

# Sviluppo di un modello didattico, con l'attuazione di rappresentazioni "logico- iconiche", per la trattazione del secondo principio della termodinamica

ENRICO MANSUETI\*  
MARCO LA SELVA\*\*

## Riassunto

*Questo lavoro propone un modello didattico alternativo alla classica lezione frontale per lo studio della termodinamica. L' intervento, incentrato sul secondo principio della termodinamica, è stato proposto in una classe IV ITIS e si basa su una didattica che fa uso di mediatori logico-iconici seguendo l'impostazione formalizzata da Gowin e Novak. Con questa metodologia non si comprime il processo educativo sulla trasmissione di contenuti e sulla valutazione dei risultati finali che riducono l'apprendimento ad una risposta o un'imitazione a un determinato stimolo, ma invece lo riporta ad un processo nel quale un soggetto modifica i propri reticoli di informazioni e ne crea di nuovi.*

## Abstract

*This project presents a different teaching method, other than the traditional frontal lesson, in order to study thermodynamics. The teaching unit on Thermodynamics' second principle has already been proposed to a Fourth Year Class at ITIS (Technical High School). It is based on a different teaching approach which uses logical connectives and icons as mediators, according to Gowin and Novak methods.*

*By those standards, the learning process is not only a transmission of contents and the assessment of final objectives, nor a simple response to an input; rather, the learner can modify his previous information network and build new, different ones.*

## Introduzione

Lo studio di strumenti, approcci e paradigmi didattici conduce a valutare vantaggi e rischi principali di molte tipologie di intervento. Fra le molteplici varietà didattiche, si ritengono particolarmente valide quelle basate sui paradigmi attivista [1,2,3,4,5,6], costruttivista [7,8,9,10] e sull'approccio cognitivista [11,12].

Negli ultimi anni la crescente attenzione verso le conoscenze pregresse dell'allievo e verso le interazioni che si instaurano tra queste e le nuove informazioni ha avvicinato il paradigma cognitivista [13,14,15] al costruttivismo, tanto che i due modelli possono essere considerati complementari.

Gli sviluppi più recenti delle teorie cognitive hanno sottolineato come sia fondamentale il ruolo della rappresentazione delle conoscenze nei processi di apprendimento. Secondo questi sviluppi l'apprendimento deve essere inteso come costruzione di forme di rappresentazione mentale dei dati esterni e tale rappresentazione si compone secondo una struttura reticolare, fatta di nodi legati da relazioni logiche [16,17].

In questo contesto diventa fondamentale il ruolo delle mappe concettuali; secondo Novak una mappa concettuale è "la rappresentazione logico iconica di un particolare territorio di conoscenze; come una mappa geografica permette di orientarsi in un ambiente sconosciuto, così una mappa concettuale favorisce i processi di organizzazione di nuove informazioni, rendendo consapevoli sulle proprie capacità di apprendimento".

Le mappe concettuali sono fondamentali anche per l'insegnante poiché grazie ad esse l'allievo è in grado di costruire il proprio percorso didattico e di organizzare nel migliore dei modi il lavoro. Mediante una mappa cognitiva preliminare è possibile la rilevazione delle conoscenze pregresse degli allievi, in modo da poter adattare e rielaborare la mappa dell'insegnante, scegliendo così il livello di concettualizzazione più adatto. Con le mappe concettuali è possibile monitorare le modifiche che avvengono nella matrice cognitiva del soggetto che apprende, semplicemente seguendo i cambiamenti delle mappe concettuali prodotte le quali si arricchiscono di nuovi e più articolati collegamenti. Inoltre è possibile una

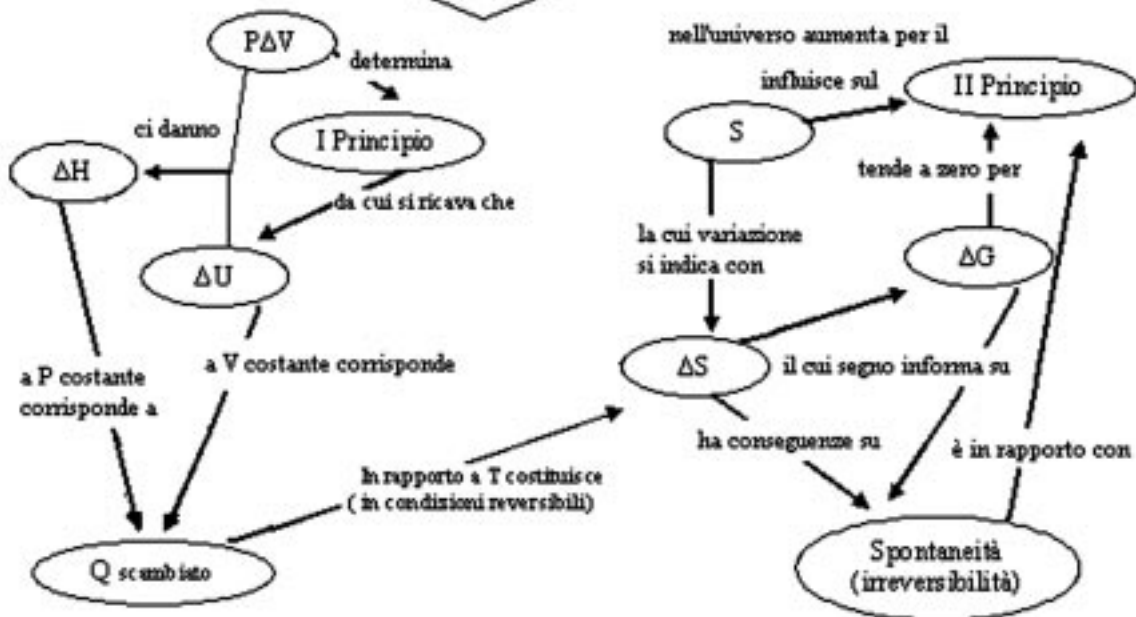
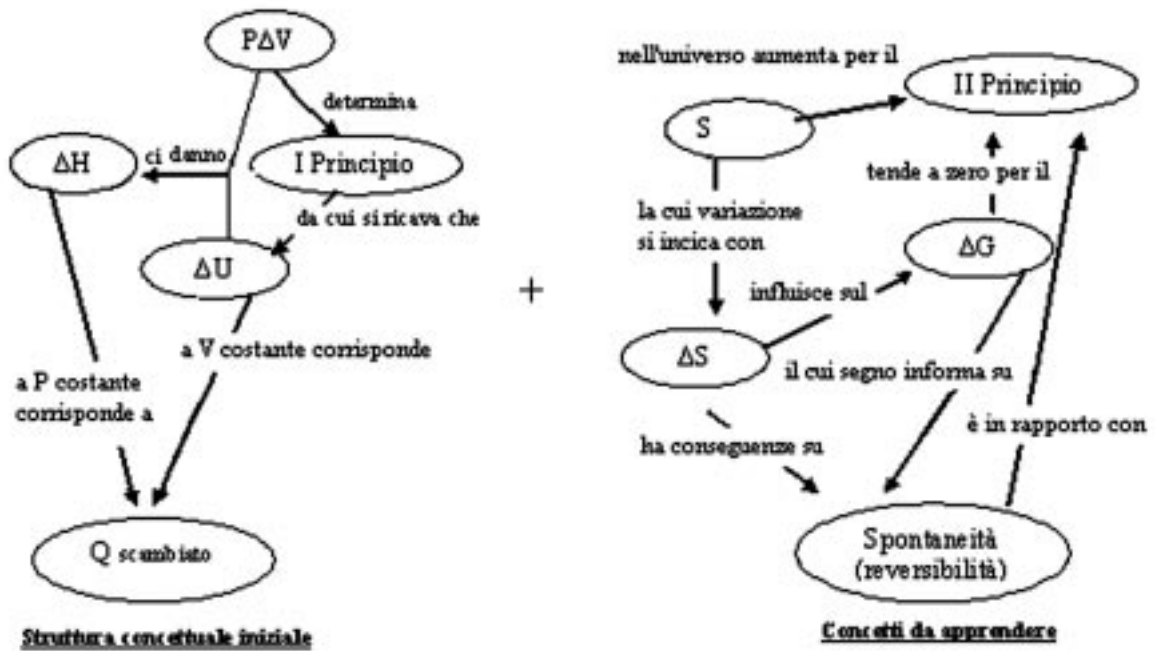
verifica dei progressi effettuati e del livello raggiunto mediante confronto tra la mappa "di arrivo", quella "di partenza" e la mappa dell' insegnante [12].

