

Trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche: una distinzione senza senso?/2

Si conclude il contributo sulla distinzione fra trasformazione fisica e trasformazione chimica. Dopo aver analizzato e commentato le relative definizioni riportate da alcuni testi scolastici, riferendole al dibattito didattico-scientifico sviluppatosi intorno al 1970 (*Didattica delle Scienze* n. 257, Ottobre 2008), si vede come sia possibile giustificare o meno la distinzione in base ad argomentazioni adeguate, tenendo conto dei tre livelli della struttura gerarchica della chimica (macroscopico, microscopico atomico/molecolare, microscopico nucleo/elettronico).

EZIO ROLETTA*, **ALBERTO REGIS***, **MARCO GHIRARDI***

Che fare?

Nella prima puntata abbiamo ricordato che il *Journal of Chemical Education* pubblicò nel 1970 due articoli con tesi contrapposte. Può sembrare paradossale che lo stesso periodico dedicato all'insegnamento della chimica pubblici, a distanza di pochi mesi, due articoli in cui gli autori sostengono punti di vista contrapposti. Chi dei due ha ragione? Le trasformazioni della materia possono essere distinte in fisiche e chimiche? Le argomentazioni sviluppate dai due autori per sostenere idee opposte sono egualmente pertinenti e convincenti? Cominciamo dall'ultimo interrogativo. Si può ritenere, come sostiene Jensen [3], che sia Gensler sia Strong abbiano presentato argomentazioni pertinenti e, sotto molti aspetti, egualmente convincenti. Questa affermazione potrebbe sembrare paradossale, ma non è così; anzi, sottolinea l'aspetto altamente educativo del problema, messo in risalto proprio dalle argomentazioni sviluppate dai due autori. In effetti, analizzandole con attenzione ci si rende conto che si collocano su due piani diversi di descrizione e interpretazione dei fenomeni. Per comprendere cosa questo significhi, occorre fare riferimento alla struttura gerarchica della chimica che prevede tre livelli di descrizione e interpretazione della materia e delle sue trasformazioni (figura 1):

– il livello macroscopico, al quale appartengono le sostanze e le miscele;

- il livello microscopico atomico/molecolare, al quale appartengono le molecole e gli atomi;
- il livello microscopico nucleo/elettronico, al quale appartengono i nuclei e le particelle subatomiche (protoni, elettroni, neutroni).

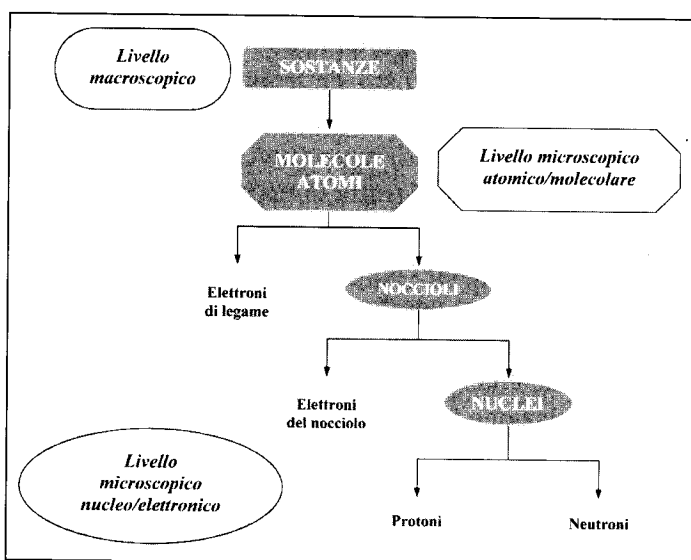


Fig. 1 La struttura gerarchica della chimica.

Gensler considera ogni trasformazione presa in considerazione dal punto di vista dei legami chimici: se si ha formazione o rottura di qualche legame (covalente, elettrostatico, intermolecolare) si è in presenza di un fenomeno chimico. Quando poi entrano in gioco gli ioni, compaiono processi quali ionizzazione, dissociazione ionica, aggregazione ionica (nella cristallizzazione) che

* Gruppo I.Ri.Di.S. (Innovazione e Ricerca per la Didattica delle Scienze) – Università di Torino

egli ritiene tutti di natura chimica; tali criteri si situano al livello microscopico nucleo/elettronico. Al contrario di Gensler, Strong considera le trasformazioni sia dal punto di vista macroscopico sia dal punto di vista microscopico, per esempio quando parla di ioni idrogeno e di ioni cloruro, oppure quando fa riferimento ai legami tra le molecole di saccarosio e acqua. Tuttavia, il criterio che egli individua come cruciale per caratterizzare una trasformazione chimica è l'invarianza dei rapporti stechiometrici; si tratta senza alcun dubbio di un criterio che coinvolge sia il livello macroscopico sia quello microscopico atomico/molecolare.

