microscopico/particellare della sfera a temperatura ambiente (B) e interpretazione scorretta di ciò che accade quando si scalda la sfera (C).

aiutare gli studenti a visualizzare l'aspetto dinamico del modello particellare, ovvero il fatto che le particelle si muovono e il loro moto è associato alla temperatura.

La sequenza di attività didattiche di tipo *misto* proposta e sperimentata con alcune classi delle scuole secondarie di primo grado di Marina di Pisa e di San Pietro a Grado (Pisa) è riportata in **Tabella B1**.

**Tabella B1.** Schema dell'attività didattica per studenti della scuola secondaria di primo grado.

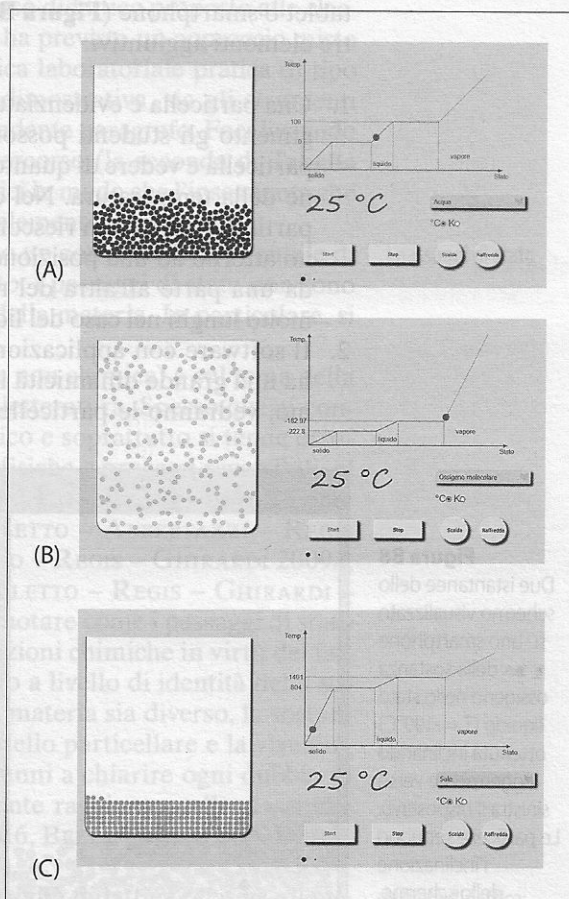
Fasi dell'attività	Scopo	Metodologia didattica	Argomenti e aspetti concettuali rilevanti	Tempistica/ Note per l'insegnante
I. Ricognizione sulle conoscenze preesistenti degli allievi sul modello particellare e sugli stati della materia (precedentemente introdotto dall'insegnante con modalità tradizionali).	Ricognizione delle idee e delle pre-conoscenze degli alunni.	Brain storming/ domande (stimolo-risposta).	Stati della materia. Sostanza. Passaggi di stato. Conoscenze sul modello particellare.	10-15 minuti.
II. Presentazione del software (ad esempio alla LIM) e realizzazione di alcune semplici attività interattive con i ragazzi.	Questa attività può essere fatta in modo collettivo oppure facendo lavorare gli alunni in gruppi. Dipende dalla disponibilità di dispositivi digitali (LIM, tablet, pc). Nelle classi 2.0 questa attività può essere fatta, in parte, singolarmente.	In modo molto interattivo gli alunni potranno esplorare il software, scegliere quale sostanza osservare, simulare un aumento o una diminuzione di calore e visualizzare così cosa accade a livello microscopico.	Stati della materia e loro rappresentazione microscopica. Moto delle particelle in funzione della temperatura. Passaggi di stato e temperature associate ai passaggi di stato. Lo zero assoluto. Le sostanze.	45 minuti-1 ora. Questa attività può seguire uno schema strutturato oppure, se effettuata in modo collettivo, può essere fatta in modo dimostrativo. L'attività è generalmente molto coinvolgente e gli alunni partecipano tutti con grande entusiasmo.
III. Esperienza laboratoriale sulle transizioni di fase solido-liquido (e viceversa) con una sostanza «non comune».	Osservare il fenomeno della transizione di fase solido – liquido (fusione) e liquido – solido (solidificazione) nel caso di una sostanza diversa dall'acqua. Si propone di farlo con l'alcol tert-butilico che ha una temperatura di transizione attorno a 25°C (su questa sostanza gli studenti possono fare poi una simulazione essendo il software predisposto). Costruire un grafico temperatura-tempo per ricostruire un diagramma di transizione di fase (vedi testo).	Esperienza laboratoriale esplorativa. Metodo scientifico. Attività sperimentale e <i>cooperative learning</i> .	Passaggi di stato. Temperatura. Calore. Sostanze. Diagramma di transizione di fase. Variabile tempo. Grafico in coordinate cartesiane.	45 minuti-1 ora. Questa attività è importante per far acquisire manualità e mostrare ai ragazzi come si costruisce un grafico che descrive un passaggio di stato. Durante l'esperienza gli alunni formuleranno ipotesi sull'interpretazione a livello microscopico che verificheranno con l'esperienza successiva. Il lavoro cooperativo è finalizzato a creare una sinergia all'interno dei gruppi. L'esperimento con una sostanza non comune è utile per estendere la visione degli alunni a casi più generali.
IV. Attività di «simulazione» delle transizioni di fase osservate sperimentalmente (esperienza utilizzabile come verifica dell'apprendimento).	Verifica delle competenze e delle conoscenze acquisite (vedi paragrafo 4.3). Utilizzo del software per verificare le ipotesi formulate durante l'esperienza precedente.	Utilizzando il software gli alunni effettueranno una simulazione dell'esperienza fatta in laboratorio e osserveranno cosa accade a livello microscopico, utilizzando anche apposite schede.	Come sopra.	30-40 minuti. Questa fase del lavoro viene effettuata singolarmente e serve agli studenti per fissare le conoscenze, verificare le ipotesi ed elaborare risposte, guidati da schede predisposte. A questa attività può seguire una discussione collettiva.

