

## Analisi dello sviluppo del concetto di trasformazione nel periodo della scuola elementare

### Riassunto

Dopo una primo esame in chiave didattica del concetto di trasformazione, vengono presentati i risultati di un'indagine svolta presso allievi di scuola elementare. I risultati, peraltro non interpretabili su base statistica, evidenziano un buon livello di comprensione del concetto fino dall'età di 5 - 6 anni. Verso la fine della scuola elementare (10 - 11 anni) compaiono idee errate dovute principalmente all'applicazione rigida di definizioni trovate su testi scolastici.

### Abstract

**Analysis of the development of the transformation concept at the elementary school level.**

After a first didactic analysis of the transformation concept, we present the results of a research about the acquisition of the concept by elementary school pupils. These results cannot be read by a statistical point of view, but they show a good level of understanding of the concept also by 5 - 6 years old pupils. At the end of elementary school (10 - 11 years old pupils) we find misconceptions mainly produced by a strict application of textbook definitions.

### 1. Introduzione

Il concetto di trasformazione è uno di quelli che più risultano trasversali a tutta l'area scientifica; su questo concetto è opportuno che venga svolto un lavoro didattico importante fino dai primi livelli scolastici.

E' un dato di fatto che le trasformazioni possano essere suddivise in categorie diverse; d'altra parte è opinione dell'autore di questa nota che,

---

PIERLUIGI RIANI (\*)

---

almeno per un lungo periodo iniziale che comprenda tutto il livello dell'attuale scuola elementare, la distinzione non debba costituire un punto chiave per l'insegnamento-apprendimento. Si può invece osservare in moltissimi libri di testo, a partire dai sussidiari per il secondo ciclo della scuola elementare, una forte propensione verso il "distinguo": ecco quindi le trasformazioni fisiche, quelle chimiche, a volte quelle biologiche. Quale senso può avere, in allievi di 8 - 11 anni, una distinzione del genere? Probabilmente le finalità che vengono poste sono lodevolissime; il risultato però è inequivocabile: quello di spostare l'attenzione del discente dal concetto generale a certe sue connotazioni particolari, spesso prive di qualsiasi base concreta e quindi totalmente al di fuori dell'effettiva accessibilità per la fascia di età che ci interessa.

Il lavoro che viene qui presentato è articolato in due parti distinte. Nella parte iniziale viene presentata un'analisi del concetto di trasformazione, analisi che ha lo scopo di mettere in evidenza come alcuni punti dati spesso per scontati non siano per niente chiari; successivamente vengono presentati i risultati di un'indagine, condotta su allievi di scuola elementare, riguardante l'acquisizione del concetto di trasformazione. I risultati sono riportati in modo totalmente qualitativo; questa posizione risponde a due convinzioni dell'autore:

- Prima di tutto non è corretto attribuire un qualsiasi carattere statistico a rilevazioni condotte su campioni relativamente esigui, scelti senza alcun criterio che non sia quello della pura e semplice disponibilità, e in più appartenenti alla stessa area geografica.

- Secondariamente, anche la più efficace delle rilevazioni, compiuta su un campione esteso e ben scelto può essere variata in modo significativo da un gran numero di eventi: basta ad esempio una trasmissione televisiva di successo che, anche in modo indiretto, tocchi l'argomento (1).

I dati ottenuti sono limitati alla scuola elementare; possono però fornire una buona base di riflessione didattica anche per la scuola media.

### 2. Analisi del concetto di trasformazione.

Partendo da un punto di vista generale, possiamo affermare quanto segue:

*Se, attraverso due osservazioni successive condotte su un sistema, viene evidenziata una qualsiasi variazione, allora nel sistema in esame è avvenuta una trasformazione.*

Devono essere sottolineati i punti seguenti:

- In questo modo si prende in considerazione qualsiasi tipo di trasformazione del sistema, anche il semplice spostamento di un oggetto al suo interno;

- L'osservazione non può riguardare solo la morfologia. Il sistema, da un punto di vista "fotografico", può essere rimasto identico: basta, ad esempio, che ci sia stata una variazione di temperatura.

Il concetto di trasformazione che abbiamo introdotto è di tipo macroscopico; a livello molecolare, due osservazioni evidenziano per forza una trasformazione, a meno che non ci si trovi alla temperatura di 0 K.

