

La spiegazione scientifica a scuola

Aldo Borsese
Irene Parrachino
(Università di Genova; aldo.borsese@chimica.unige.it)

Gli autori, partendo da una breve riflessione sul significato del verbo «spiegare», analizzano il ruolo della spiegazione a scuola, riferendosi in particolare all'ambito scientifico. Una spiegazione può essere tale, ossia rendere conto del perché di qualcosa, solo se gli alunni sono in grado di comprenderla, altrimenti essa perde ogni valenza formativa. L'insegnante, quindi, deve sempre calibrare le sue proposte didattiche tenendo in considerazione i requisiti dei suoi interlocutori.

Nella parte finale del contributo, a titolo di esempio, viene proposta al lettore una riflessione specifica su un argomento presente nei programmi scolastici di tutti i livelli scolastici: i passaggi di stato. In particolare si focalizza l'attenzione sulla transizione di una sostanza pura dallo stato solido a quello liquido. Si tratta di un fenomeno familiare e quindi, essendo erroneamente ritenuto semplice, viene trattato con eccessiva superficialità anche dai libri di testo che propongono, infatti, «spiegazioni» che non rendono conto di alcuni comportamenti macroscopici facilmente osservabili.

1. Premessa

Poiché lo scopo della scienza è quello di «spiegare», è essenziale per i docenti di area scientifica avere indicazioni sulla natura della spiegazione e su alcuni suoi aspetti. Lo dimostrano i molti studi e le riflessioni su questo tema cominciati fin dall'antichità; già Aristotele, infatti, distingueva tra il «sapere che» e il «sapere perché».

A riguardo della struttura delle spiegazioni scientifiche e dei tipi di spiegazione si è passati dal modello «galileiano», secondo il quale spiegare significa individuare le cause, al modello nomologico-deduttivo (Hempel e Oppenheim, 1948), che vede la spiegazione come un'inferenza logica dedotta da leggi e condizioni specifiche. Questo modello è stato poi integrato dal modello statistico-induttivo (Salmon, 1978), mentre, più recentemente, sono stati proposti modelli alternativi, tra cui quello pragmatico e quello unificazionista, fino al recupero della nozione di causa (Salmon, 1997).¹

Si ricorre alla spiegazione tutte le volte che occorre rispondere a domande che iniziano con «perché». E l'importanza delle spiegazioni scientifiche sta nel fatto che ci consentono di comprendere fenomeni, fatti, stati di cose e ci fanno capire come funziona il mondo. D'altra parte, poiché la comprensione è un processo di costruzione di rappresentazioni mentali, capiamo realmente uno stato di cose o un certo comportamento quando riusciamo a utilizzare le informazioni ricevute e costruiamo, appunto, una nostra rappresentazione della situazione. Tali rappresentazioni, forzatamente approssimative e schematiche, sono state chiamate «modelli mentali» e possono essere definite come «scenari virtuali ove sono rappresentati analogicamente gli elementi rilevanti delle situazioni oggetto di studio» (Johnson Laird, 1983).

«Perché il cielo è azzurro?», «Perché in inverno le giornate sono più corte?»: per rispondere a queste domande, per spiegare, occorre partire da altro rispetto all'oggetto della domanda. Infatti, il cielo azzurro, le giornate più corte in inverno, sono conseguenza di, dipendono da, si debbono ad

¹ Per approfondimenti sul tema della spiegazione si veda, ad esempio, Peruzzi, 2009.

altro. E una spiegazione sarà «vera» quando presenterà un «altro» che rende conto del fatto, del fenomeno oggetto della domanda.

Pur non prendendo in considerazione le possibili risposte alle domande precedenti, si rileva che, per poterle comprendere, riconoscerne il modello sotteso e valutarne l'attendibilità esplicativa, è necessario che le persone alle quali sono rivolte le spiegazioni possiedano numerosi requisiti senza i quali queste informazioni arriverebbero distorte o non arriverebbero affatto. La spiegazione, cioè, non dovrebbe prescindere dagli interlocutori ai quali viene rivolta. Una spiegazione può anche essere rigorosamente valida e organicamente autosussistente ma, se non è accessibile, non svolge la funzione per cui è stata data.