## ■ Alcune caratteristiche del software

La realizzazione del software sul modello particellare è stata oggetto di due tesi di laurea in collaborazione tra il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale e il Dipartimento di Informatica dell'Università di Pisa (BELLI 2016, LISCHI 2017). Nella realizzazione del percorso didattico sono stati coinvolti anche alcuni studenti del corso di Didattica della Chimica. In particolare, sono state predisposte e ottimizzate due versioni del software: una per la navigazione su internet da pc (o utilizzando una LIM) e una per lo sviluppo di una app per smartphone e tablet. Entrambe le versioni sono state sperimentate in alcune classi prime e seconde dell'Istituto Comprensivo «Niccolò Pisano» di Marina di Pisa e in alcune classi prime della scuola media «Castagnolo» di San Piero a Grado (Pisa). In entrambe le versioni (BELLI 2016, BELLI – MILAZZO – DOMENICI 2016, LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017), gli studenti possono selezionare una sostanza a scelta in un database (esempio, l'acqua) e il programma apre la pagina con la visualizzazione (dinamica) della sostanza a 25°C. Come si vede in **Figura B7**, sulla sinistra gli alunni visualizzano una descrizione della sostanza acqua (A), ossigeno (B) o cloruro di sodio (C), in termini di modello particellare.

Le particelle si muovono con una velocità che è associata alla temperatura, ma che tiene conto anche della sostanza che stiamo osservando e, in particolare, dello stato della materia in cui si trova a 25°C. Sulla destra in basso allo schermo, utilizzando due tasti (scalda e raffredda) gli alunni possono aumentare, o diminuire, virtualmente la temperatura del loro recipiente e visualizzare immediatamente cosa accade. Inoltre, grazie alla finestra interattiva in alto a destra, gli alunni osservano un grafico che descrive i passaggi di stato della sostanza con cui stanno interagendo. Un piccolo cursore (pallina rossa) si muove sul grafico a mano a mano che la temperatura sale o scende. Gli studenti possono così visualizzare immediatamente lo stato della materia e le eventuali transizioni di fase che stanno osservando.

L'aspetto dinamico di questo modello è percepito dagli studenti in modo im-



**Figura B7**

Alcune istantanee del software nella versione sviluppata per la navigazione in rete su alcune sostanze che a temperatura ambiente sono in stati diversi della materia:

(A) Acqua a 25°C (stato liquido); (B) Ossigeno a 25°C (stato gassoso); (C) Cloruro di Sodio a 25°C (stato solido).



mediato e quasi intuitivo, destando anche un po' di meraviglia negli allievi che usano il software e che osservano per la prima volta l'effetto della temperatura sul moto delle particelle (LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017).

La temperatura del sistema osservato può essere impostata sulle due scale di temperatura più importanti e utilizzate: la scala Celsius e la scala Kelvin. Un aspetto interessante è che gli studenti, utilizzando il software, scopriranno che la temperatura non può scendere sotto i  $-273^{\circ}\text{C}$  ovvero sotto lo zero assoluto (0 K). Anche in questo caso, la spiegazione è immediata e viene direttamente dagli alunni. Allo zero assoluto, infatti, le particelle smettono di muoversi.