\*Istituto Professionale "L. Angeloni", Frosinone  
(e-mail: enrico.man@libero.it)

\*\*Università di Torino; L.S. "C. Darwin", Rivoli  
(e-mail: lasmarco46@hotmail.com)

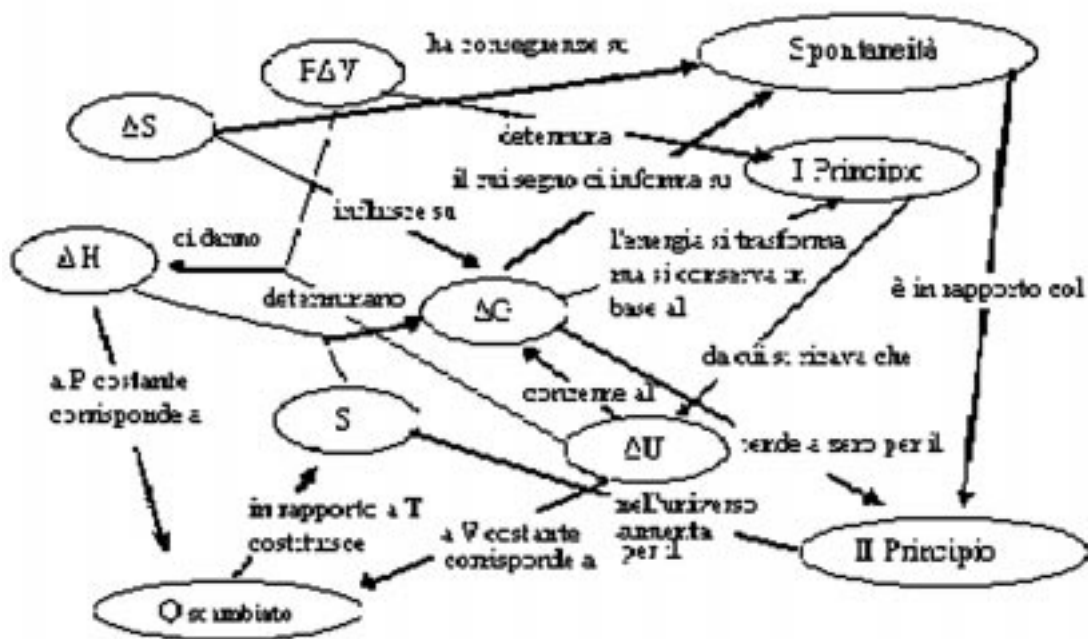
Confronto tra i processi di apprendimento di natura mnemonica e significativo

APPRENDIMENTO MNEMONICO



Struttura concettuale finale tipica di un apprendimento mnemonico in cui è mancata attività di metariflessione: i nuovi concetti (nodi) sono legati ai vecchi in maniera labile. Nell'esempio si evidenzia la presenza di un solo nuovo collegamento concettuale (snodo).

**APPRENDIMENTO SIGNIFICATIVO**



Struttura cognitiva integrata superiore. Si può notare che agli stessi nodi corrisponde un maggior numero di collegamenti (snodi), i quali danno origine a un elaborato reticolo; il tutto è frutto di un'efficace metariflessione.

*Scuola:* Triennio Istituto tecnico industriale

*Disciplina:* Chimica e laboratorio

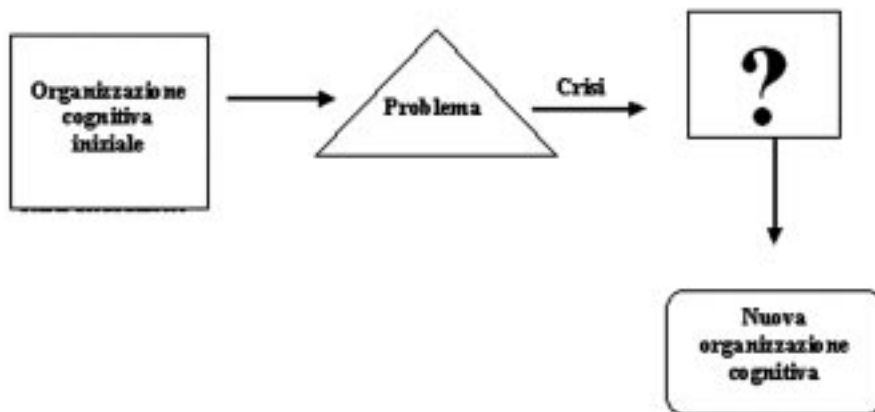
*Modulo di Termodinamica*

*Durata:* 7h

*Argomento:* Il secondo principio della termodinamica e i concetti di Entropia ed Energia libera

**Tipo di didattica scelta per l'intervento:**

Per questo tipo di intervento, per attinenza a quanto già esposto, ci si è basati su una didattica per concetti, in quanto è particolarmente incentrata sui processi cognitivi che avvengono nella mente dell'allievo durante l'apprendimento. Pertanto è coerente con la corrente della psicologia cognitivista [18], per la quale la mente deve essere intesa come un centro di trattamento delle informazioni, capace di rappresentarsi la realtà e di prendere decisioni. L'apprendimento risulta quindi inteso come un processo mediante il quale un soggetto modifica i reticoli di informazioni che già sono presenti nella sua memoria e ne crea di nuovi. In questo modo la conoscenza si sviluppa gradualmente attraverso la messa in relazione di quello che il soggetto già conosce con i nuovi saperi che gli vengono presentati [12].



All'interno della didattica per concetti appaiono strategie particolarmente interessanti la risoluzione di problemi e l'utilizzazione delle mappe concettuali, i primi per realizzare un maggior coinvolgimento mentre le seconde per aiutare il chiarimento concettuale. L'applicazione di strumenti logico-iconici si presta a molteplici e talora innovativi modalità di intervento (soprattutto per quanto riguarda la variante di ristrutturazione della matrice cognitiva dell'allievo mediante attività di messa in crisi di eventuali misconcetti [5,18]), ma la limitatezza temporale dell'intervento, unita alle prevedibili e specifiche difficoltà, non ne ha permesso un uso sistematico e "assolutista" lungo tutto il lavoro. Tuttavia l'uso di una rappresentazione "logico iconica di un particolare territorio di conoscenze" risulta utile e ben applicabile ai fini di una valutazione obiettiva, soprattutto riguardo alla significatività dell'apprendimento come conseguenza di una rielaborazione personale. Invece, un processo di valutazione limitato alla verifica di risoluzioni matematiche può rilevare soltanto l'applicazione più o meno corretta di capacità mnemoniche come l'impiego della formula esatta secondo un modello stimolo-risposta di natura comportamentista, senza dare nessun contributo sul significato e la ricaduta che quei concetti possono avere sul soggetto [19]. Se è vero che in certe realtà scolastiche questo può ritenersi già un successo, in ogni caso è buona prassi per un docente non accontentarsi mai di risultati minimi.