2. La spiegazione a scuola

Dal punto di vista didattico, è necessario evitare il rischio di fornire spiegazioni che gli interlocutori non siano in grado di comprendere e ricordare che una spiegazione, per essere adeguata, deve essere alla portata del destinatario. Occorre, cioè, essere consapevoli che certi modelli esplicativi sono adatti solo per alcune persone. Solo quando la spiegazione tiene conto del livello cognitivo dei destinatari si può stabilire una comunicazione funzionale all'apprendimento.

Anche i testi scolastici presentano spesso sia situazioni in cui le inferenze necessarie per comprendere le spiegazioni richiedono requisiti non posseduti dagli allievi, sia situazioni in cui si parla di spiegazione, o comunque si usa il verbo «spiegare», senza poi rendere effettivamente conto del fenomeno che si pretenderebbe di giustificare (o perché il discorso è solo espositivo o perché le argomentazioni prodotte conducono a inferire un modello che non consente una reale interpretazione dei fatti o dei fenomeni presentati).

Poiché la formazione scolastica dei docenti stessi non ha favorito l'acquisizione di un atteggiamento critico e riflessivo, nella loro attività d'insegnamento quasi sempre finiscono con il riproporre ai propri allievi le stesse «spiegazioni» memorizzate o parzialmente comprese da studenti, a volte addirittura senza la consapevolezza che configurino modelli interpretativi.

È contraddittorio affermare che si voglia realizzare un insegnamento che favorisca l'autostima, lo spirito critico e un atteggiamento riflessivo, e si voglia puntare sulla qualità e non sulla quantità e poi perpetrare, di fatto, una didattica che punta sul credere invece che sul capire.

3. Le ragioni di questa situazione

Le spiegazioni che compaiono sui libri e che vengono fornite dagli insegnanti a volte non rendono conto dei comportamenti macroscopici che pretendono d'interpretare. Vengono memorizzate sul momento ma, non consentendo una reale comprensione, in breve tempo sono dimenticate o distorte. Proviamo a individuare alcune ragioni di questa situazione.

In primo luogo duole sottolineare il fatto che c'è una scarsa propensione negli insegnanti a condurre su se stessi una sistematica pratica riflessiva prima di decidere se, quando e come trattare gli argomenti. Si parla tanto dell'indispensabilità di puntare su una dimensione metacognitiva dell'apprendimento, senza rendersi conto del fatto che è velleitario poter pensare di suscitare questa attitudine in allievi guidati da insegnanti che non riflettono sui concetti che vogliono far acquisire.

In secondo luogo è un vero e proprio «abuso» quello che spesso gli insegnanti e i testi scolastici fanno della parola «spiegazione» e del verbo «spiegare», confondendoli spesso con «descrizione» e «descrivere» o con «asserzione» e «asserire». Questo fatto è una prova evidente dell'assenza di una seria riflessione sui contenuti che si propongono in classe.

Al contrario, gli insegnanti di scienze dovrebbero porsi come obiettivo proprio il fatto che gli allievi distinguano la descrizione dalla spiegazione di un fenomeno, proponendo opportune situazioni di apprendimento, attraverso un costante lavoro orientato alla metacognizione.

4. Un argomento per esemplificare

Per portare un esempio specifico considereremo il tema degli stati di aggregazione della materia e dei passaggi di stato. Si tratta di un tema onnipresente nella scuola in quanto si incontra nei programmi di tutti i livelli scolastici, dalla scuola primaria all'università.