Se puntiamo l'attenzione sui materiali che costituiscono il nostro sistema, alcune trasformazioni sono caratterizzate da un cambiamento in questi materiali, altre no. Ad esempio, abbiamo modificazione dei materiali componenti per un cambiamento di stato fisico, mentre questo non si verifica per un semplice spostamen-

48 (\*) Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale  
Università degli Studi di Pisa  
e-mail: riani@cci.unipi.it

to di un oggetto all'interno di un sistema. Da un punto di vista chimico, hanno interesse le trasformazioni che implicano mutamenti nei materiali che costituiscono il sistema; poco importa se si tratta di vere e proprie reazioni chimiche oppure di trasformazioni di altro tipo come passaggi di stato fisico o formazione di miscele omogenee.

E' possibile stabilire una linea di demarcazione fra le trasformazioni chimiche e le trasformazioni che chimiche non sono? Le strade seguite dai libri di testo sono, più o meno, sempre le stesse.

- Molto di frequente ci si rifà a non meglio specificati "cambiamenti di composizione del sistema", ovvero a "cambiamenti nelle sostanze che costituiscono il sistema". Su questo tipo di approccio si è già intervenuti più volte, per sottolineare come sia assurdo sostenere, ad esempio, che lo zucchero disciolto in acqua è la stessa sostanza rispetto allo zucchero solido.

- Un'altra via apprezzata si fonda sull'applicazione del modello particellare della materia: si ha trasformazione chimica quando cambiano in qualche modo le molecole che costituiscono il sistema. E' una via che ha un suo indiscutibile fascino, ma che è fortemente criticabile in quanto a) per un fenomeno macroscopico come una trasformazione fa riferimento esclusivamente al modello microscopico, b) tende a introdurre una troppa stretta relazione fra molecola e proprietà macroscopiche, veicolando in qualche modo l'assurda definizione secondo la quale una molecola è la più piccola particella di una sostanza che ne conserva tutte le proprietà (2)

- Un aspetto molto "gettonato" è quello dell'irreversibilità (3); l'esempio della combustione di un pezzo di legno è sicuramente ben calzante.

Al contrario, alle trasformazioni fisiche vengono generalmente attribuite le caratteristiche di non modificare la composizione del sistema, di non modificare le molecole che costituiscono il sistema, di essere reversibili. Chiunque esamini a fondo queste definizioni, vede che ci sono numerosi esempi di conferma, ma anche numerosi controesempi che non quadrano. Il problema (che, per lo scrivente, resta in buona parte aperto) è di capire se, da un punto di vista didattico, debbano prevalere gli esempi o i controesempi. Vediamo e commentiamo

alcuni dei casi più significativi.

- La formazione di miscela omogenea è in genere classificata come fenomeno fisico. Dal punto di vista del "non cambiamento delle sostanze costituenti" abbiamo già detto; da punto di vista della reversibilità le cose vanno bene, in quanto la separazione dei componenti è generalmente possibile. Dal punto di vista della struttura particellare, a volte le cose possono andare abbastanza bene (vedi la formazione di una soluzione acquosa di zucchero), ma molto spesso non vanno bene affatto (vedi la formazione di una soluzione ionica).

- Il viraggio di colore di un indicatore acido - base è visto come trasformazione chimica. Ci sono senz'altro cambiamenti delle sostanze componenti, cambiamenti che si riflettono a livello molecolare; d'altra parte il fenomeno è reversibile.

- La macinatura di un cereale per farne farina è una trasformazione fisica (4), alla quale non si accompagnano cambiamenti delle sostanze costituenti né a livello macroscopico, né a livello molecolare; si tratta però di un fenomeno irreversibile.

E' quindi chiaro che qualsiasi tentativo di identificare una separazione netta fra trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche è destinato all'insuccesso. D'altra parte i due concetti di cui stiamo parlando sono ben presenti nella pratica didattica, per cui la loro cancellazione è eccessiva; risulta più opportuna una posizione di compromesso, che può essere così espressa:

- Vi sono trasformazioni nelle quali la composizione del sistema subisce una modificazione evidente, non dovuta esclusivamente a cambiamenti di stato fisico o formazione di miscele omogenee: sono le "trasformazioni chimiche" (5).