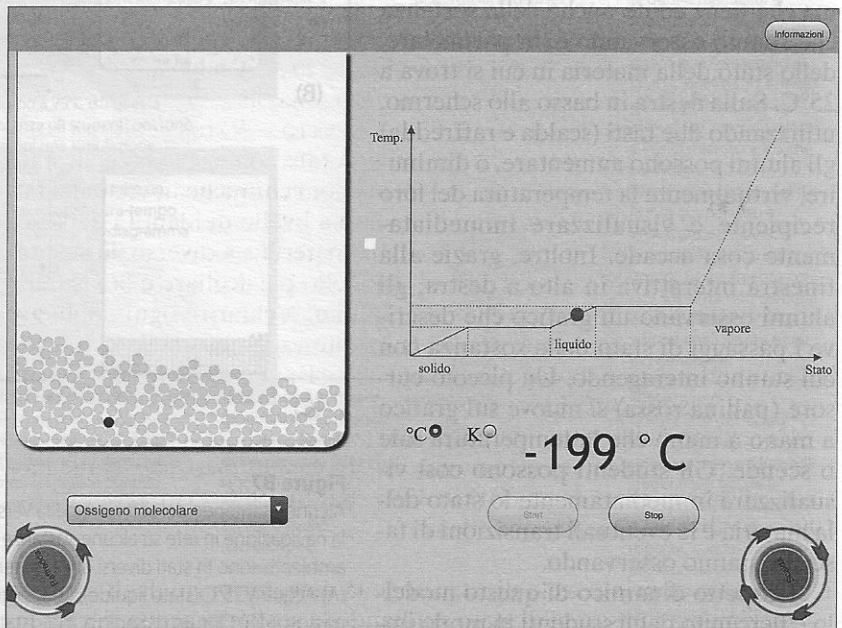
Questa è effettivamente un'interpretazione coerente con la spiegazione scientifica del fenomeno.

La dinamicità del modello è ancor più enfatizzata nella versione per tablet o smartphone (Figura B8). In questo caso, infatti, ci sono almeno tre elementi aggiuntivi:

1. Una particella è evidenziata con un colore diverso. Con questo accorgimento gli studenti possono seguire nel tempo il movimento della particella e vedere di quanto si sposta e quanto velocemente in funzione della temperatura. Nel caso dello stato solido, osservando questa particella, gli alunni riescono meglio a capire che le particelle oscillano attorno ad una posizione ma non traslano, ovvero non si spostano da una parte all'altra del recipiente, come invece accade con tempi molto lunghi nel caso del liquido e con tempi brevi nel caso del gas.
2. Il software con applicazione per tablet e smartphone (LISCHI 2017) ha una grande dinamicità in quanto gli studenti, inclinando lo schermo, vedranno le particelle muoversi e scivolare come se sentissero

**Figura B8**

Due istantanee dello schermo visualizzato su uno smartphone della sostanza ossigeno nello stato liquido ( $T = -199^{\circ}\text{C}$ ) ottenuta inclinando leggermente verso sinistra il dispositivo. Le particelle seguono l'inclinazione dello schermo. Inoltre una particella ha un colore che contrasta con le altre e permette una visualizzazione migliore del movimento.



realmente la gravità. Questo effetto grafico, che corrisponde ad una discreta complessità del programma, ha un forte impatto sugli studenti ed è un fattore che aiuta ulteriormente gli alunni a visualizzare la materia e le sue proprietà nei tre diversi stati della materia.

3. I tasti interattivi per aumentare o diminuire la temperatura sono posti ai lati dello schermo e assomigliano alle manopole di un videogioco. La posizione (in basso) è tale da mantenere facilmente lo sguardo sull'immagine principale, ovvero sul recipiente che contiene la sostanza da osservare.

### ■ Esperienza laboratoriale vs. simulazione al computer

Come riportato in **Tabella B1**, il percorso didattico proposto alle classi delle scuole secondarie di primo grado ha previsto un approccio misto in cui si utilizzano sia modalità di didattica laboratoriale pratica di tipo *inquiry-based learning* (esplorativa) e/o dimostrativa, sia gli strumenti della didattica digitale presentati nel precedente paragrafo. Focalizzando l'attenzione su una delle fasi di questo percorso (la seconda di **Tabella B1**), vediamo di seguito alcuni aspetti pratici in modo che l'insegnante che volesse riproporre l'attività abbia tutti gli elementi utili per farlo.

Le esperienze qui proposte riguardano un concetto fondamentale di questo livello scolastico: i passaggi di stato. I passaggi di stato non sono altro che un esempio di trasformazione della materia. In particolare, si tratta di trasformazioni fisiche reversibili.

Sul tema della trasformazione fisica (e non chimica) e sul tema della reversibilità dei processi esiste un'ampia letteratura. Spesso questi concetti vengono affrontati in modo dogmatico e soprattutto si tende erroneamente ad associare le trasformazioni fisiche a processi reversibili, al contrario delle trasformazioni chimiche, spesso associate erroneamente a processi irreversibili (RIANI 1995, ROLETTO – ALBERTAZZI – REGIS 1996, RIANI 1999, JOHNSON 2005, ROLETTO – REGIS – GHIRARDI 2009A, ROLETTO – REGIS – GHIRARDI 2009B, ROLETTO – REGIS – GHIRARDI – GIORDANO 2010). È opportuno invece far notare come i passaggi di stato non possano essere considerate trasformazioni chimiche in virtù del fatto che non implicano nessun cambiamento a livello di identità della sostanza chimica. Nonostante lo stato della materia sia diverso, la sostanza rimane sempre la stessa. L'uso del modello particellare e la visualizzazione attraverso il software aiuta gli alunni a chiarire ogni dubbio in merito e questo risultato è stato certamente raggiunto nelle classi che hanno sperimentato il progetto (BELLI 2016, BELLI – MILAZZO – DOMENICI 2016, LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017).