Questa sistematica presenza si deve alla rilevanza educativa che viene attribuita ad esso. Si ritiene, infatti, che permetta di far acquisire agli allievi requisiti indispensabili per affrontare efficacemente lo studio di diverse discipline scientifiche. Si evidenzia, inoltre, come questo tema sia particolarmente adatto alla verticalità, consentendo di passare da aspetti fenomenologici alla loro interpretazione, da quelli qualitativi ai quantitativi.

Nonostante la sua «familiarità» lo possa far apparire facilmente accessibile e faccia pensare di poterlo trattare velocemente, numerose ricerche condotte sia in Italia che all'estero mostrano come tra gli allievi, anche dopo la scuola secondaria superiore e l'università, permangano numerose concezioni alternative.

Crediamo che questo argomento rappresenti un contenuto particolarmente adatto per concettualizzare la descrizione. Facendo riferimento, in particolare, al solido e al liquido è, infatti, possibile far lavorare gli allievi della scuola primaria in modo tale che giungano a formulare una definizione basata solo sull'osservazione. Naturalmente la definizione di sostanza solida e di sostanza liquida non potrà che essere un elenco delle caratteristiche più salienti osservabili nei solidi e nei liquidi, espresse attraverso le scelte e le possibilità linguistiche della classe che l'ha elaborata.

L'argomento, invece, è meno adatto, a nostro avviso, a concettualizzare la «spiegazione», almeno nella scuola di base, perché la comprensione del comportamento delle sostanze pure nei diversi stati di aggregazione e nei passaggi di stato richiede il possesso di numerosi requisiti. E le «spiegazioni» di questi comportamenti fornite dai testi scolastici stessi (in particolare a livello di primaria e secondaria di primo grado) non solo a volte non sono «vere», nel senso che non rendono conto dei comportamenti che dovrebbero interpretare, ma risultano anche inadeguate rispetto al livello cognitivo di coloro ai quali sono rivolte.

5. Un esempio per «spiegare» che non si «spiega»

C'è la tendenza sia degli autori di testi sia degli insegnanti a riproporre quanto appreso a scuola da studenti, guidati da una «sicurezza» derivata dalla «consuetudine all'uso» che spesso pervade molta della loro didattica. Per suffragare le nostre affermazioni faremo riferimento alla transizione dalla fase solida a quella liquida di una sostanza pura ed esporremo come viene interpretato quello che succede alle forze intermolecolari in questo passaggio su alcuni testi relativi a diversi livelli scolastici.

Premesso che quanto si può leggere sui brevi stralci sull'argomento riportati in chiusura del contributo (Pera et al., 2010; Chiorboli, 1995; Smoot et al., 1998; Pistarà, 2009; Bagatti et al., 2006; Rippa, Piazzino e Pettinari, 2007; Valitutti, Tifi e Gentile, 2007) è abbastanza rappresentativo di ciò che compare sui testi che trattano questo argomento, una prima osservazione si riferisce al modo in cui vengono denominate le interazioni tra le particelle:² alcuni parlano di legami intermolecolari, altri di forze intermolecolari.

Chi parla di forze intermolecolari sostiene che l'energia fornita al sistema, quando si realizza il processo, è utilizzata per vincere queste forze; tra chi parla di legami intermolecolari possono riconoscersi, schematizzando, due posizioni: quella di coloro che affermano che i legami si rompono e quella di coloro che dicono che l'energia fornita al sistema agisce sulla forza dei legami.

È evidente che chi afferma che l'energia fornita «vince le forze intermolecolari» o «rompe i legami», senza aggiungere altro, non si è posto il problema delle conseguenze di questa affermazione, e cioè che in questa situazione le particelle del solido sarebbero libere di muoversi in

² A questo proposito, le risposte, in generale, sono attribuibili ai solidi molecolari perché i testi parlano di molecole.

tutto lo spazio a loro disposizione e sarebbero sostanzialmente prive di interazioni le une con le altre (il solido passerebbe direttamente allo stato gassoso).