- Vi sono altre trasformazioni nelle quali è assolutamente chiaro che non sono avvenute modificazioni nella composizione del sistema; queste trasformazioni le chiamiamo "trasformazioni fisiche".

- Vi sono infine trasformazioni sulle quali non è facile (e forse non è proprio possibile) pronunciarsi in modo univoco. Si tratta in altri termini di trasformazioni che presentano qualche caratteristica "chimica" e qualche caratteristica "fisica", e per le quali è inutile cercare un'attribuzione completamente soddisfacente.

Tutte queste considerazioni sono

valide, ovviamente, per livelli scolastici piuttosto avanzati; una classificazione così problematica non è alla portata di allievi di scuola di base e, soprattutto, rischia di non suscitare il benché minimo interesse. Per la scuola di base è opportuno far riferimento al concetto di trasformazione senza etichette, fissando casomai l'attenzione non solo al "prima" e al "dopo", ma anche al "durante".

### 3. L'indagine: modalità del rilevamento dei dati

I dati utilizzati per il presente lavoro sono stati rilevati su un campione di circa 300 allievi, scelto solo in base alla disponibilità, in zone ristrette facenti parte della provincia di Lucca. La rilevazione è stata compiuta dagli insegnanti, senza intervento diretto dell'autore; questa scelta è stata determinata dal fatto che la presenza di una persona estranea all'ambiente produce spesso negli allievi atteggiamenti che risultano negativi per il buon esito del lavoro. Il metodo seguito è stato quello delle interviste collettive, con gruppi di 4 - 6 allievi. Ogni intervista è stata divisa in due parti: nella prima veniva posta una domanda generica (del tipo "che cosa è, secondo te, una trasformazione?"), nella seconda si chiedeva di dire se alcuni fatti che venivano presentati costituivano o no una trasformazione. Elenco completo:

- 1) Un bambino fa una passeggiata;
- 2) Un bicchiere casca e si rompe;
- 3) Cuociamo una fetta di carne;
- 4) Leggiamo un libro;
- 5) Un pezzo di legno brucia.

Al termine delle discussioni l'insegnante ha introdotto i dovuti chiarimenti riguardo al concetto di trasformazione.

Dopo un certo tempo (da due a tre settimane) gli allievi sono stati posti di fronte a un fenomeno effettivo, il discioglimento in acqua di un certo quantitativo di zucchero; è stato loro chiesto di descrivere ciò che osservavano e di stabilire se il fenomeno costituiva o no una trasformazione. Il lavoro era svolto in modo collettivo, ma le domande erano individuali.

Breve commento. Un lavoro di tipo scritto è stato scartato per le seguenti ragioni:

- Gli allievi delle prime classi hanno difficoltà di scrittura, e questa difficoltà costituisce un serio ostacolo alla formulazione delle risposte;

- Gli allievi delle classi del secondo

ciclo (dalla terza alla quinta) potrebbero essere in grado di rispondere a domande aperte ma, a parte le difficoltà di espressione, molto spesso le risposte sarebbero difficilmente decifrabili (6);

- Per le domande a scelta multipla, gli allievi non scrivono ciò che effettivamente pensano, ma devono scegliere fra quattro risposte suggerite da chi costruisce il questionario; i risultati non sono quindi del tutto attendibili. L'intervista individuale presenta un difetto fondamentale: a meno che l'intervistatore non sia in possesso di un buon livello di professionalità in campo psicologico, da molti allievi non si riesce a tirare fuori assolutamente nulla di non banale. Oltre a questo (e, viste le modalità nelle quali si svolge il lavoro, non si tratta di un problema da poco), i tempi richiesti si allungano terribilmente.

Resta l'intervista collettiva, per la quale i vantaggi non sono pochi:

- Se, volta per volta, si procede con un numero limitato di allievi (da 4 a 6), il lavoro viene gestito facilmente e abbastanza rapidamente;

- La presenza di coetanei è di stimolo per l'espressione verbale del proprio pensiero;

- La comparsa di un'idea fa spesso da catalizzatore per la comparsa di idee ulteriori;

- Molto spesso, soprattutto fra gli allievi del secondo ciclo, si instaurano vere e proprie discussioni nelle quali le idee espresse vengono apertamente confrontate.