Di seguito è descritta una parte dell'attività didattica relativa all'utilizzo di una sostanza «non comune», l'*alcol tert-butilico*, che, come mostrato in lavori precedenti (RIANI 1995, RIANI 1996, ANDREOLI ET AL. 1996), ha diverse valenze didattiche:

1. A livello di primo ciclo di istruzione la maggior parte degli studenti sperimenta i passaggi di stato studiando la sostanza acqua, raramen-

I passaggi di stato

Attività didattica:  
l'alcol tert-butilico

- te gli studenti osservano fenomeni analoghi per sostanze diverse dall'acqua. Questo può portare gli allievi a vari misconcetti, come, il più banale, che tutte le sostanze solidifichino a  $0^{\circ}\text{C}$ .
2. I passaggi di stato e in particolare le temperature di transizione sono aspetti fortemente caratterizzanti le sostanze chimiche. Una sostanza viene identificata infatti a livello macroscopico attraverso alcune sue proprietà. Il punto di fusione è una delle proprietà fondamentali per identificare una sostanza e per accertarne la purezza.
  3. *L'alcol tert-butilico* ha una temperatura di solidificazione attorno a  $25^{\circ}\text{C}$  e questo rende le attività didattiche legate all'osservazione di questo fenomeno e di quello della fusione molto interessanti per gli allievi e di semplice realizzazione anche in classe.

In **Tabella B2** è riportata una scheda di terzo livello relativa all'osservazione del processo di solidificazione dell'alcol tert-butilico (RIANI 1995, RIANI 1996, ANDREOLI ET AL. 1996). Schede analoghe possono essere preparate per l'osservazione in classe di altre transizioni di fase, come la fusione dell'*alcol tert-butilico*, la solidificazione dell'acqua e la fusione del ghiaccio, l'evaporazione e la condensazione dell'acqua, la sublimazione e il brinamento dello iodio, ecc.

**Tabella B2.** Scheda di terzo livello dell'esperienza laboratoriale per l'osservazione del fenomeno di solidificazione dell'*alcol tert-butilico*.

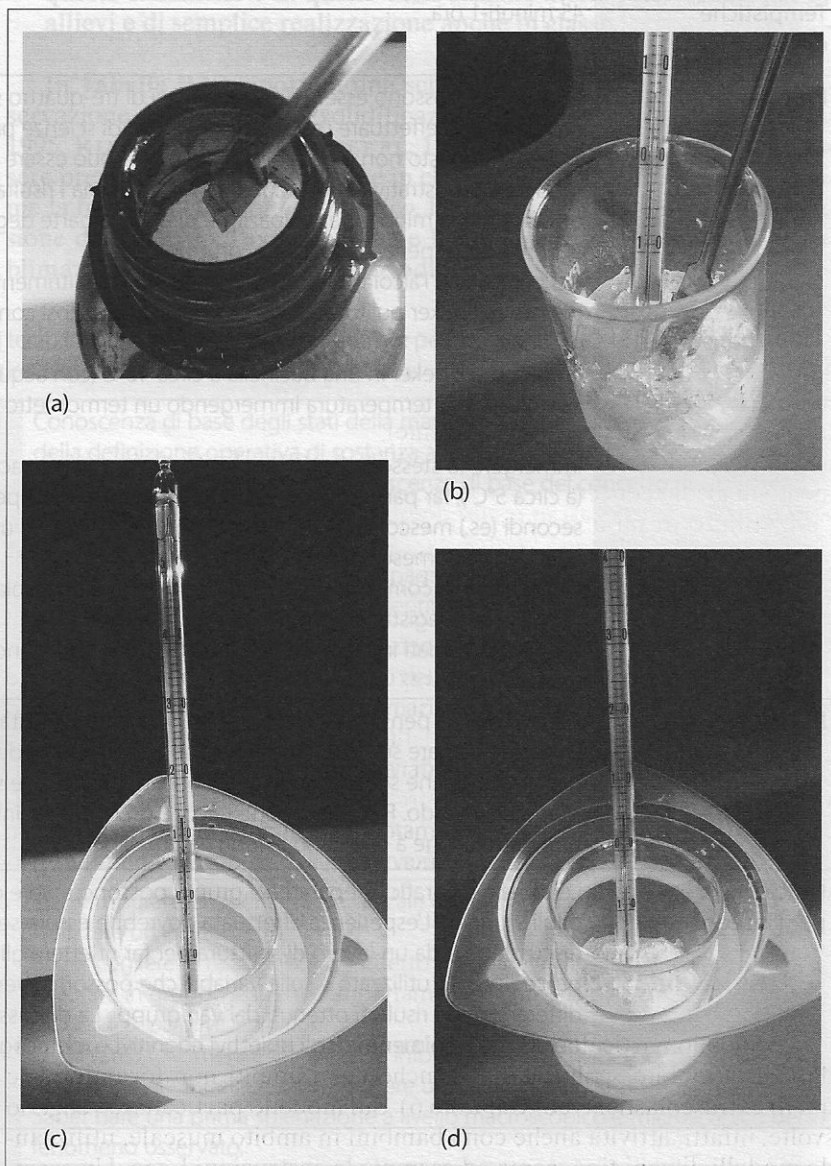
Prerequisiti	<p>Conoscenza di base degli stati della materia: solido, liquido e gas. Conoscenza della definizione operativa di sostanza a livello macroscopico. Conoscenza di base del concetto di volume. Conoscenze di base del concetto di temperatura e di calore.</p> <p>Abilità manuali di base.</p> <p>Saper lavorare in gruppo con i compagni.</p> <p>Conoscenza di base del metodo scientifico e del concetto di misura.</p>
Principali conoscenze che dovranno essere acquisite dagli alunni alla fine dell'esperienza	<p>Conoscenza del termine «trasformazione», conoscenza di alcune proprietà delle sostanze in relazione allo stato della materia.</p> <p>Capacità di distinguere se la trasformazione è reversibile (ovvero se è possibile ripristinare la situazione di partenza).</p> <p>Saper individuare l'importanza di variabili fisiche come il tempo e la temperatura nei passaggi di stato.</p> <p>Saper osservare un fenomeno attentamente.</p> <p>Acquisizione del concetto di conservazione della massa.</p>
Abilità che dovranno essere raggiunte dagli alunni	<p>Saper misurare e saper leggere le scale o i display.</p> <p>Utilizzare un cronometro.</p> <p>Saper cogliere le relazioni causa-effetto e l'ordine temporale degli eventi.</p> <p>Lavorare in gruppo (aspetti comportamentali) con una parziale suddivisione di ruoli (<i>cooperative learning</i>).</p> <p>Osservare i fenomeni e annotarsi le informazioni sul quaderno.</p> <p>Costruire delle tabelle e saper leggere un grafico cartesiano.</p> <p>Saper dare una prima spiegazione a livello macroscopico e microscopico del fenomeno osservato.</p>