**Obiettivi:**

Al termine dell'intervento gli allievi devono essere in grado di definire:

- l'entropia
  - l'energia libera
  - il secondo principio della termodinamica
- e relativamente alle reazioni chimiche devono
- individuare la variazione di entropia e stabilirne il criterio di spontaneità (mediante calcoli)

Concetti strutturanti:

- Entropia
- Spontaneità delle reazioni

Nucleo fondante:

- Trasformazione della materia e conservazione dell'energia

**Tempi dell'intervento:**

Le ore di lezione previste per l'unità didattica sono 7.

**Prerequisiti:**

- A) Padroneggiamento delle mappe concettuali (stabilire nessi logici tra concetti e valutarne la gerarchia)
- B) Definire un sistema aperto, chiuso e isolato
- C) Definire ed individuare una grandezza di stato
- D) Indicare e descrivere reazioni eso/endotermiche
- E) Definire l'entalpia
- F) Definire il primo principio della termodinamica e indicare le conseguenze sulle trasformazioni chimiche
- G) Descrivere le conseguenze della legge di Hess

**Contenuti:**

- A) Definizione di entropia e descrizione della sua influenza sui sistemi chiusi
- B) Definizione di entropia di reazione e modalità applicative di calcolo matematico

- C) Definizioni del secondo principio della termodinamica
- D) Definizione di energia libera di reazione e descrizione delle sue modalità di calcolo e delle conseguenze sulle trasformazioni dei composti

**Collegamenti inter e intradisciplinari:**

Nell'ambito della stessa disciplina l'intervento si collega alla costituzione e alle trasformazioni della materia. Sono possibili collegamenti interdisciplinari con fisica.

**Attività previste**

- A) Richiami sulla legge di Hess attraverso l'uso delle mappe concettuali (1h)
- B) Problem solving per introduzione del concetto di entropia (1h)
- C) Energia libera (problem-solving) e introduzione secondo principio (1 h)
- D) Riepilogo con mappe concettuali (alla lavagna) e problem solving (2 h)
- E) Verifica sommativa mediante risoluzione di problemi e completamento di mappe concettuali (2 h)

**Strumenti e materiali didattici previsti:**

- A) Aula per lezioni frontali
- B) Dispensa per esercitazione di problem solving con valori di energia libera, entropia ed entalpia.
- C) Libro di testo (per approfondimenti): "Elementi di Chimica-Fisica", Atkins, P.W.; Ed Zanichelli, seconda edizione, 1999.
- D) Esercizi per il problem solving

**Modalità di verifica**

La verifica prevede la risoluzione di problemi e la costruzione di mappe concettuali.

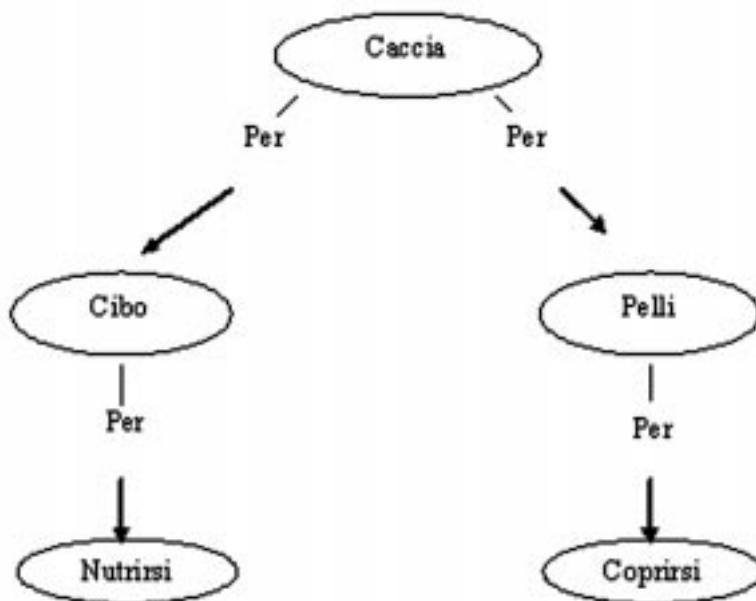
**Sviluppo dell'intervento: attività**

**Attività 0 (1h): richiami sulla legge di Hess mediante l'uso di mappe concettuali**

Schema di una classica mappa concettuale [20] da utilizzarsi come richiamo per le modalità operative degli studenti. I diversi concetti (racchiusi entro nodi o etichette) sono posti in relazione mediante collegamenti logici (snodi) indicati da linee, frecce e/o parole-legame: La frase rappresentata è: "La scoperta casuale di semi determinò l'inizio dell'agricoltura":



Mentre la mappa seguente [20]

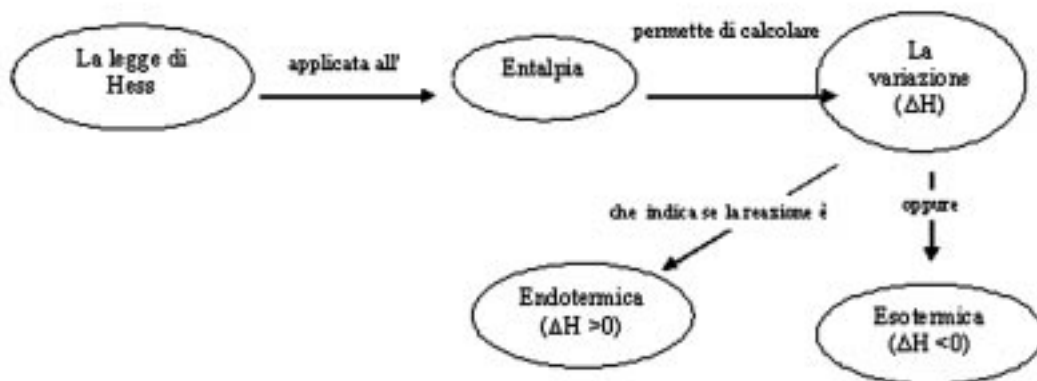


Riassume la frase: *“La caccia veniva praticata per procurarsi il cibo con cui nutrirsi e le pelli per ricoprirsi”*

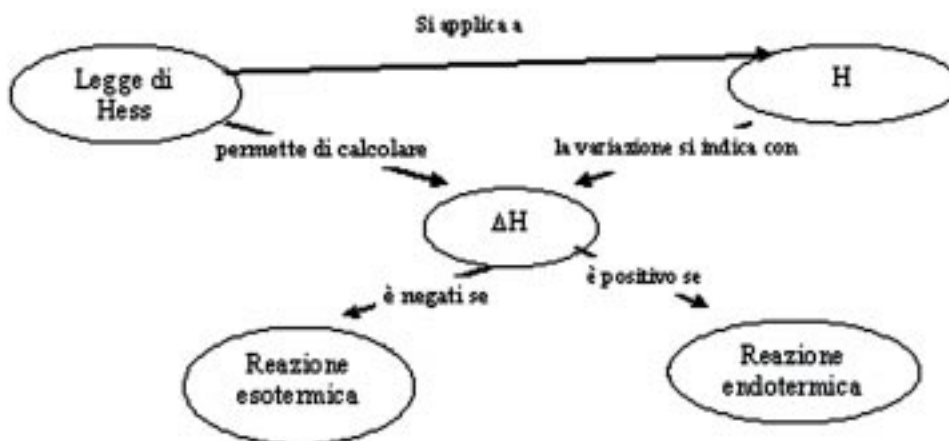
Riusciresti a collegare la legge di Hess con il calcolo della variazione di Entalpia e la definizione di reazione eso/endotermica mediante una mappa concettuale?