Non vi sono però solo vantaggi: diversi problemi sono in agguato. Prima di tutto c'è la questione dei leader, allievi che impongono le proprie posizioni impedendo l'ulteriore discussione; fra l'altro, la leadership è in genere perfettamente accettata dai sottoposti. Un altro grave inconveniente è provocato da input esterni: se un allievo fa riferimento a una qualsiasi cosa di successo (televisivo o commerciale), tutti gli altri vanno dietro e dalla discussione non si tira fuori più nulla di significativo. Il caso dei "transformers" dei quali si è già parlato nella nota 1 è stato uno dei più vistosi, ma non l'unico.

E' utile che l'insegnante prenda appunti durante le discussioni, ma è anche indispensabile registrare tutto su cassetta magnetica. La sbobinatura delle registrazioni è lunga e laboriosa, ma è il solo metodo per evitare che il filtro effettuato più o meno in-

consciamente dall'insegnante si traduca in una selezione preventiva.

Infine, il lavoro "sperimentale": le finalità sono due, quella di rilevare la persistenza, dopo un certo tempo, delle idee eventualmente introdotte (eventualmente: la maggioranza degli allievi ha dimostrato di possedere già idee ben radicate), e soprattutto quella di rilevare la persistenza, anche di fronte a un'osservazione diretta, di eventuali idee preconcrete.

#### 4. Evoluzione del concetto di trasformazione nella scuola elementare.

Prima osservazione: nei casi esaminati, il concetto di trasformazione è abbastanza chiaro anche per gli allievi della classe prima (6 - 7 anni). Per quanto già detto, non sono permesse generalizzazioni; d'altra parte alcune prove condotte fuori della zona dell'indagine tendono a confermare il dato. Un lavoro condotto presso alcune sezioni di scuola materna ha dato i seguenti risultati:

- per gli allievi di 5 anni la situazione è simile a quella della scuola elementare;

- per gli allievi di 4 anni si ha un netto cambiamento: il concetto appare o sconosciuto o estremamente nebuloso (7).

Possiamo quindi affermare che è abbastanza inopportuno procedere, nella scuola elementare, a definizioni più o meno formali: il concetto c'è, ed è quindi inutile procedere su una strada che rischia solo di confondere le idee agli allievi.

I dati a disposizione mostrano un'evoluzione evidente del concetto, anche se non c'è un'omogeneità completa; cominciamo con le risposte alla domanda aperta (8). Molto a grandi linee possiamo suddividerle in tre categorie: 1) trasformazioni vere e proprie, 2) trasformazioni di tipo magico (con intervento esplicito o implicito di maghi o simili), 3) trasformazioni che si collocano fuori della logica "adulta", per le quali cioè non si può trovare alcun nesso fra oggetto prima e dopo la trasformazione. Fanno parte dell'ultima categoria le risposte di cui alla nota 7. Le risposte della prima categoria possono a loro volta essere distinte in due sottocategorie: quelle riguardanti il mondo vivente (il bruco che diventa farfalla, il seme che diventa pianta ecc.) e quelle che riguardano il mondo non vivente (poz-zanghere che si asciugano, variazioni climatiche ecc.).

- Nelle prime due classi le risposte sono alquanto difficoltose. La tipologia è abbastanza equamente suddivisa nelle tre categorie, per cui si ha una notevole percentuale per il tipo magico; al riguardo si manifesta comunque una certa tendenza alla diminuzione già fra le classi prima e seconda. In questo raggruppamento di età, le risposte del tipo "fuori logica" appaiono provocate più che altro dalle richieste dell'insegnante: in certi casi, infatti, la pressione esercitata produce uno sforzo di inventiva, in certi altri produce invece una risposta purchessia (che comunque evidenzia, al di là di ogni ragionevole dubbio, l'acquisizione del concetto di trasformazione).

- Successivamente le risposte diventano più "fluide" e meno forzate (9). Il peso delle risposte di tipo "magico" diminuisce rapidamente, e in classe quinta è ormai molto ridotto (anche se non del tutto insignificante). Si osserva, anche se con percentuali che non consentono nessuna certezza, una certa riduzione delle risposte fuori logica per le classi terza e quarta; la ripresa che si verifica in quinta è probabilmente dovuta a quanto esposto nella nota 7.