L'idea che l'energia fornita al sistema nella fusione agisca sulla forza dei legami, invece, può condurre a inferire che ne faccia diminuire l'intensità. È la posizione di coloro che sostengono che il legame intermolecolare nel liquido «si allenta».

C'è poi chi afferma che il calore fornito al sistema nella fusione viene trasformato dalla sostanza in una forma di energia diversa dall'energia termica e parla di energia chimica. Altri sottolineano che «nella fusione le particelle tendono ad allontanarsi l'una dall'altra» e rilevano che «ciò comporta un aumento dell'energia potenziale (che dipende dalle forze di attrazione di natura elettrostatica, che tendono a far mantenere vicine le molecole)». Concludono affermando che «fornire calore a un sistema significa aumentare non solo la sua energia cinetica, ma anche la sua energia potenziale».

Ci pare che le considerazioni che compaiono in questi testi non favoriscano la costruzione di modelli interpretativi che rendano conto dei comportamenti macroscopici. Sembra addirittura che gli stessi autori non possiedano un modello interpretativo plausibile del passaggio solido-liquido.

Anche numerose interviste realizzate con insegnanti di scienze e di chimica dei diversi livelli scolastici e con studenti universitari di area scientifica confermano una disabitudine consolidata da parte della maggior parte degli interlocutori a porsi in una dimensione metacognitiva, mettendo a disposizione ciò che si sa per la costruzione di un modello interpretativo.

6. Un'ipotesi alternativa: un modello plausibile?

Si tratta di riconoscere una condizione «microscopica» che consenta di rendere conto del comportamento macroscopico. Quando una sostanza è allo stato solido l'azione delle forze interparticellari che tiene unite le particelle che la costituiscono è decisamente superiore a quella determinata dalla loro energia cinetica che tenderebbe a distaccarle tra loro. Tale condizione microscopica rende conto del comportamento macroscopico delle sostanze in questo stato di aggregazione.

Somministrando energia attraverso calore a una sostanza solida, cresce l'energia cinetica delle particelle che la costituiscono. Tale aumento conduce ogni particella, nel momento in cui abbandona il reticolo cristallino del solido, al superamento dell'azione attrattiva delle forze interparticellari che la tengono «legata», «vincolata» alle altre.

Questo «modello» rende conto della disgregazione del solido ma, come tale, conduce a un comportamento corrispondente a quello dello stato gassoso della sostanza perché presuppone particelle senza vincoli, e perciò libere di muoversi in tutto lo spazio disponibile.

Per giustificare la formazione del liquido è necessario integrare il modello prevedendo che le particelle che hanno lasciato il reticolo cristallino, nell'istante immediatamente successivo all'abbandono, tornino ad aggregarsi tra loro, seppure in maniera diversa rispetto a come lo erano nel solido.

E questa riaggregazione si realizza perché le particelle, muovendosi per abbandonare il reticolo cristallino del solido, perdono quel piccolissimo surplus di energia cinetica che ha consentito loro il distacco e sono nuovamente sotto la prevalenza dell'azione attrattiva delle forze interparticellari.

La situazione poi dello stato liquido si deve al fatto che l'energia cinetica delle particelle (che tende a liberarle dai vincoli) e le forze interparticellari (che tendono ad aggregarle tra loro) si contendono in ogni istante la predominanza dell'una o delle altre, dipendendo dalle reciproche variazioni determinate dagli urti dovuti alla relativa mobilità delle particelle.

7. Conclusioni

Come aveva già compreso Aristotele, la spiegazione è un «sapere perché», a differenza della descrizione che conduce a «sapere che». Ma affinché sia funzionale a una didattica comprensiva occorre, come si diceva all'inizio di questo contributo, che risponda a due presupposti fondamentali: che renda davvero conto dei fatti e che sia accessibile agli alunni. Nell'insegnamento è fondamentale che ciò avvenga sempre perché altrimenti le innovazioni didattiche, le azioni che puntano sul metodo e sulla motivazione risultano vane e conducono a un apprendimento effimero, basato unicamente sulla memorizzazione. Purtroppo, spesso ciò non accade e dovrebbe essere compito della ricerca educativa e dei corsi di formazione per gli insegnanti, specialmente di ambito scientifico, far nascere l'esigenza di avere e di dare risposte funzionali alla comprensione dei fenomeni.