Con l'aiuto dell'insegnante si arriva alla costruzione di mappe concettuali personali come quelle riportate:

**Mappa 1**



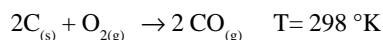
**Mappa 2**



**Attività I (1h): Mediante un problema si operano il veloce richiamo di alcuni prerequisiti e l'introduzione del concetto di entropia.**

Problema di partenza (dal quale introdurre  $\Delta S$  e poi  $\Delta G$ )

Per la seguente reazione



calcolare:

- 1)  $\Delta H$                                       2)  $\Delta S$                                       3)  $\Delta G$

sono noti i seguenti dati:

$$\Delta H^\circ_f \text{CO}_{(g)} = -110,45 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{C}_{(s)} = 0$$

$$\Delta H^\circ_f \text{O}_{2(g)} = 0$$

I ragazzi, conoscendo fino ad allora solo il concetto di entalpia, sono stati in grado di calcolare solo questa, ma al contempo sono stati stimolati all'acquisizione critica dei concetti di entropia e di energia libera. Durante la risoluzione della prima parte del problema l'insegnante ha colto l'occasione per continuare l'accertamento dei prerequisiti.

$$\Delta H = 2x (-110,45) - 0 - 0 = -220,9 \text{ kJ/mol}$$

Che significa il valore negativo?

Qual è l'enunciato del primo principio della termodinamica?

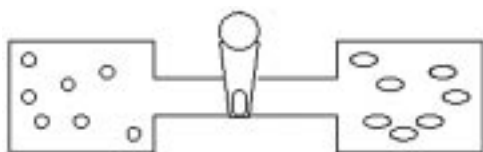
Cosa dice la legge di Hess?

Che cos'altro chiede il problema?

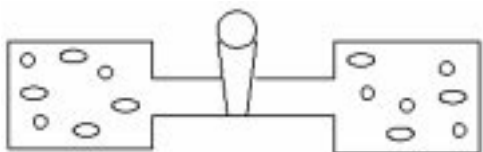
Grado di disordine di una sostanza: entropia

Consideriamo 2 gas (A e B) contenuti in 2 recipienti separati da un rubinetto. Quando si apre il rubinetto, le molecole delle due sostanze si mescoleranno in maniera disordinata. E' improbabile che dalla miscela possano separarsi spontaneamente i 2 gas per tornare alla situazione di ordine iniziale.

Situazione iniziale



Situazione dopo l'apertura del rubinetto



Siamo quindi passati da una condizione di ordine a una di disordine. La stessa cosa avviene nei passaggi di stato come la sublimazione, l'evaporazione e la fusione.

L'ordine o il disordine sono fondamentali nella definizione dello stato di un sistema.

Il fisico austriaco Boltzmann suggerì di collegare la distribuzione casuale ("a casaccio") degli atomi e delle molecole nello spazio tridimensionale con la grandezza Entropia. Egli constatò che: "maggiore è l'entropia, maggiore è il disordine".

Da allora il grado di disordine di una sostanza è misurato dall'Entropia, che è una funzione di stato e viene indicata col simbolo S.

La definizione della funzione di stato Entropia è di notevole importanza per la termodinamica chimica, in quanto studiando i fenomeni chimici in termini di variazioni entropiche è stato possibile risolvere non solo il problema dell'affinità chimica delle sostanze, ma soprattutto quello del calcolo teorico della resa di una reazione [21].

Quando in una trasformazione ai prodotti è associato un maggior disordine molecolare rispetto ai reagenti, si ha un aumento di entropia ( $\Delta S > 0$ )

Nella dissoluzione di un solido ionico di Cloruro di Sodio in acqua secondo voi com'è la variazione di entropia?

Gli studenti sono stati invitati a schematizzare la situazione iniziale e finale e a discutere circa il problema.

Alla fine è emerso chiaramente che nei cristalli di Cloruro di Sodio gli ioni occupano posizioni rigide (basso disordine, quindi con un basso valore di entropia); ad una soluzione della sostanza, invece, i cui ioni idratati possiedono una notevole libertà di movimento, corrisponde un aumento di disordine, e quindi un valore di entropia maggiore rispetto al cristallo.

L'insegnante ha concluso dicendo che la dissoluzione in acqua di un solido ionico o molecolare procede, quindi, con un aumento di entropia e scrivendo alla lavagna la formula che permette di ricavare quantitativamente l'entropia:

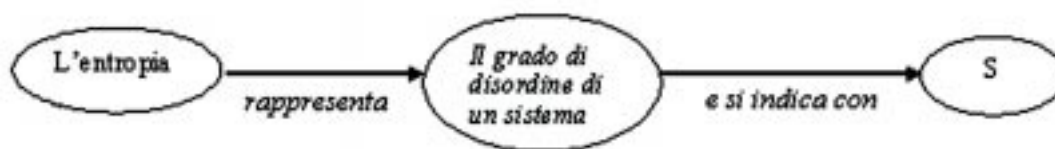
$$S = q_{rev} / T \text{ (in cui } q_{rev} \text{ rappresenta la quantità di calore scambiato reversibilmente e } T \text{ la temperatura).}$$

I valori di entropia standard ( $25^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ atm}$ ) di formazione delle sostanze sono riportati in letteratura. Essi nel S.I. si misurano in  $\text{J/mol K}$  (unità entropiche, u.e.)

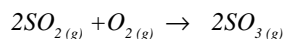
In una reazione chimica la variazione di entropia viene calcolata come differenza tra l'entropia di formazione  $S^\circ$  dei prodotti e l'entropia di formazione  $S^\circ$  dei reagenti

$$\Delta S = S^\circ_{\text{prodotti}} - S^\circ_{\text{reagenti}}$$

A questo punto i ragazzi sono stati invitati a riflettere sul concetto di entropia e a costruire una mappa concettuale personale relativa del tipo:



Della seguente reazione fare un'ipotesi circa la variazione di entropia:



Gli studenti sono stati invitati ad un colloquio collettivo che ha portato alla formulazione di proposte di spiegazione dalle quali il docente ha tratto spunto per condurre gli studenti alla socializzazione e condivisione della conclusione corretta. È emerso che la sintesi di  $\text{SO}_3$  dovrebbe procedere con diminuzione di entropia poiché si passa da 3 molecole di gas reagenti a 2 molecole di gas prodotto. Quindi il disordine legato ai prodotti è minore rispetto a quello legato ai reagenti.

L'insegnante ha ripreso quindi dal problema iniziale ( $2\text{C}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{(g)}$ ) e ha proceduto alla dimostrazione della risoluzione della seconda parte utilizzando i dati in tabella.

In questo caso la variazione di entropia sarà positiva (si formano due molecole gassose, il disordine aumenta).

#### Domanda per favorire la riflessione e la costruzione del nuovo concetto:

Nella trasformazione  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$  come varia l'entropia? (aumenta, diminuisce o rimane invariata?)

A questo punto la proposizione di un esercizio lievemente modificato rispetto a quello iniziale ( $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ , ma con carbonio gassoso invece di grafite) e la sua soluzione hanno costituito motivo di riflessione chiarificatrice sul significato di entropia. In questo caso infatti la variazione di S associata alla reazione è negativa (aumenta l'ordine, da tre particelle gassose se ne formano due).

#### Attività II. Energia libera e secondo principio (1 h)

Viene introdotto il secondo principio della termodinamica (legandolo al concetto di entropia); la soluzione definitiva del problema iniziale porta all'acquisizione del concetto di energia libera.