- In tutti i livelli di età sono presenti numerose risposte della prima categoria, sottocategoria mondo vivente. Nelle prime classi la connotazione è molto spesso di tipo affettivo (il mio gattino era piccolo, poi è cresciuto ed è diventato grande); successivamente diventano nettamente prevalenti le risposte di tipo più scientifico, spesso relative alle metamorfosi degli animali e allo sviluppo delle piante (10).

- Le risposte riguardanti il mondo non vivente sono presenti in numero molto minore; i riferimenti più frequenti sono relativi ai fenomeni atmosferici (del tipo "ieri pioveva, oggi c'è il Sole) e alle variazioni stagionali ("ora fa caldo, mentre in inverno fa freddo"). Poniamo ora l'attenzione sugli aspetti che interessano maggiormente da un punto di vista chimico, analizzando le risposte date alle domande dirette sulla sequenza di fenomeni. L'effetto del procedere dell'età è piuttosto strano, anche se non del tutto imprevedibile: mentre nelle prime classi il concetto di trasformazione è visto in modo lineare, dopo qualche tempo hanno inizio quelle che possono essere chiamate le "contorsioni mentali" (11).

Nelle classi prima e seconda, la precisione è a volte stupefacente: elevatissime percentuali (in certi gruppi si raggiunge la totalità) di attribuzione del termine trasformazione agli eventi 2 (rottura del bicchiere), 3 (cottura della carne) e 5 (combustione del legno), mentre la 1 (passeggiata) e la 4 (lettura di un libro) non costituiscono trasformazione. Le motivazioni delle risposte sono varie, ma generalmente plausibili.

Nelle classi successive le risposte si diversificano. L'attribuzione della combustione del legno non varia (attenzione: si tratta di un esempio presente in molti libri di testo); in compenso varia tutto il resto. Vediamo alcune spiegazioni fornite dagli allievi:

- Una passeggiata è una trasformazione: durante di essa si cresce, ci si rinforza, può cambiare il tempo atmosferico; si può partire di giorno e tornare di sera.
- La rottura di un bicchiere non è una trasformazione: il vetro è sempre vetro.
- La cottura della carne non è una trasformazione: la carne è sempre carne. Questa risposta è comunque data in percentuale molto bassa.
- La lettura di un libro è una trasformazione, sia per il lettore (che ha imparato qualcosa), sia per il libro (che si è sciupato)

Da sottolineare, comunque, che l'attribuzione più lineare costituisce sempre la componente maggioritaria.

E' interessante il caso della rottura del bicchiere, che evidenzia come alcuni allievi pongano l'attenzione più sul materiale componente che sulla struttura dell'oggetto. Per la cottura della carne il discorso non può essere lo stesso: i pochi allievi che dichiarano che non si tratta di una trasformazione non tengono evidentemente conto dell'evidenza morfologica, e prendono probabilmente in considerazione solo l'aspetto linguistico (il materiale che osserviamo si chiama sempre carne).

Terminiamo con l'esame dei risultati dell'indagine svolta sul dato sperimentale costituito dal discioglimento di un cucchiaino di zucchero in un bicchiere d'acqua. I risultati confermano almeno in parte quanto è stato visto per l'indagine precedente; abbiamo però anche qualche caso evidente che denuncia l'origine di certi errori.

Gli allievi delle classi prima e seconda

descrivono il fenomeno che osservano, ponendo l'attenzione su aspetti che secondo l'opinione "adulta" possono apparire poco importanti, ma che sono sicuramente osservabili: lo zucchero va a fondo, fa le bollicine, si scioglie (con il verbo "sciogliere" si riassume tutta la terminologia locale) e così via. In genere, fra l'altro, la descrizione è perfettamente pertinente a quanto viene osservato: mancano quindi constatazioni ovvie del tipo "l'acqua è diventata dolce". Alla domanda diretta "Si tratta di una trasformazione o no?" la risposta è pressoché unanime per il sì.