<b>Materiali</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 beker da 50 mL</li> <li>• 2 vaschette, una per acqua calda e una per acqua fredda.</li> <li>• cubetti di ghiaccio</li> <li>• cilindro graduato da 25 o da 50 mL</li> <li>• termometro</li> <li>• carta assorbente</li> <li>• cronometro</li> <li>• quaderno di laboratorio</li> <li>• carta millimetrata</li> <li>• bacchetta di plastica o di vetro.</li> </ul>
<b>Tempistiche dell'esperienza</b>	45 minuti-1 ora.
<b>Procedimento</b>	<p>Gli studenti possono essere divisi in gruppi di tre-quattro studenti. Possibilmente effettuare l'esperienza nell'aula di scienze predisposta dalla scuola. Se questo non è possibile, l'esperienza può essere condotta in modalità dimostrativa dall'insegnante in classe, ma i risultati saranno meno evidenti per la minore partecipazione diretta da parte degli allievi.</p> <p>Schema dell'esperienza (per ogni gruppo):</p> <p>Assicurarsi che l'alcol butilico terziario sia liquido (altrimenti va scaldato prima). Versare nel beker pulito circa 25 ml di alcol aiutandosi con un cilindretto graduato.</p> <p>Immergere il beker in una bacinella a circa 40°C (con acqua calda).</p> <p>Far misurare la temperatura immergendo un termometro nel bagno ad acqua.</p> <p>Immergere lo stesso beker in una bacinella contenente acqua e ghiaccio (a circa 5°C), far partire il cronometro e registrare la temperatura ogni 10 secondi (es.) mescolando sempre il termometro oppure usando una bacchetta per mescolare l'alcol nel beker.</p> <p>Quando l'alcol comincia a solidificare, smettere di mescolare e continuare comunque a registrare ogni 10 secondi la temperatura.</p> <p>Far riportare i dati in tabella e far fare un grafico cartesiano (tempo-temperatura).</p>
<b>Norme di sicurezza</b>	<p>Il laboratorio è pensato per ridurre al minimo la possibilità di incidenti. Occorre ricordare sempre agli alunni che quando si conducono esperimenti di chimica, anche semplici, non si devono ingerire mai le sostanze con cui stiamo lavorando. Ricordiamo che l'alcol è un materiale infiammabile e quindi porre attenzione a che siano assenti fiamme libere.</p>
<b>Note per l'insegnante</b>	<p>Le tabelle e i grafici preparati dai gruppi possono essere così commentate dagli studenti. L'esperienza effettuata dovrebbe essere seguita da una discussione e da un lavoro di scrittura per far riflettere gli allievi sul procedimento utilizzato e sulle variabili che possono aver determinato differenze tra i risultati ottenuti dai vari gruppi. La discussione è importante per il raggiungimento degli obiettivi cognitivi e metacognitivi di questa attività.</p>

In **Figura B9**, sono riportate alcune immagini dell'esperienza condotta con gli allievi, dove si possono vedere i materiali utilizzati per osservare la fusione e la solidificazione dell'alcol tert-butilico (LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017).