I due autori pervengono a conclusioni nettamente contrapposte. Alla fine del proprio articolo, Gensler scrive:

«Dato che la distinzione tra trasformazioni fisiche e chimiche non ha in realtà nessun significato per un individuo che incomincia a studiare la chimica – in effetti, per come è presentata abitualmente, è spesso indifendibile e fonte di confusione – perché non dimenticarla e lasciarla perdere del tutto [nei corsi di chimica di base]?». Strong ritiene invece che, se si limita l'analisi delle trasformazioni ai soli aspetti macroscopici, l'argomento può tranquillamente essere affrontato in un corso di base di chimica, perché non è troppo complesso ed è alla portata delle capacità cognitive degli studenti.

Il risvolto più interessante di questo confronto di opinioni non è tanto lo stabilire chi abbia ragione e chi abbia torto, quanto piuttosto l'affrontare l'interrogativo che viene sollevato: *È possibile che questa distinzione sia valida a un livello di concettualizzazione e non lo sia più ad un altro?* Si tratta di un interrogativo molto interessante dal punto di vista didattico. In effetti, molti studiosi sostengono che l'insegnamento e l'apprendimento delle scienze sperimentali (e quindi anche della chimica) dovrebbe iniziare dal livello dei fenomeni e passare gradualmente al livello dei modelli teorici esplicativi. La relazione tra teoria, modello e realtà empirica è rappresentata in figura 2.

Se l'insegnamento viene progettato tenendo conto di alcune idee, ormai largamente condivise, di natura epistemologica (relative ai contenuti ed alla didattica) e di natura psicopedagogica (relative all'apprendimento) si dovrebbe convenire sui seguenti punti.

1. La realtà può essere descritta e interpretata a due livelli: il livello macroscopico dei fenomeni ed il livello microscopico della teoria; il modello costituisce l'interfaccia tra la teoria e i fenomeni presi in considerazione.
2. Nell'apprendimento delle scienze sperimentali, la difficoltà maggiore sta nello stabilire relazioni pertinenti tra descrizione e interpretazione a livello macroscopico e descrizione e interpretazione a livello microscopico.

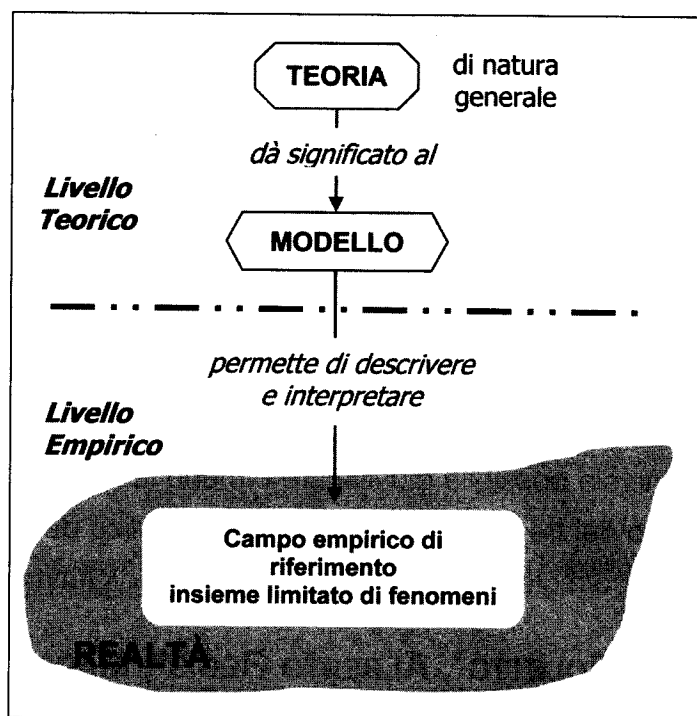


Fig. 2 Il modello come mediatore tra teoria e realtà.