Nelle classi successive, e particolarmente in quinta, compaiono le idee preconette. Per la maggioranza degli allievi non ci sono differenze rispetto alle prime due classi, se non per l'accuratezza della descrizione del fenomeno (accuratezza che diminuisce con il crescere dell'età); vi sono però alcuni allievi per i quali ciò che viene osservato non ha alcuna importanza in quanto, evidentemente, il fenomeno è già noto. In questi casi la descrizione del fenomeno si limita principalmente a due aspetti: lo zucchero si è sciolto (effettivamente osservato) e l'acqua è diventata dolce (in realtà non è stato effettuato nessun assaggio).

Qualche problema deriva dalla scelta fra trasformazione o meno (attenzione: non si chiede se si tratta di una trasformazione chimica!). Per la maggioranza degli allievi la risposta è affermativa, mentre per una minoranza non insignificante il discioglimento dello zucchero non costituisce una trasformazione, in quanto "lo zucchero è sempre zucchero". Ci troviamo evidentemente di fronte a uno dei risultati che possono derivare dall'operazione di spostare l'attenzione dal concetto di trasformazione alla categorizzazione dello stesso concetto: la categorizzazione (in questo caso per la voce "trasformazione chimica") prende il sopravvento e si sovrappone al concetto generale.

A titolo di curiosità, riportiamo un episodio che può dirla lunga sui danni che possono derivare da un apprendimento schematico troppo precoce. Nella generalità dei casi, anche gli allievi che hanno in prima battuta risposto che il discioglimento dello zucchero non costituisce una trasformazione cambiano opinione dopo un minimo di contestazione. Invece un allievo (considerato particolarmente

dotato) aveva fissato totalmente l'idea che lo zucchero non subisce trasformazioni e continuava quindi a sostenere che non si trattava di una trasformazione. L'insegnante si è trovato di fronte a una replica del seguente tipo: nel discioglimento lo zucchero non cambia in quanto le molecole sono sempre le stesse; quanto alla presenza di una sostanza solida prima del discioglimento, si tratta di un fatto privo di importanza in quanto possiamo recuperare la stessa sostanza solida evaporando l'acqua. Nota bene: si è appurato che lo stesso allievo aveva "approfondito" la questione su un testo di scuola media che basava la distinzione fra fenomeno fisico e fenomeno chimico proprio sul livello molecolare e sulla reversibilità.

## 5. Conclusioni

Le conclusioni non sono molte, e dovrebbero anche essere scontate; purtroppo la pratica didattica normale dice proprio che troppo spesso si va proprio nella direzione opposta a quella più logica. Vediamo punto per punto:

- Se si parte dalle definizioni, è chiaro che si corre il rischio di togliere significatività al lavoro di osservazione e di sperimentazione, a favore di categorizzazioni più o meno forzate. Occorre capire che, nei livelli scolastici inferiori, una categorizzazione costituisce un'operazione che può distogliere da altre operazioni didatticamente e concettualmente più utili. In conclusione, una definizione può servire unicamente come quadro unificante al termine del lavoro su un certo segmento didattico.

- Il procedimento di osservazione deve essere introdotto in modo graduale, senza forzature evidenti in ciò che viene osservato; in termini più chiari, il docente non deve pretendere che le osservazioni degli allievi siano uguali a quelle di un adulto.

- Non è necessario indurre gli allievi a seguire un metodo logico e sperimentale per trarre le loro conclusioni: lo fanno già benissimo da sé, anche se la logica è diversa da quella adulta. Nel lavoro scolastico si dovrebbe invece avere la massima cura nell'evitare di sostituire questa funzionale predisposizione con un metodo basato sulle definizioni verbali e su ciò che si è imparato, metodo che ha come conseguenza l'adattamento forzato del lavoro sperimentale a ciò che

“deve” essere ottenuto.

- Non è opportuno procedere sempre, nel lavoro sperimentale, con materiali con i quali gli allievi hanno familiarità: la preconsocenza può infatti abbassare l'interesse e la motivazione, producendo conclusioni banali e scontate. Se per un allievo delle prime classi può avere interesse anche il semplice fenomeno di discioglimento dello zucchero in acqua, per gli allievi più grandi è meglio utilizzare sostanze diverse, possibilmente colorate, magari con un contorno “scientifico” (vetreria da laboratorio, barattoli per prodotti chimici) che non altera minimamente le caratteristiche dell'esperienza, ma contribuisce in modo notevole a tener desta l'attenzione.