L'entropia è un concetto legato al secondo principio della termodinamica; il primo principio afferma che l'energia si mantiene costante trasformandosi ogni volta in qualcosa di diverso. Il sole fa evaporare l'acqua del mare, che ricade sotto forma di pioggia, che va ad alimentare una centrale idroelettrica per produrre elettricità; l'elettricità genera movimento in un motore e da questo calore ecc. Il secondo principio della termodinamica tratta del degrado del potenziale energetico (non completa utilizzazione per compiere lavoro). Se consideriamo il vento, una macchina a vapore e una centrale termoelettrica,

possiamo notare che sono tutti accomunati da un principio: per produrre movimento (vento), calore (macchina a vapore) o elettricità (centrale termoelettrica) occorre una differenza di temperatura. Senza differenze di temperatura non esisterebbe niente di tutto ciò, avremmo un sistema inerte, praticamente morto, incapace di trasformazioni d'energia, di compiere lavoro, di evoluzione e di vita. Si arriverebbe alla completa inutilizzazione (degradazione) del potenziale energetico: impossibilità di aumentare l'entropia.

Mescolando acqua fredda e acqua calda, se potessimo vedere le singole molecole di acqua, noteremmo che quelle di acqua calda si muovono in maniera più agitata rispetto alle altre. Venendo però a contatto esse si mescoleranno, arrivando a una temperatura media: le molecole si scontreranno e quelle più agitate cederanno energia a quelle più calme, che cederanno a loro volta energia anche alle particelle di aria e della pentola che le contiene, col risultato che alla fine le molecole dell'acqua tenderanno tutte a una stessa velocità uniforme. L'energia ceduta con gli urti dalle molecole di acqua calda avrà fatto aumentare l'agitazione, prima in modo sensibile e poi impercettibilmente, di tutte le molecole con cui sono venute a contatto, che a loro volta agiteranno cedendo energia alle particelle (aria, alluminio, la mano, la presina ecc.) con cui queste ultime sono a loro volta a contatto, ovvero si andrà verso una crescente entropia dell'universo. Pertanto, per avere di nuovo acqua calda dovrei immettere nel sistema altra energia prelevandola dall'esterno.

Gli organismi viventi sembrano negare l'entropia, ma solo in apparenza; se è vero che l'informazione contenuta nel codice genetico consente di costruire strutture ordinate che sembrano andare contro il disordine entropico, non dobbiamo dimenticare che questo avviene a spese di energia, la cui sorgente ultima è il sole.

Definizioni storiche del secondo principio:

**Clausius:** È impossibile che avvenga un processo naturale il cui unico effetto sia il trasferimento spontaneo di calore da un corpo più freddo a uno più caldo.

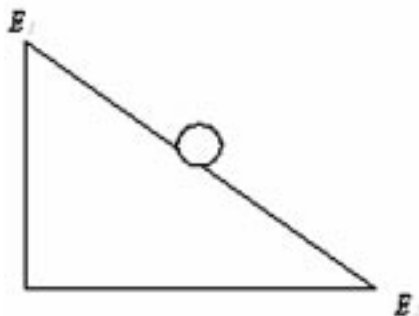
**Kelvin (William Thomson):** È impossibile che avvenga un processo naturale il cui unico effetto sia l'estrazione di calore da una riserva termica a temperatura costante e la trasformazione integrale del calore assorbito in lavoro meccanico [21].

Riassumendo possiamo semplificare e unire il primo e il secondo principio affermando che l'energia di un sistema isolato in evoluzione resta costante, ma tende a degradarsi; la forma più disordinata, "degradata", di energia, è il calore [8].

**Esercizio:** Si propone la costruzione di una mappa concettuale che rappresenti la frase precedente.

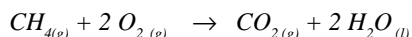
**Introduzione al ΔG e soluzione definitiva del problema iniziale.**

Una palla rotola spontaneamente lungo un piano inclinato, da una posizione a più alta energia potenziale, E<sub>1</sub>, a una più bassa, E<sub>2</sub>.



E' difficile pensare che avvenga spontaneamente il processo inverso.

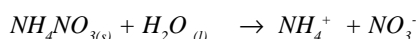
La reazione di combustione del metano in eccesso di ossigeno una volta innescata procede spontaneamente fino ad esaurimento del metano.



$$\Delta H = - 802 \text{ kJ}$$

Dai dati, e dall'esperienza, risulta che la reazione è esotermica, cioè avviene con diminuzione di entalpia.

Anche la reazione di dissoluzione in acqua del Nitrato di ammonio è spontanea:



$$\Delta H = 25 \text{ kJ}$$

$$\Delta S = 108, 7 \text{ J/mol } ^\circ K$$

$$T = 25^\circ C$$

Notiamo però che in questo caso la spontaneità è accompagnata dal carattere endotermico ( ΔH >0).

L'Entalpia è un criterio valido per stabilire a priori la spontaneità di un reazione?

Gli studenti devono dedurre che la variazione di entalpia non può essere un criterio di spontaneità: attuazione di un dialogo socio-cognitivo guidato con gli allievi.

Si propone quindi, dopo la condivisione della deduzione, la costruzione di una mappa concettuale che illustri questo concetto.

Nei processi spontanei intervengono sia il fattore entalpico che il fattore entropico; per tenere conto di entrambi (e quindi per prevedere il decorso di una reazione) i chimici utilizzano la funzione **Energia libera**

$$G = H - T\Delta S \quad \text{Equazione di Gibbs-Helmoltz}$$

Dove T è la temperatura assoluta alla quale avviene il processo

Ricavare le unità di misura

Dal fatto che H = J/mol ed S = J/ mol K, i ragazzi devono dedurre che l'energia libera si esprimerà in J/mol.

Secondo l'equazione di Gibbs-Helmoltz una reazione chimica può procedere spontaneamente se l'energia libera dei prodotti è inferiore a quella dei reagenti, cioè se ΔG < 0

Possiamo allora dire che un processo è spontaneo se l'energia libera diminuisce.

A seconda del valore che può assumere ΔG possiamo avere tre situazioni:

ΔG < 0 la reazione è spontanea

ΔG > 0 la reazione non è spontanea, ma lo è la reazione inversa

ΔG = 0 la reazione è in equilibrio

Esercizio: Riordinare i seguenti concetti all'interno di una mappa mediante collegamenti appropriati

Reazione non spontanea
ΔG
Reazione spontanea
Reazione in equilibrio

E' possibile calcolare la variazione di energia libera ΔG di una reazione se si conosce l'energia libera standard di formazione dei prodotti ΔG<sub>f</sub><sup>°</sup> prodotti, e dei reagenti ΔG<sub>f</sub><sup>°</sup> reagenti, applicando la relazione:

$$\Delta G_{\text{reazione}} = \Delta G_{f \text{ prodotti}}^{\circ} - \Delta G_{f \text{ reagenti}}^{\circ}$$

Il valore di ΔG<sub>f</sub><sup>°</sup> dà una misura della stabilità di una sostanza; tanto più è negativo tale valore, più il composto è stabile. Se invece risulta positivo il composto è instabile.

Proposizione di una discussione per dedurre il perché la dissoluzione del Nitrato di Ammonio a 25°C è un fenomeno spontaneo.

Si propone la risoluzione guidata del problema precedente con l'aiuto dell'insegnante.

A questo punto l'insegnante risolve il terzo quesito del problema iniziale.

$$\Delta G_{f \text{ CO}_{(g)}}^{\circ} = -137,2 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{f \text{ C}_{(s)}}^{\circ} = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{f \text{ O}_{2(g)}}^{\circ} = 0$$

$$\Delta G = 2 \times (-137,2) - 0 - 0 = -274,4 \text{ kJ/mol}$$

La reazione è spontanea?

Socializzazione della risposta

**Esercizio:** Legare in una mappa concettuale T x ΔS (il prodotto delle due grandezze), G, H. **93**

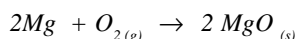


**Attività III Problem solving nell'aula-laboratorio (2 h)**

Dopo un breve riepilogo delle lezioni precedenti effettuato utilizzando le mappe concettuali come "strategia riassuntiva", l'insegnante propone alla classe una serie di problemi da risolvere.