L'attività di didattica laboratoriale proposta e descritta in **Tabella B2** può essere seguita da altre attività laboratoriali (ad esempio, l'osservazione della trasformazione inversa, la fusione dell'alcol tert-butilico) o di consolidamento (discussione in classe, verifica attraverso schede predisposte). In seguito, l'insegnante può utilizzare il software precedente-



mente descritto per passare da una descrizione macroscopica fenomenologica del fenomeno osservato (**Figura B9**) ad una descrizione microscopica, mediante il modello particellare.

In **Figura B10** sono riportate a titolo di esempio due istantanee dell'attività di simulazione della transizione di fase da liquido a solido (solidificazione) dell'alcol tert-butilico, che aiutano a visualizzare le differenze tra i due stati della materia a livello microscopico. Gli allievi inoltre possono osservare il grafico del passaggio di stato e confrontarlo con quello che hanno costruito manualmente durante l'esperienza di laboratorio. L'aspetto dinamico associato a questa transizione di fase è ben visualizzato dal cursore (pallina rossa) che si sposta lungo la curva in alto a destra.

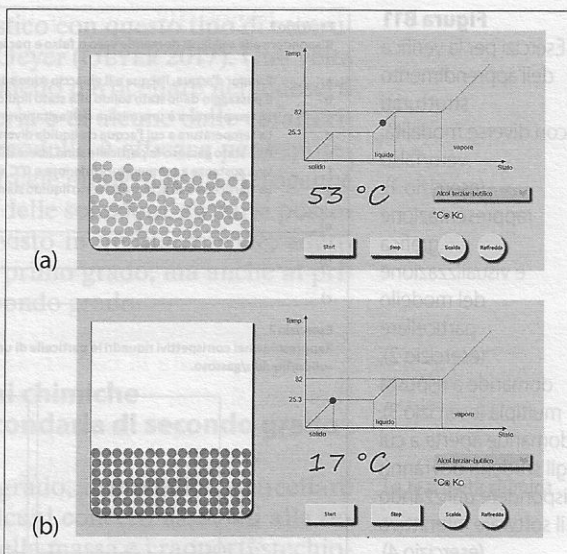
Alcune attività di verifica possono essere costruite utilizzando il software interattivo, come alcune tra quelle riportate in **Figura B11** (a pagina seguente), utilizzate per la verifica dell'apprendimento di alcuni concetti chiave associati alle esperienze qui descritte.

L'utilizzo di un approccio misto in cui diverse modalità didattiche sono impiegate per affrontare in modo completo l'argomento dei passaggi di stato, come esempio di trasformazione della materia reversibile, e la natura particellare delle sostanze, si è rivelato molto efficace (BELLI 2016, BELLI – MILAZZO – DOMENICI 2016, LISCHI 2017, LISCHI ET AL. 2017), in quanto ha permesso di raggiungere sia obiettivi cognitivi che metacognitivi, ma soprattutto ha consentito di ottenere un buon livello di comprensione del modello particellare.

Il software è stato utilizzato dagli insegnanti anche in successive attività di consolidamento e per rivedere insieme agli studenti alcuni concetti, come quello relativo all'espansione termica nello stato solido, la corretta interpretazione a livello microscopico dell'esperimento di Gravesande, il concetto di temperatura, di calore e di agitazione termica.

### Attività didattiche correlate

Il modello particellare ha stimolato molte ricerche non solo nella didattica in ambito scolastico, ma anche negli ambiti non formali come quelli extrascolastici (vedi Capitolo 6). Sul modello particellare vengono svolte, infatti, attività anche con i bambini in ambito museale, utilizzando modelli di ogni tipo, come ad esempio le costruzioni Lego. Un esem-



**Figura B10**

Istantanee del software relative alla sostanza *alcol tert-butilico* nello stato liquido (a) e nello stato solido (b), così come vengono visualizzati dagli studenti durante le attività di simulazione al computer.

I passaggi di stato

Le costruzioni Lego e il modello particellare



**Figura B11**

Esercizi per la verifica dell'apprendimento strutturati con diverse modalità: vero/falso (esercizio 1), rappresentazione grafica e visualizzazione del modello particellare (esercizio 2), domande a risposta multipla (esercizio 3), domande aperte a cui gli studenti dovranno rispondere utilizzando il software interattivo (esercizio 4).

**Esercizio 1**

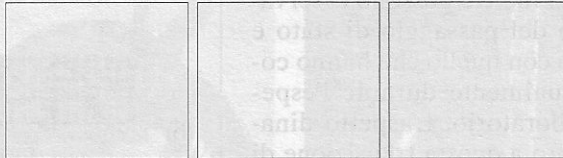
Rispondere alle seguenti domande vero o falso e per le domande false motivare la risposta.