### Bibliografia e note

1) A titolo di esempio al riguardo, in una rilevazione di alcuni anni fa, le risposte erano state totalmente monopolizzate da una trasmissione televisiva con annessi giocattoli di larghissima diffusione: i “Transformers”. Traccia di questo permane tuttora, ma almeno il numero di risposte relative a detti oggetti non raggiunge valori tali da inficiare tutta l'indagine.

2) Vedi ad esempio Ben-Zvi, R., Eylon, B. S., Silberstein, J., *J. Chem. Educ.* **63**, 64 (1986)

3) E' evidente che i termini “reversibile” e “irreversibile” hanno, in questo contesto, un significato abbastanza vago (anche se perfettamente valido da un punto di vista didattico), puntato sulla possibilità di riottenere, con mezzi semplici (?) lo stato di partenza. Nessun collegamento, quindi, con il significato termodinamico.

4) Attenzione a distinguere fra “trasformazione fisica” e “cambiamento di stato fisico”.

5) In tutto questo c'è alla base un difetto logico: stiamo cercando di definire una trasformazione chimica dando per scontato che si possa dire quando c'è una modificazione nella composizione chimica del sistema; in altri termini c'è trasformazione chimica quando... c'è trasformazione chimica. Da un punto di vista rigoroso è necessario battere altre strade; da un punto di vista didattico... pazienza, se ne vedono di peggiori!

6) Per “decifrabilità” intendo la certezza del significato da attribuire alla risposta. Molto spesso, e la cosa succede anche con allievi di livelli scolastici superiori, le risposte alle domande aperte sono tutt'altro che univoche; si tratta allora di interpretare, e con l'interpretazione l'insegnante introduce sempre un elemento di soggettività.

7) Attenzione: di qui a concludere che l'età di acquisizione si colloca intorno a 4 anni ce ne corre. Manca, fra l'altro, la certezza della bontà del lavoro eseguito: niente assicura che il metodo usato per ottenere i dati dagli allievi di 5 e più anni sia valido anche per gli allievi di 4.

8) Purtroppo il fenomeno del “seguire la corrente” si fa sentire pesantemente: in certi casi basta che un allievo dia una risposta per produrre un seguito immediato. Questo fatto appare particolarmente evidente nel caso di allievi delle ultime classi della scuola elementare, soprattutto quando qualcuno si mette a fare lo spiritoso dicendo, per fare un esempio, che una trasformazione “è quando un uomo diventa un armadio”: seguono immediatamente risposte del tipo un uomo che diventa un frigorifero, una sedia, un banco e così via, con una sequenza di risposte scarsamente significative.

9) Brevissima osservazione: da un minimo campione (classi terza, quarta e quinta) al quale la stessa domanda è stata posta in forma scritta non si è ricavato quasi nulla (poche risposte, di scarsissima significatività, che il più delle volte si limitavano a una parafrasi della domanda). Evidentemente i problemi dovuti alla necessità di rispondere in forma scritta sono preponderanti, e non consentono quindi un'adeguata riflessione.

10) Risposte di questo tipo, con frequenti esempi di metamorfosi di rane e insetti e di nascita di piantine dal seme, sono collegate solo in parte con apprendimenti scolastici: occorre tener conto del fatto che una delle zone di rilevazione (comune di Camaione) è di campagna, con forte sviluppo di agricoltura di tipo ortoflorovivaistico.

11) Il risultato ottenuto è abbastanza in linea con quanto evidenziato ad esempio da Howard Gardner (Educazione al comprendere – Feltrinelli, Milano, 1993- 2001) che per l'acquisizione di molti concetti parla di andamento a U: situazione soddisfacente in partenza, poi calo progressivo fino a raggiungere una sorta di minimo, infine superamento del minimo e ripresa. Va detto che, almeno per certi concetti che possono essere ricontrollati in sede universitaria, in alcuni casi la ripresa appare alquanto problematica. In questo contesto si colloca la “contorsione mentale”, locuzione che nei miei intenti indica l'atteggiamento, molto frequente anche negli studenti universitari, per cui in un problema semplice si tendono a evidenziare tutte le possibili difficoltà che potrebbero eventualmente sorgere; il risultato, alla fine, è che il problema non viene risolto, oppure viene risolto in modo errato.