Lista di problemi [21]

1) Determinare se la reazione di combustione del Magnesio è spontanea a 298° K dai seguenti dati:



$$\Delta H = -1203,4 \text{ kJ}$$

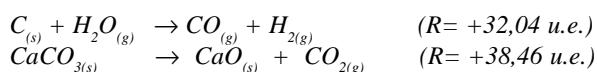
$$\Delta S = -216,25 \text{ J/mol } ^\circ K$$

Soluzione:

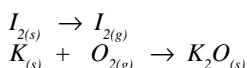
$$G = H - TS = -1203,4 - 298 (-0,216) = -1203,4 + 64,37 = -1139 \text{ kJ}$$

Dai dati emerge che la reazione è spontanea, pur procedendo con diminuzione di Entropia. Questo fatto è comune a tutte le reazioni di sintesi condotte a temperatura moderata.

2) Dai valori entropici standard della tabella calcolare la variazione di entropia standard a 25°C per le seguenti reazioni; dai valori ottenuti stabilire quindi se la reazione avviene con aumento del disordine molecolare:

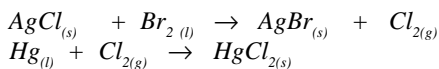


3) Per ognuno dei seguenti processi indicare se la variazione di entropia è positiva o negativa, giustificando ogni affermazione:



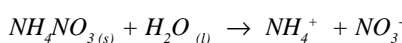
Bilanciare le reazioni ove necessario

4) Calcolare l'entropia standard di reazione a 298° K di:



Leggere le entropie std sulle tabelle  
Bilanciare le reazioni ove necessario

5) Calcolare la variazione di energia libera nel processo di solubilizzazione del Nitrato d'Ammonio che è rappresentato dalla seguente equazione:



$$(\Delta H = 25 \text{ kJ}; \Delta S = 108,7 \text{ J/mol K}; T = 25^\circ C)$$

Soluzione:

94

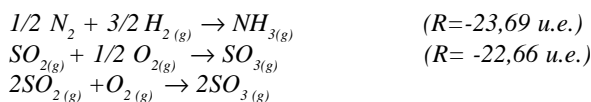
Se trasformiamo il valore di  $\Delta S$  da J in kJ e consideriamo una temperatura di 25°C, cioè di 298° K, il valore di

energia libera assume il valore:

$$G = H - TS = +25 - 298 \times 0,1087 = 25 - 32,39 = -7,39 \text{ kJ/mol.}$$

G risulta minore di zero, e questo spiega perché il processo di dissoluzione di  $NH_4NO_3$  in acqua risulta spontaneo (pur essendo endotermico).

6) Dai valori entropici standard della tabella calcolare la variazione di entropia standard a 25°C per le seguenti reazioni; dai valori ottenuti stabilire quindi se la reazione avviene con aumento del disordine molecolare:



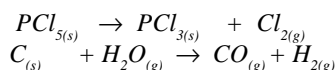
Soluzione:

$$S = S^\circ_{\text{prodotti}} - S^\circ_{\text{reagenti}} = 2x (S^\circ SO_3) - 2x (S^\circ SO_2) - S^\circ O_2 =$$

$$= 2x (+257) - 2x (+248) - (+205) = 514 - 496 - 205 =$$

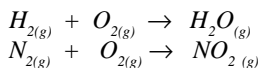
$$= 514 - 701 = -187 \text{ J/mol K. Si evidenzia che in effetti la reazione procede con diminuzione di entropia.}$$

7) Per ognuno dei seguenti processi indica se la variazione di entropia è positiva o negativa, giustificando ogni affermazione:



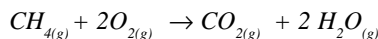
Bilanciare le reazioni ove necessario

8) Calcolare l'entropia standard di reazione a 298° K di:



Bilanciare le reazioni ove necessario

9) Calcolare la variazione di energia libera di combustione del metano dalle energie libere standard di formazione dei reagenti e dei prodotti:



$$\Delta G^\circ_f CH_{4(g)} = -50,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f O_{2(g)} = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f CO_{2(g)} = -394,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f H_2O_{(g)} = -228,6 \text{ kJ/mol}$$

Soluzione:

$$\Delta G_{\text{reaz}} = \Delta G^\circ_f CO_2 + 2x (\Delta G^\circ_f H_2O) - \Delta G^\circ_f CH_4 - 2x (\Delta G^\circ_f O_2) =$$

$$= -394,4 + 2x (-228,6) - (-50,8) + 2x 0 =$$

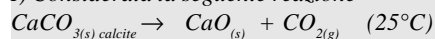
$$= -394,4 - 457,2 + 50,8 = -800,8 \text{ kJ/mol}$$

**Attività IV: Verifica (2h)**

Vengono proposti due compiti diversi (ma di identica impostazione).

**Compito A**

I) Considerata la seguente reazione



calcolare:

- 1)  $\Delta G$
- 2)  $\Delta S$
- 3) T assoluta alla quale il processo risulta spontaneo

Attenzione alle unità di misura!! (coerenza). Tot 3 punti

II) Costruire una mappa concettuale legando:

**Legge di Hess, S,  $\Delta S$ , variazione di disordine (ordine).**

Esplicitare i collegamenti mediante parole di collegamento oppure con commento a fianco.

**Compito B**

I) Per la reazione:  $2 \text{Al}_{(s)} + 3/2 \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_{3(s)} \quad (25^\circ\text{C})$

calcolare:

- 1)  $\Delta G$
- 2)  $\Delta S$
- 3) Indicare se la reazione considerata è spontanea
- 4) Indicare se era possibile (e come) prevedere il segno della variazione di entropia senza fare i calcoli.

Attenzione alle unità di misura!! (coerenza). Tot 3 punti

II) Costruire una mappa concettuale utilizzando i concetti di: **Spontaneità, H, G,  $\Delta G$ , S.**

Esplicitare i collegamenti mediante parole di collegamento oppure con commento a fianco.

Griglia per la correzione utilizzata

Compito A		Compito B	
Esercizio 1	Punti	Esercizio	Punti
Calcolo di $\Delta G$	2	Calcolo di $\Delta G$	2
Calcolo di $\Delta S$	2	Calcolo di $\Delta S$	2
T assoluta	2	Spontaneità	1
		Previsione teorica $\Delta S$	1
<b>Esercizio 2 (Mappa)</b>	<b>2</b>	<b>Esercizio 2 (Mappa)</b>	<b>2</b>
<b>Totale</b>	<b>8</b>	<b>Totale</b>	<b>8</b>

**Nota sulla valutazione delle mappe**

In accordo con le teorie di Novak e Gowin [16] è stato considerato rilevante il numero e la qualità dei legami proposizionali tra i concetti e gli eventuali esempi (che devono essere fuori dalle etichette); notevole importanza è stata inoltre assegnata all'individuazione dei livelli gerarchici, ma fattore determinante è stato considerato la rappresentazione dei legami trasversali, soprattutto quelli interlivello. Ovviamente l'esiguo numero di concetti indicati negli esercizi proposti ha limitato la valutazione prevalentemente ai primi punti, ma più dettagliate elaborazioni sono state giustamente premiate. Fondamentali sono state considerate le esplicitazioni relative ai collegamenti, mediante parole-legame o breve commento a fianco, poiché la natura strettamente personale di ogni mappa può impedire all'insegnante appropriate inferenze.