L'esistenza di più livelli di descrizione e interpretazione dei fenomeni ha come conseguenza l'esigenza di distinguerli sempre nettamente, se si vuole che il discorso scientifico risulti chiaro e comprensibile. Se si tiene presente questa esigenza, a quali livelli può essere giustificata la distinzione tra trasformazione fisica e trasformazione chimica? Sulla base di quali criteri?

Per dare risposta a queste domande, prendiamo in considerazione gli stessi fenomeni citati da Gensler e analizziamoli facendo riferimento ai tre livelli interpretativi individuati nella struttura gerarchica della chimica illustrata in figura 1.

1. Cambiamenti di stato.

a. *Livello macroscopico.* La distinzione tra trasformazione fisica e trasformazione chimica può essere giustificata sulla base del criterio dell'invarianza dell'identità della o delle sostanze coinvolte nella trasformazione presa in considerazione. Questo criterio può essere enunciato in questo modo:

*Una trasformazione può essere classificata come fisica, se le sostanze coinvolte **conservano la propria identità**¹; viene invece classificata come chimica, se le sostanze coinvolte **perdono la propria identità**.*

b. *Livello microscopico atomico/molecolare.* Il modello particellare della materia cui si fa riferimento è stato illustrato in precedenti pubblicazioni [4, 5]. In tale modello non si prende in considerazione la struttura degli

atomi; questi sono considerati particelle la cui identità viene definita dalle seguenti proprietà: indivisibilità, invarianza della massa, della forma e delle dimensioni. Inoltre, le molecole sono definite come insieme di atomi di uguale o diversa specie, senza preoccuparsi della natura dei vincoli che consentono agli atomi di formare molecole e alle molecole di aggregarsi in modo più o meno compatto. Un modello così semplificato consente di affermare che, durante i cambiamenti di stato, la conservazione dell'identità delle molecole consente di interpretare la conservazione dell'identità delle sostanze. I cambiamenti di stato e i passaggi di fase sono dunque trasformazioni di tipo fisico.

c. Livello microscopico nucleoelettronico. A questo livello, la minore o maggiore distanza delle molecole tra loro implica un cambiamento dei campi energetici del sistema macroscopico: essendo diversi i legami intermolecolari, sarà modificata anche l'interazione tra gli atomi costituenti la molecola; «È questa modifica, dovuta all'interazione specifica ed unica tra gli atomi, che costituisce la molecola, che crea un ente unico e nuovo» [6]. In altre parole, la sequenza dei legami modifica gli atomi costituenti la molecola; quindi modificare i legami significa modificare gli atomi e la struttura della molecola. A maggior ragione, ciò vale quando le sostanze sono di tipo ionico: in questo caso sono presenti specie dotate di carica elettrica, la cui struttura, intesa come insieme delle interazioni con le specie contigue, può subire notevoli variazioni; per esempio, un sale fuso è in grado di condurre la corrente elettrica, mentre nello stato solido ciò non può accadere per l'impossibilità degli ioni di spostarsi e cambiare posizione all'interno del cristallo. Dobbiamo quindi considerare cambiata la struttura chimica della sostanza.

Processi di dissoluzione di solidi in liquidi e di cristallizzazione di solidi da soluzioni.

a. Livello macroscopico. Il modello empirico garantisce che le sostanze coinvolte conservano la propria identità: infatti il solvente è separabile dal soluto mediante un passaggio di stato quindi non ha mutato identità; ne conseguirebbe che anche il soluto l'ha conservata, in qualità di componente di una miscela omogenea. La trasformazione andrebbe considerata fisica.

b. Livello microscopico atomico/molecolare. Questo modello prevede che le unità chimiche non si dividano, ma vengano solo separate e allontanate le une dalle altre dalle molecole di solvente. Come nel caso precedente, la conservazione dell'identità delle molecole consente di interpretare con efficacia la conservazione dell'identità delle sostanze. Questi processi andrebbero dunque classificati come trasformazioni fisiche.

c. Livello microscopico nucleoelettronico. Come detto in precedenza, a questo livello viene introdotto il concetto di ione: questo modello presuppone che le unità chimiche costituenti una sostanza ionica debbano mutare la loro struttura interagendo con il solvente al punto da creare nuove specie complesse. In modo differente, ma tale da cambiare le interazioni tra gli atomi e quindi la struttura molecolare, si comportano anche le unità chimiche considerate non ioniche, come ad esempio le molecole degli zuccheri. A questo livello, la trasformazione andrebbe considerata chimica.