Come si è già sottolineato, la nostra formazione ha visto prevalere il credere rispetto al capire e questo prevalere ha finito col farci confondere le due condizioni. Pensiamo di spiegare perché così abbiamo imparato, ma in realtà perpetuiamo un sapere che non conduce alla comprensione. Gli insegnanti, invece, dovrebbero rivisitare in modo più profondo gli argomenti che trattano in classe per individuare le proprie carenze interpretative e identificare gli eventuali ostacoli cognitivi per gli allievi. Solo così potranno guidarli nella costruzione di apprendimenti significativi, attraverso una didattica finalizzata all'acquisizione di competenze e verificando costantemente la reale comprensione di quello che insegnano.

Si è considerata a titolo esemplificativo una transizione di fase, facendo riferimento in particolare al processo di fusione, ma molti sono i fenomeni e i comportamenti su cui sarebbe necessario riflettere per assumere un comportamento didattico funzionale al capire.

Riportiamo di seguito alcuni stralci di libri di testo di scuole di vario ordine e grado riguardanti il fenomeno preso in esame. Il lettore a questo punto potrà presumibilmente «affrontarli» con maggior spirito critico, valutando più consapevolmente la consistenza delle argomentazioni di volta in volta fornite dagli autori e l'accessibilità delle spiegazioni proposte, ossia i requisiti cognitivi che debbono essere già posseduti da chi legge perché possa capire: troppe volte tali requisiti sono dati per scontati, pregiudicando irrimediabilmente il buon esito del processo di insegnamento-apprendimento.

Come hai visto, l'agitazione delle particelle aumenta all'aumentare della temperatura. Quando l'agitazione cresce tanto da vincere le forze di coesione, un corpo solido passa allo stato liquido e, se la temperatura aumenta ancora, a quello aeriforme, lo stato in cui le molecole si muovono liberamente.

Proviamo a capire che cosa succede mettendo sul fuoco un pentolino pieno di cubetti di ghiaccio. La temperatura del ghiaccio sale e il calore fornito fa aumentare le vibrazioni delle molecole, ancora strettamente legate. Quando la temperatura del ghiaccio ha raggiunto gli 0°C, la vibrazione è aumentata al punto di rompere i legami che tengono insieme le molecole.

A questo punto accade un fatto interessante: anche se continua a essere somministrato calore, la temperatura resta di 0°C fino a che tutto il ghiaccio non è diventato acqua: solo a questo punto la temperatura ricomincia a salire: questo succede perché, durante la fusione, il calore, cioè l'energia termica, viene utilizzato interamente per rompere i legami che tengono insieme le molecole di ghiaccio, quindi non va ad aumentare il loro movimento. Lo stesso accade quando la temperatura dell'acqua arriva a 100°C e comincia l'ebollizione: fino a che tutta l'acqua non è diventata vapore, la temperatura non aumenta, perché il calore è interamente utilizzato per spezzare i legami tra le molecole d'acqua. (Caruso, Costante, Selmi, 2010, p. 28)

Si consideri una specie chimica, come l'acqua, che in condizioni opportune può esistere allo stato solido, allo stato liquido e allo stato gassoso. Allo stato solido le singole molecole, o gli atomi o gli ioni, sono trattenuti dalle forze di legame in definite posizioni attorno alle quali compiono solo oscillazioni ristrette e i loro moti oscillatori si esaltano con l'aumentare delle temperature.