**Corrispondenza tra punteggio e voto**

Voto	Punteggio
3	0-1
4	2-4
5	5
6	6
7	7
8	8

**Riflessioni sul progetto, sui risultati e sui problemi applicativi (quelli riscontrati e quelli eventualmente possibili)**

L'intervento è stato condotto in una classe quarta ITIS (indirizzo di specializzazione FASE) composta da 19 allievi, raccordandolo con la programmazione del docente di Chimica ambientale all'interno del modulo di termodinamica.

Nel compito A, su 80 punti disponibili (10 allievi), ne sono stati ottenuti in totale 56 (5 sufficienze e 5 insufficienze, voto più alto 8, voto più basso 4). I problemi minori si sono avuti sul calcolo del  $\Delta G$  e del  $\Delta S$ , con rispettivamente il 77% e l'82% di successi. Il calcolo della temperatura di spontaneità ha permesso la raccolta di 7 punti su 20 (35%). La mappa concettuale ha fatto raccogliere 17,5 punti su 20 (87,5%).

Nonostante le raccomandazioni sono stati frequenti gli errori sulle unità di misura J e kJ nel calcolo del  $\Delta G$ ; si sottolinea che in tabella le unità di misura per S e H non erano uniformi.

L'impressione è che si debba insistere sul concetto di T di equilibrio e sull'influenza di T nella spontaneità di reazione.

Nel compito B sono state rilevate 4 insufficienze su 9, con voto più alto 8, più basso 4; in totale 52 punti su 72 disponibili. Hanno effettuato correttamente il calcolo su S il 63% dei ragazzi, il calcolo del G il 69%. Alla domanda Numero 1 circa la spontaneità della reazione ha risposto corretta-

mente l'83%; alla domanda Numero 2 sulla previsione di  $\Delta S$  senza calcoli il 61%. La mappa è stata compilata correttamente dall'80% dei ragazzi. Diversi aspetti fanno pensare alla presenza in questo gruppo degli elementi peggiori, in particolare i risultati ottenuti nell'elaborazione della mappa concettuale.

Anche in questo compito sono stati frequenti gli errori sulle unità di misura; inoltre, nel calcolo del  $\Delta S$  e del  $\Delta G$ , ha influito negativamente la presenza dei coefficienti di reazione, spesso omessi, che nel compito A erano unitari (infatti qui la percentuale di successi è più bassa). Anche nella previsione teorica del  $\Delta S$  spesso gli allievi non hanno tenuto conto dei coefficienti, pur se ininfluenti data la stechiometria della reazione.

Si precisa che l'apparente maggiore difficoltà del compito A per la domanda sulla  $T_{eq}/T_{spont}$  è compensata dalla reazione più facile a coefficienti unitari.

Nella elaborazione delle verifiche si era coscienti delle differenze tra i due compiti, ma si volevano verificare alcune idee utilizzando diversi strumenti e criteri, anche se si correavano rischi sulla confrontabilità tra i risultati globali dei due modelli; il fatto che questi alla fine siano paragonabili, unito ad alcune osservazioni posteriori, è probabilmente un successo organizzativo e la conferma di alcune idee:

1) Gli errori dovuti a omissione dei coefficienti stechiometrici nei calcoli del compito B sono da considerare come testimonianza di lacune nel ragionamento e non come conseguenza di disattenzione.

2) Nel compito A gli errori e le omissioni nel calcolo della  $T$  di spontaneità sono probabilmente dello stesso tipo; d'altronde come spiegare che tutti gli studenti che hanno almeno abbozzato una risposta corretta (6 su 10), pur non indicando l'esatto valore di  $T_{eq}$  da cui derivare la  $T$  di spontaneità (solo uno l'ha fatto), sono comunque pervenuti al calcolo o all'indicazione di un valore di  $T$  a cui la reazione è spontanea? Costoro, secondo noi dimostrano (male) di aver compreso il concetto. Nella correzione il nostro pensiero è corso fino a Comenio: secondo quanto riportato in "Orbis sensualium pictus", sarebbe questo un tipico esempio di quello che l'autore definiva *mandorle senza guscio* [1], ovvero "sostanza con poca forma", e quindi ragionamento privo di una comunicazione efficace.

3) Se è vero che un maggior numero di esercizi "dedicati" avrebbe diminuito gli errori e migliorato i punteggi sia sulla  $T$  di spontaneità che nella reazione a coefficienti non unitari, e quindi in entrambi i compiti, è anche probabile che la migliore preparazione sarebbe stata solo di tipo "addestrativo". Pensiamo che una buona percentuale di errori nelle unità di misura abbia come causa un modo di procedere "superficial-comportamentista" abbastanza consolidato, soprattutto in considerazione delle raccomandazioni fatte (anche sul compito). D'altronde come interpretare il 61% di successi (soltanto !!) alla domanda 2 del compito B sulla previsione di  $\Delta S$  senza calcoli?

4) Durante la correzione si è riflettuto sul fatto che i limiti di una verifica mediante risoluzione di problemi si esprimono attraverso quel che spesso un insegnante giudica disattenzione, mentre nella realtà più che il frutto di divagazioni mentali estemporanee, gli errori possono essere il risultato di un ragionamento poco accurato (o di un'assenza di ragionamento). Abbiamo trovato interessante la contemporanea presenza in alcuni compiti di esercizi risolti abbastanza correttamente accanto a mappe palesemente sba-

gliate o assenti; un'apparente paradosso prova allo stesso tempo i limiti e la complementarietà dei due strumenti didattici.

5) Probabilmente anche le mappe concettuali possono prestarti ad un uso improprio, come schema da imparare a memoria. Per questo motivo è senz'altro più corretto considerarle strumenti di verifica per l'avvenuta rielaborazione "ad personam", piuttosto che strategie di esplicitazione per una valutazione sommativa; infatti non si può prescindere dal loro carattere individuale. Per questo motivo se è vero che nella verifica sono risultate per lo più corrette e in linea con le attese, si nutrono dei dubbi "posteriori" legati alla palese omogeneità. Accanto alla lieta consapevolezza che è passato quello che si voleva, permane il dubbio che ciò sia avvenuto acriticamente; in sostanza, pur se molto scarse e spesso prive di spiegazioni a fianco, le mappe sono come le avrebbe fatte l'insegnante. L'omogeneità delle mappe probabilmente è dovuta anche al fatto che è stata richiesta la costruzione di schemi molto semplici e senza collegamenti anteriori a questo intervento.

Un'ulteriore fase di valutazione potrebbe essere rappresentata, come suggerisce Damiano[22], da una "conversazione clinica" che potrebbe, se ben strutturata, rappresentare uno strumento per dare ulteriori informazioni al docente sulla reale portata del traguardo ottenuto. Tale attività verrebbe attuata selezionando alcune domande da porre agli studenti sia all'inizio dell'intervento, per meglio definire le preconoscenze dal quale far scaturire le prime mappe, sia in sede di verifica finale, riproponendo le stesse domande agli studenti, per riscontrare la corrispondenza tra quanto risultato dall'elaborazione delle mappe finali degli studenti e quanto emerso dalle risposte scaturite dalla "conversazione clinica".

6) Un questionario fatto compilare agli allievi alla fine dell'intervento ha permesso un feedback sull'intero lavoro. La totalità dei ragazzi conferma di aver compreso i concetti di questo I.D.; le difficoltà maggiori si sono avute sulla comprensione e determinazione del  $\Delta G$  (il 16%) e su calcoli e segni (10%). Il 25% dichiara di non aver avuto nessuna difficoltà, mentre qualcuno riferisce problemi su Entalpia ed energia di legame (soprattutto triplo), ovvero su argomenti direttamente collegati ma antecedenti a questo lavoro. La classe dichiara di aver avuto strumenti sufficienti e conferma l'impressione iniziale di abitudine a uno "studio sugli appunti"; pochi utilizzano il libro. Il 60% ha espresso curiosità e voglia di approfondimenti. Per la totalità mappe concettuali e problem solving sono serviti per capire meglio (li userebbero di nuovo); in particolare alcuni affermano che "le mappe sono utili per ragionare e collegare gli argomenti", uno le dichiara utili ai fini della "connessione logica". Il 30% della classe estenderebbe questi strumenti a tutte le materie scientifiche, il 25% lo farebbe per storia, diritto, italiano e "tutte le materie discorsive". Il 25% degli allievi li ritengono utili per "quasi tutte le materie" (uno è convinto che le mappe concettuali possano aiutare nella lettura di libri difficili). Tra le motivazioni addotte circa le possibili estensioni delle mappe concettuali ad altri contesti ci sono: l'adattabilità, la possibilità di collegamenti e la possibilità di capire meglio.