Processi di rottura di un solido in due pezzi.

a. Livello macroscopico. Rompendo un corpo solido, si ottengono due corpi solidi chimicamente identici; l'identità delle sostanze non varia. La trasformazione deve ritenersi fisica.

b. Livello microscopico atomico/molecolare. Questo modello prevede che le unità chimiche non si dividano, ma possano essere solo separate e allontanate le une dalle altre. Così dovrebbe avvenire durante la rottura, tanto più che questo modello non prevede che il bordo di un corpo solido sia costituito da unità chimiche differenti da tutte le altre che compongono il corpo. Il processo dovrebbe dunque essere considerato fisico.

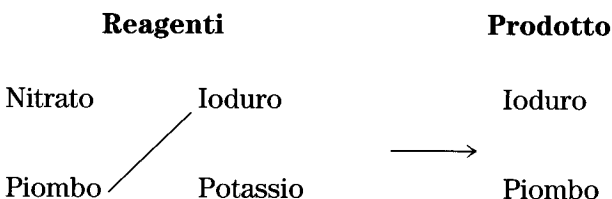
c. Livello microscopico nucleoelettronico. Le unità chimiche di un corpo solido che si trovano sulle superfici di contatto con altri corpi vengono considerate differenti, poiché sono sottoposte a campi energetici differenti da quelle interne al corpo: la struttura molecolare è quindi diversa. Quando si produce una rottura, alcune unità chimiche situate all'interno del corpo vengono a trovarsi sulla superficie esterna e quindi dovrebbero mutare la loro struttura molecolare. In base a queste considerazioni, le unità chimiche situate sul bordo della rottura subirebbero una trasformazione chimica.

In base alle considerazioni svolte, riteniamo non sia necessario fare riferimento ai criteri proposti da Strong per discriminare tra trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche, poiché esiste un criterio macroscopico sicuramente comprensibile dagli studenti del primo anno delle scuole secondarie di secondo grado e anche da quelli del terzo anno della scuola secondaria di primo grado. Si tratta della possibilità di assegnare un'identità alle sostanze in base a criteri esclusivamente empirici facendo riferimento a grandezze misurabili sperimentalmente. Nelle trasformazioni fisiche questa identità viene conservata, mentre nelle trasformazioni chimiche si verifica una discontinuità, poiché le sostanze prodotte hanno identità diversa da quella delle sostanze reagenti.

Questo criterio è efficiente e efficace anche a livello microscopico atomico molecolare: in questo contesto a conservare la propria identità in una trasformazione fisica sono gli atomi e le molecole, mentre in una trasformazione chimica gli atomi conservano la propria identità, ma le molecole la perdono. Esiste un criterio più raffinato per le reazioni chimiche? Non solo la sostanza perde la propria identità; si formano sostanze nuove. Che relazione esiste tra queste sostanze e quelle di partenza? L'identità dei prodotti dipende da quella dei reagenti. Il livello microscopico atomico molecolare ci consente di affermare che le molecole (unità chimiche delle sostanze) cambiano, poiché gli atomi che le costituiscono si ricombinano formandone di nuove. Queste sono idee che risultano comprensibili agli studenti di un corso di base di chimica se presentate in modo adeguato. Ad esempio, nelle sperimentazioni effettuate in numerose classi, sono risultate molto adatte per affrontare il problema due reazioni particolarmente spettacolari: la reazione di combinazione del gas ammoniacca con il gas cloruro d'idrogeno e la reazione tra ioduro di potassio e nitrato di piombo a secco. Nel primo caso, dalla combinazione di due sostanze reagenti gassose si ottiene un solido bianco sotto forma di polvere fine (il cloruro di ammonio). Il modello verbale della reazione

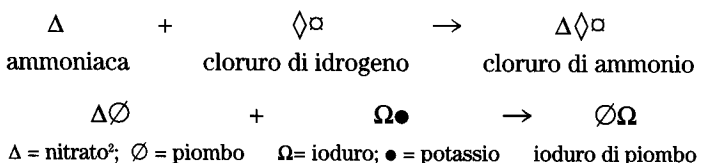
cloruro di idrogeno+ammoniaca → cloruro di ammonio evidenzia chiaramente che l'identità del prodotto dipende dall'identità dei reagenti.