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | Il vapor d'acqua, l'acqua e il ghiaccio sono sostanze diverse                           | V | F |
| b | Il passaggio dallo stato solido allo stato liquido si chiama solubilizzazione           | V | F |
| c | La temperatura è una misura dell'agitazione termica                                     | V | F |
| d | La temperatura a cui l'acqua da liquida diventa solida è 0°C                            | V | F |
| e | Allo stato gassoso le particelle sono libere di muoversi in tutto il volume disponibile | V | F |
| f | Una sostanza a temperatura inferiore a 0°C si trova sempre nello stato solido           | V | F |
| g | Le particelle dell'acqua allo stato liquido stanno ferme                                | V | F |

- a) \_\_\_\_\_
- b) \_\_\_\_\_
- c) \_\_\_\_\_

**Esercizio 2**

Rappresenta nei corrispettivi riquadri le particelle di una sostanza (ad esempio l'anidride carbonica) nei tre stati della materia: solido/liquido/gassoso.



**Solido**

**Liquido**

**Gassoso**

**Esercizio 3**

Rispondere alle seguenti domande a risposta multipla, scegliendo solo la risposta che ritieni corretta.

1) Un corpo ha forma e volume proprio, il corpo è allo stato?

- |   |           |   |         |
|---|-----------|---|---------|
| a | Solido    | c | Liquido |
| b | Aeriforme | d | Fluidi  |

2) Le particelle delle sostanze nello stato gassoso:

- |   |  |   |                                   |
|---|--|---|-----------------------------------|
| a | Risentono di forze di attrazione molto intense | c | Sono vincolate a posizioni rigide |
| b | Sono libere di muoversi nello spazio           | d | Sono unite tra loro               |

3) Le particelle di una sostanza nello stato solido sono:

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| a | Libere di cambiare posizione nello spazio | c | Si spostano nello spazio, ma in modo ordinato. |
| b | Non sono libere di cambiare posizione     | d | Si spostano nello spazio in modo disordinato.  |

4) Le particelle di una sostanza nello stato liquido possono muoversi:

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| a | ma non possono cambiare posizione                     | c | liberamente in tutte le direzioni dello spazio |
| b | ma non possono allontanarsi troppo le une dalle altre | d | solo ad elevate temperature                    |

5) Le particelle di una sostanza a 50°C:

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | si muovono più velocemente che a T=20°C | c | Si muovono alla stessa velocità che a T=20°C  |
| b | si muovono più lentamente che a T=20°C  | d | Si muovono alla stessa velocità di tutte le altre sostanze alla stessa temperatura. |

**Esercizio 4**

Osserva con il software i passaggi di stato nel caso del cloruro di sodio utilizzando questa griglia di osservazione. Completa i campi vuoti e rispondi alle domande:

Usando il tasto corretto, scalda il cloruro di sodio fino a T=150 °C e descrivi cosa vedi sullo schermo:	
Usando il tasto corretto, scalda il cloruro di sodio fino a T=820 °C e descrivi cosa vedi sullo schermo:	
Usando il tasto corretto, scalda il cloruro di sodio fino a T=1550 °C e descrivi cosa vedi sullo schermo:	
Usando il tasto corretto, raffredda il cloruro di sodio fino a T=1400 °C e descrivi cosa vedi sullo schermo:	
Usando il tasto corretto, raffredda il cloruro di sodio fino a T=25 °C e descrivi cosa vedi sullo schermo:	

1) A quale temperatura osservi la fusione del sale?

2) A quale temperatura avviene l'evaporazione del sale?



REGIS 2016) di rappresentazione simbolica di una reazione in fase gassosa, in cui due gas (idrogeno e azoto) si combinano a formare ammoniaca. In particolare, i simboli, un quadrato e un cerchio, sono rappresentazioni degli atomi di idrogeno e di azoto, rispettivamente.

Agli studenti viene chiesto di rappresentare la reazione indicata in alto a destra di **Figura B12**. La risposta (A) dimostra che lo studente ha compreso che una reazione chimica comporta sempre la conservazione della massa, che in questo caso corrisponde a non alterare il numero delle particelle (per ogni tipo) tra prima e dopo. Tuttavia, il concetto di molecola e l'associazione tra sostanza e sua rappresentazione non sono stati appresi correttamente. La risposta (B) è quella corretta, in quanto è stata rispettata la conservazione della materia, la stechiometria della reazione e sono stati associati correttamente i diversi simboli per rappresentare le molecole di idrogeno molecolare, azoto molecolare e ammoniaca. La risposta (C) contiene diversi errori nella rappresentazione dei reagenti (non sono rappresentate le molecole di idrogeno e di azoto, ma solo atomi liberi) e nella rappresentazione del prodotto di reazione (i simboli sono tutti uniti come se i prodotti fossero allo stato solido e non si distinguono le molecole dell'ammoniaca).