Quando le oscillazioni diventano sufficientemente energiche da vincere le forze di legame a cui è dovuta la stabilità dell'edificio cristallino, questo si sfascia e fonde, cioè passa allo stato liquido e, continuando a somministrare calore al liquido si accresce via via l'energia cinetica dei moti molecolari fino a superare anche le non trascurabili interazioni di

legame ancora vincolanti l'una all'altra le particelle del liquido, e il liquido allora vaporizza, cioè passa allo stato gassoso e le molecole si muovono libere e indipendenti [...].

Ogni trasformazione di stato è accompagnata da una variazione di energia, perché diversa da stato a stato è l'energia di legame tra le particelle: essa si manifesta come calore, assorbito o sviluppato secondo la trasformazione che si considera, ed è designata (riferendosi di regole ad una mole di sostanza) calore latente della trasformazione medesima. (Chiorboli, 1995, p. 507).

Quando si fornisce calore a un solido, questa energia termica viene utilizzata dal solido stesso per aumentare la propria temperatura fino a che non incomincia il processo di fusione.

A questo punto, pur continuando a somministrare calore, non si registra più un aumento di temperatura nel solido, in quanto l'energia fornita viene utilizzata per disgregare il reticolo cristallino (il reticolo cristallino è una disposizione ordinata di particelle, tipica dei solidi), che passa così da uno stato ordinato a uno stato meno ordinato, cioè quello di liquido (solido fuso)». (Smoot et al., 1998, p. 31)

Dal grafico si può notare che durante la fusione la temperatura rimane costante, nonostante si continui a fornire calore. Per spiegare questo fenomeno si ammette che il calore fornito serve a vincere le forze di coesione tra le particelle del solido che assumono una maggiore libertà di movimento. (Pistarà, 2009, p. 41)

Durante la fusione il sistema non aumenta la sua temperatura né la sua energia termica. Dobbiamo perciò concludere che il calore fornito durante la fusione viene trasformato dalla sostanza in una forma di energia diversa dall'energia termica. Per spiegare questa nuova forma di energia che entra in gioco durante tutti i cambiamenti di stato dobbiamo ancora una volta fare riferimento alla struttura particellare della materia.

Durante i passaggi di stato cambiano la libertà di movimento e le distanze reciproche tra le particelle che costituiscono i corpi. Pensate ad esempio all'acqua che bolle: il calore che dobbiamo fornire per mantenerla in ebollizione viene trasformato nell'energia necessaria alle molecole di acqua per vincere le forze di attrazione che le tengono vicine le une alle altre nel liquido; le molecole che acquistano sufficiente energia di allontanano dalle altre e infatti il vapore d'acqua ha una densità molto minore dell'acqua liquida. La materia può dunque immagazzinare energia anche in una forma che è in relazione con la forza dei legami tra le particelle che la costituiscono; questa forma di energia è detta energia chimica [...] ma possiamo già affermare che durante la fusione e l'ebollizione la materia aumenta il suo patrimonio di energia chimica e che, viceversa, durante la condensazione e la solidificazione l'energia chimica diminuisce. (Bagatti et al., 2006, p. 51)

Perché la temperatura non aumenta durante il processo di fusione, ma solo prima e dopo? Prima della fusione l'energia termica che forniamo fa aumentare l'energia cinetica delle molecole, che vibrano più velocemente e determinano così l'aumento della temperatura.

Arrivati alla temperatura di fusione, l'energia termica che forniamo viene utilizzata per far passare le particelle dallo stato solido allo stato liquido. Solo quando il solido è passato completamente allo stato liquido, la temperatura riprende a salire. Il calore latente, infatti, sembra nascosto, nel senso che non si manifesta con un aumento di temperatura, ma viene utilizzato per rompere i legami e passare allo stato liquido. (Rippa, Piazzino e Pettinari, 2007, pp. 199-200)

Perché durante la fusione la temperatura non sale? Ciò accade perché il calore assorbito serve a vincere le forze di coesione del solido e a trasformarlo in liquido.

Le particelle possiedono una certa quantità di energia cinetica che è dovuta al loro moto. Inoltre, esse possiedono anche una certa energia potenziale che deriva dalle forze di interazione tra le molecole.

La somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale delle particelle, che costituiscono il sistema, è chiamata energia interna del sistema. Se forniamo calore a un solido la sua energia interna aumenta. Infatti, il calore è un modo di trasferimento di energia da un corpo più caldo a uno più freddo. Il trasferimento di energia cessa non appena i due sistemi a contatto hanno raggiunto la stessa temperatura. Vediamo in che cosa consiste questo fenomeno. In seguito al riscaldamento, l'energia cinetica delle particelle aumenta: esse si muovono sempre più velocemente urtandosi sempre più spesso e tendono ad allontanarsi l'una dall'altra. A causa degli urti continui che avvengono tra le particelle, il loro moto è molto disordinato; le particelle, quindi, non posseggono tutte la stessa energia cinetica. Per questo, piuttosto che parlare di energia di un singolo atomo o di una singola molecola è preferibile esprimersi in termini di energia cinetica media [...].

Vediamo ora cosa succede all'energia potenziale. Abbiamo detto che, in seguito al riscaldamento, le particelle si muovono più velocemente e tendono ad allontanarsi l'una dall'altra. Ciò comporta un aumento dell'energia potenziale, che dipende dalle forze di attrazione di natura elettrostatica, che tendono a mantenere vicine le molecole. Quindi, fornire calore a un sistema significa aumentare non solo la sua energia cinetica, ma anche la sua energia potenziale. (Vallitutti, Tifi e Gentile, 2007, pp. 37-95)

Abstract

After considering the meaning of the verb «to explain», the authors analyze the role of «explanation» at school, specifically referring to the scientific field. An explanation can be considered as such – i.e. an account for the reasons of something – only if the students are able to understand it, otherwise it loses any formative value. Therefore, teachers must always weigh their didactic proposals, taking account of their interlocutors' prerequisites.

In the final part of the study, by way of example, a specific consideration is proposed to the reader, about a topic included in the academic programs of every school level: the changes of states. The attention is particularly focused upon the passage of a pure substance from a solid to a liquid state: being a familiar phenomenon, it may often be wrongly considered easy to catch. The school texts themselves tend to deal with it superficially and to provide «explanations» without accounting for some easily observable macroscopic behaviors.

Bibliografia

- Bagatti F., Corradi E., Desco A. e Ropa C. (2006), *Conoscere la materia*, Bologna, Zanichelli.
- Chiorboli P. (1995), *Fondamenti di Chimica*, Torino, UTET.
- Hempel C.G. e Oppenheim P. (1948), *Studies in the logic of explanation*, «Philosophy of Science», n. 15, pp. 135-175.
- Johnson Laird P. (1983), *Modelli Mentali*, Bologna, il Mulino.
- Caruso T., Costante R.M., Selmi L. (direzione scientifica Pera T.) (2010), *Scienze Scuola: A, La materia, La Terra*, Firenze, Giunti Scuola.
- Peruzzi A. (2009), *Modelli della spiegazione scientifica*, Firenze, University Press.
- Pistarà P. (2009), *Moduli di Chimica*, Bergamo, Atalas.
- Rippa M., Piazzino S. e Pettinari C. (2007), *La Chimica di Rippa*, Ferrara, Bovolenta-Zanichelli.
- Salmon W. (1978), *Why ask Why? An inquiry concerning scientific explanation*, «Proceeding and Addresses of the American Philosophical Association», vol. 51, n. 6, pp. 683-705.
- Salmon W. (1997), *Causality and explanation: A reply to two critiques*, «Philosophy of Science», n. 64, pp. 461-477.
- Smoot R.C., Price J.S., Smith R.G. e Cacciatore D. (1998), *Corso di Chimica Moderna*, Firenze, Le Monnier.
- Valitutti G., Tifi A. e Gentile A. (2007), *La idee della chimica*, Bologna, Zanichelli.