Nel secondo caso, mescolando e pestando con un pestello le due polveri bianche in un mortaio, la reazione a secco dà origine a una sostanza gialla che, a differenza dei reagenti, è insolubile in acqua. Rappresentando la reazione con il modello verbale, si ha:



Anche in questo caso, il modello verbale rende molto bene l'idea che l'identità del prodotto di reazione dipende dall'identità dei reagenti, risultando dalla combinazione di due parti provenienti ognuna da una delle sostanze di partenza.

Inoltre è possibile tradurre il modello verbale in un modello iconico semplificato di primo livello:



Se si procede in questo modo, la distinzione tra trasformazione fisica e trasformazione chimica è pienamente giustificata sia a livello macroscopico sia a livello microscopico atomico/molecolare: nella trasformazione fisica la sostanza conserva la propria identità e quindi la propria composizione chimica, mentre questo non avviene nella trasformazione chimica. Passando al livello microscopico nucleoelettronico in cui entrano in gioco i legami covalenti, elettrostatici, intramolecolari e intermolecolari, in molti casi la distinzione non sarà più possibile. Questo però non è un paradosso per la scienza, né un trauma per lo studente purché quest'ultimo sia stato educato in modo adeguato dal punto di vista epistemologico. Questo significa che dovrebbe essere formato all'uso dei modelli, di cui dovrebbe conoscere le potenzialità ed i limiti.

Possiamo riassumere queste considerazioni nella seguente tabella, dalla cui lettura risulta evidente che la distinzione tra trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche trovi plausibilità e giustificazione ai livelli macroscopico e microscopico atomico/molecolare. I modelli di descrizione e interpretazione della materia che definiscono il livello microscopico nucleoelettronico non consentono invece questa distinzione, poiché individuano sempre cambiamenti di tipo chimico.

TRASFORMAZIONI FISICHE	TRASFORMAZIONI CHIMICHE
Livello macroscopico	
L'identità della sostanza, o delle sostanze, si conserva.	L'identità della sostanza, o delle sostanze, non si conserva.
Livello microscopico atomico/molecolare	
L'identità delle unità chimiche (molecole, atomi) si conserva.	L'identità delle unità chimiche (molecole) non si conserva; gli atomi, invece, la conservano ricombinandosi tra loro in modo diverso.
Livello microscopico nucleoelettronico	
	L'identità delle unità chimiche (molecole, atomi, ioni, ecc.) non si conserva, poiché qualunque trasformazione della materia comporta variazioni nelle interazioni tra gli atomi costituenti tali unità, in altre parole la loro struttura (6) cambia.

Conclusione

In alcuni casi sembra difficile interpretare un certo fenomeno ricorrendo solo a due categorie: trasformazione fisica e trasformazione chimica. Ad esempio, nell'ultima citazione riportata nell'introduzione (n. 12), l'autore propone, per interpretare la formazione delle soluzioni, una terza categoria: quella delle trasformazioni *fisico-chimiche*, cioè fenomeni che sono nello stesso

tempo fisici e chimici; egli è costretto a fare ciò, poiché si limita a concettualizzare i fenomeni solo a livello macroscopico, facendo unicamente riferimento alla complessità delle operazioni necessarie per ristabilire le condizioni di partenza. Però si dimentica che, di per sé, i fenomeni non sono né chimici né fisici, essi sono e si realizzano indipendentemente dalle nostre idee; sono le descrizioni e le interpretazioni degli scienziati, proposte a partire da certi modelli di riferimento, che portano a considerarli come eventi fisici o chimici. Se cambia il modello, cambia il modo di concepire il fenomeno, pur essendo questo sempre lo stesso. Quindi, a livello macroscopico e microscopico atomico-molecolare le soluzioni sono descritte e interpretate come trasformazioni fisiche, mentre a livello microscopico nucleo-elettronico sono descritte e interpretate come trasformazioni chimiche.