La risposta (D) è una risposta alternativa, non del tutto errata, in quanto lo studente ha inteso come i simboli (il quadrato e il cerchio) si riferiscano alle molecole di idrogeno e di azoto, rispettivamente, e quindi ha introdotto un terzo simbolo per rappresentare l'ammoniaca. Inoltre, con questa nuova simbologia, la conservazione della massa è stata rispettata.

La rappresentazione simbolica delle reazioni chimiche è un aspetto piuttosto critico dell'apprendimento della chimica, ma nello stesso tempo cruciale, come evidenziato da un recente studio (CHIOCCA – DOMENICI 2015) effettuato per comprendere il legame tra immagine della chimica e livello di conoscenza della chimica in un campione di giovani italiani. Tra i misconcetti più diffusi associati alla chimica, come già discusso nel Capitolo 1 (vedi paragrafo 1.4.2), molti sono legati ad una non corretta rappresentazione della materia a livello microscopico.

Sull'utilizzo del modello particellare per introdurre gli studenti del biennio delle scuole secondarie di secondo grado ai concetti di reattività chimica esiste un'ampia letteratura (NAKHLEH 1994). Sono stati nel tempo sviluppati vari percorsi didattici cui rimandiamo a titolo di esempio (ROLETTO – REGIS – GHIRARDI – GIORDANO 2010, GIORDANO 2016, GHIBAUDI – ROLETTO – REGIS 2016). Anche su questo argomento ci sono diversi studi sull'efficacia di un approccio misto che sfrutta la disponibilità di alcuni software sviluppati ad hoc per simulare reazioni chimiche sia in fase gassosa che in fase liquida (SNIR – SMITH – RAZ 2003, NYACHWAYA ET AL. 2011). L'uso delle simulazioni grafiche oltre a migliorare la visualizzazione delle reazioni chimiche a livello sub-microscopico (NYACHWAYA ET AL. 2011, TANG – ABRAHAM 2016), aiuta a comprendere altri concetti correlati, come quello di equilibrio chimico (PARK – LIU – WAIGHT 2017).

La rappresentazione  
simbolica  
delle reazioni chimiche

Figura B11

Esercizio per la verifica  
dell'apprendimento  
strutturato  
con diverse modalità  
verificata  
esercizio B1  
rappresentazione  
grafica  
e visualizzazione  
del modello  
particolare  
(esercizio B1)  
domande a risposta  
multipla (esercizio B1)  
domande aperte a cui  
gli studenti dovranno  
rispondere con  
la scrittura chimica  
risposta  
(esercizio B1)

Figura B12

Esempio  
di rappresentazione  
simbolica  
delle reazioni  
chimiche che utilizza  
il modello particellare.  
Nel riquadro (A) (B)  
(C) e (D) sono riportati  
alcuni esempi  
di rappresentazioni  
corrette o errate  
fornite dagli studenti  
per rappresentare  
la reazione (Dma)  
e i prodotti (Dob)  
di una reazione in fase  
gassosa.



## ■ Conclusioni

Il passaggio da una descrizione macroscopica/fenomenologica della materia ad una descrizione atomica o molecolare è concettualmente uno dei più difficili in quanto richiede una capacità di astrazione sviluppata solitamente negli studenti solo alla fine del primo ciclo di istruzione. Affrontare in modo sistematico i concetti di atomo, molecola e struttura molecolare nella scuola secondaria di primo grado non è generalmente consigliabile, soprattutto prima di aver introdotto altri concetti fondamentali della chimica, come quello di materia discontinua, stati della materia e trasformazioni della materia, sostanza e proprietà delle sostanze a livello macroscopico.

D'altra parte, come già discusso nel paragrafo 3.1, la natura della chimica implica la presenza di più livelli, come ben rappresentato dal modello triangolare di Johnstone (livello macroscopico, livello microscopico e livello delle rappresentazioni). Un primo approccio ad una descrizione sub-microscopica della materia può essere fatto utilizzando il modello particellare, che risulta efficace anche per una corretta visualizzazione della natura corpuscolare della materia nei tre stati: solido, liquido e gassoso. Il modello particellare ha l'ulteriore vantaggio di consentire all'insegnante di individuare i misconcetti diffusi tra gli alunni.

In questa sessione, dopo aver introdotto le caratteristiche principali del modello particellare, è stato proposto un approccio misto (*blended learning*) con il ricorso a varie metodologie didattiche: la didattica laboratoriale esplorativa o dimostrativa, l'utilizzo di strumenti informatici e di simulazioni dinamiche al computer, l'elaborazione grafica da parte degli alunni come strumento di verifica dell'apprendimento. Sono state inoltre presentate schede operative e schede di verifica relative ai passaggi di stato della materia. Infine, le potenzialità del modello particellare per introdurre alcuni concetti relativi alle reazioni chimiche sono state discusse facendo riferimento ad alcuni percorsi didattici sperimentati e riportati in letteratura.

*Blended learning*