Al fine di pensare e praticare una prassi didattica accorta e corretta, è necessario tenere conto delle indicazioni che la riflessione epistemologica pone a disposizione degli insegnanti. Chiedersi cosa sia opportuno che gli studenti apprendano a diversi livelli di scolarità, significa individuare quali argomenti debbano affrontare e quali significati debbano costruire, ossia quali concetti debbano acquisire; infatti, l'obiettivo è condurre gli studenti ad acquisire ed utilizzare in modo pienamente consapevole i modelli che la scienza mette a loro disposizione. La costruzione di significati è certamente connessa con la costruzione di modelli scientifici, consoni alle potenzialità cognitive di chi apprende, mediante i quali descrivere e interpretare eventi empirici. Per quanto riguarda la distinzione tra trasformazione fisica e trasformazione chimica, siamo d'accordo con Strong nel ritenere che la distinzione debba essere mantenuta per ragioni di natura epistemologica e didattica: la chimica è nata e si è sviluppata proprio grazie allo studio ed all'utilizzazione delle reazioni nei processi di analisi e di sintesi. Quando affrontare tale problema con gli studenti? È nostra convinzione che nella scuola secondaria di primo grado, esso vada introdotto a livello macroscopico; dato che la distinzione tra i due tipi di trasformazione si basa sul concetto di sostanza è necessario che gli allievi abbiano già costruito questo concetto, sia a livello macroscopico (corpo caratterizzato da un insieme di proprietà empiriche specifiche: temperatura di fusione, temperatura di ebollizione, densità, ecc.) sia a livello microscopico (corpo costituito da particelle che sono tutte dello stesso tipo).

Nell'ambito della scuola secondaria di secondo grado e a livello di chimica di base, gli studenti possono pervenire a distinguere i due tipi di trasformazione a due livelli: quello macroscopico e quello microscopico atomi-

co/molecolare. Soltanto nel caso in cui la chimica venga studiata più in profondità, ad esempio negli indirizzi di tipo scientifico/tecnologico, sarà possibile spingersi fino al livello microscopico nucleoelettronico. In questo caso, la distinzione che è giustificata ai due livelli precedenti, viene a cadere. Si tratta di una situazione che si presta ad una riflessione di natura epistemologica sui modelli e sulle rappresentazioni della realtà che ne conseguono. Come sostiene Strong nella conclusione del proprio articolo, la strategia dell'insegnamento potrebbe essere basata sull'analisi dei due tipi di trasformazione ai vari livelli gerarchici della chimica; tale analisi dovrebbe essere sviluppata progressivamente, in modo che gli studenti possano comprendere a fondo la natura del problema e le sue implicazioni epistemologiche, rendendosi conto delle potenzialità e dei limiti dei modelli interpretativi ai quali si fa ricorso.

Ezio Roletto

*Scuola di Specializzazione per Insegnanti
della Scuola Secondaria – Università di Torino*

Alberto Regis, Marco Ghirardi

ITIS Quintino Sella - Biella



1. Ogni sostanza, così come si presenta in condizioni stabilite (di temperatura e di pressione), è dotata di proprietà fisiche e chimiche peculiari che ne definiscono l'identità. Per esempio la composizione chimica, la densità e l'indice di rifrazione, la durezza e la solubilità; altre caratteristiche che consentono di individuare l'identità di una sostanza fanno riferimento a valori costanti che assumono certe grandezze in opportune condizioni di cambiamento, per esempio le temperature di fusione e di ebollizione.

2. A questo punto del percorso didattico si preferisce rappresentare il gruppo nitrato come se fosse un atomo solo: meglio affrontare un problema alla volta; le attività successive daranno ragione della conservazione di interi gruppi di atomi nelle reazioni chimiche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J.W. Gensler, *Physical versus Chemical Change*, J. Chem. Educ., 47, 1970, pp. 154-155.
- [2] L.E. Strong, *Differentiating Physical and Chemical Changes*, J. Chem. Educ., 47, 1970, pp. 689-690.
- [3] W.B. Jensen, *Logic, History and the Chemistry Textbook*, J. Chem. Educ., 75, 1998, pp. 817-828.
- [4] E. Roletto, P.G. Albertazzi, A. Regis, *Le attività di modellizzazione nell'educazione alle scienze - parte prima: sistemi e modelli* – CnS (Chimica nella scuola), 1, 1996, pp. 14-18.
- [5] E. Roletto, P.G. Albertazzi, A. Regis, *Le attività di modellizzazione nell'educazione alle scienze - parte seconda: il modello particellare* – CnS (Chimica nella scuola), 2, 1996, pp. 37-47.
- [6] G. Villani, *Struttura molecolare: storia, prospettive e problemi*, CnS (Chimica nella scuola), 3, 2006, pp. 126-135.