### Conclusioni

Il fatto che i concetti oggetto dell'intervento possano apparire avulsi dalla quotidianità degli allievi, unito al carattere sperimentale del lavoro (finalizzato allo sviluppo di un

modello didattico con l'attuazione di rappresentazioni logico-iconiche), ha indotto all'impiego in alcuni tratti del problem solving, soprattutto per motivare i ragazzi riducendo il distacco tra i concetti e la loro realtà. Il contesto classe ha mostrato di non avere bisogno di questo tipo di attenzioni; infatti gli allievi sono stati sempre attivi, e francamente il tipo di esercizi era troppo slegato da quella che può essere la loro vita. Probabilmente era possibile scegliere esercizi diversi e più in linea con gli interessi degli studenti, ma il margine concesso dai concetti in esame sarebbe stato comunque esiguo. Il problem solving è servito comunque a mostrare come in un buon gruppo, composto di elementi intelligenti e in qualche caso chiaramente trainanti, un processo di apprendimento può portare a risultati apparentemente positivi anche attraverso vie pedestri prive di rielaborazione critica.

Le mappe utilizzate durante lo svolgimento dell'intervento hanno permesso la semplificazione e la quasi immediata comprensione di concetti "notoriamente" difficili; tali sono i riscontri avuti sugli esercizi di costruzione delle mappe assegnati (ad esempio nella parte finale dell'attività II). Le basi della buona riuscita di questi processi noi crediamo vadano ricercate anche al di là di motivazioni strettamente didattiche; le percezioni avute nel corso della conduzione dell'intervento, soprattutto nelle fasi più critiche dell'introduzione di un nuovo concetto (momenti particolarmente delicati, come ben sanno tutti gli insegnanti di materie scientifiche) hanno fatto sospettare ragioni di ordine psicologico. E' difficile valutare esattamente quanto ciò sia dovuto al carattere di relativa novità degli strumenti utilizzati; comunque, anche in tal caso, il valore del lavoro probabilmente non ne viene affatto sminuito. Si è notato come gli allievi facessero propri i concetti oggetto dell'intervento; ogni volta, la costruzione di una mappa concettuale personale "in itinere", fatta percepire prevalentemente come "schema riepilogativo", ha messo in moto in ciascuno una sorta di "partecipazione attiva del sé"; in certi momenti abbiamo pensato alla similitudine con certe iniziative scolastiche della scuola elementare sul tipo delle gare per la costruzione di presepi; metaforicamente, alla fine era come se tutti i presepi "termodinamici" fossero corretti, con i personaggi-concetto al loro giusto posto. Nessuna composizione era però esattamente uguale alle altre, avendo anzi ognuna una particolarità distintiva e personalizzante, spesso una parola/frase di collegamento piuttosto che un'altra. Nella verifica la costruzione personale delle mappe si è rivelata sostanzialmente corretta, facendo venire il sospetto di una elaborazione eccessivamente legata ai canoni dell'insegnante. Durante la correzione a tratti sono emersi dubbi su un rischio di "trasmissività" delle mappe stesse, qualora non vengano usate in maniera critica e consapevole; al riguardo, siamo d'accordo con chi paventa, per gli insegnanti, il rischio di elaborare strutture troppo standard da confrontare poi con quelle degli allievi. Questi, anche secondo noi, devono essere sollecitati a costruire più mappe per lo stesso argomento, in modo da abituarsi alla molteplicità degli schemi concettuali che riflette la molteplicità dei punti di attacco di una determinata porzione di sapere [23]. Per lo stesso motivo siamo d'accordo anche sul fatto che probabilmente al termine "mappa concettuale" è preferibile quello di "organizzazione concettuale", in quanto è maggiormente coerente con le caratteristiche di "fluidità" del pensiero umano. L'omogeneità rilevata negli schemi delle verifiche

è certamente legata all'esiguo numero di concetti, ma gli argomenti, il carattere di per sé sperimentale del lavoro e il tempo a disposizione non ne hanno permesso un uso più sistematico. In tale contesto il "sospetto" (speranza) di un'avvenuta attività di metariflessione è motivato soprattutto dall'analisi del feedback, ma per fugare i dubbi occorrerebbe un lavoro ulteriore. Potrebbe essere attuata una verifica mediante un "colloquio clinico" al fine di stabilire l'effettiva significatività della ristrutturazione cognitiva.

E' indubbio che a fronte di pochi e preparatissimi docenti, la maggior parte degli insegnanti non ha molta dimestichezza (simpatia?) verso le mappe concettuali. A volte accade che taluni specialisti arrivino a sofismi di altissimo valore intellettuale ma di improbabile utilità pratica; qualcuno critica i lavori di Novak e Gowin dichiarandone la limitatezza legata al carattere troppo "inclusivo" delle mappe proposte, arrivando addirittura a distinguere, ad esempio, tra *concetti-evento*, *concetti-oggetto*, *concetti-persone*, *concetti-luogo*, *concetti-astrazione* (?) e *concetti-definizione*; tra *mappe mentali*, *cognitive* e *strutturali*; tra collegamenti di *causa-effetto*, di *fine o scopo*, *collegamenti temporali*, *transitivi o predicativi*, *spaziali*, di *addizione*, *ordine*, *paragone* o di *contrasto*, di *esplicazione* o *esemplificazione*, *nominali* ecc [20]

Il valore (teorico) di questi lavori è indiscutibile, ma probabilmente non giovano (anzi) alla diffusione delle mappe concettuali, che devono essere prima di tutto strumento di chiarimento, esplicitazione e aiuto nello studio. L'utilità delle mappe concettuali è indiscutibile per tutti quegli insegnanti che, lungi dal considerare l'allievo come un contenitore vuoto da riempire di nozioni, sono realmente interessati ai *processi* di insegnamento-apprendimento considerati in senso dinamico. E' evidente che la mappa concettuale consente di rilevare le concezioni iniziali degli allievi da cui partire per l'attività didattica, ma fornisce anche l'opportunità di monitorare l'intero processo "in divenire". E' questo il motivo per cui chi scrive, alla fine di questo lavoro, è convinto che le mappe concettuali nella valutazione debbano essere uno strumento prevalentemente formativo (considerando anche il carattere strettamente individuale). Alcuni insegnanti trovano nelle mappe concettuali poco di nuovo rispetto al classico schema riepilogativo/riassuntivo della tradizione scolastica; se, ed in qualunque misura questo fosse vero, non bisogna dimenticare che la realtà di molte classi, soprattutto dell'istruzione tecnica e professionale, è quella di alunni sempre meno impegnati-motivati nello studio individuale e nella riflessione, con la diffusione indiscriminata e senza filtri, ma anzi amplificata dalla pubblicità, delle nuove tecnologie, non estranea a questo stato di cose. Chi scrive pensa che valga la pena di sperimentare lavori come quello presentato in questo articolo, e considera le mappe concettuali come uno strumento utile e innovativo, avendo verificato che anche un ossimoro (apparente...) può risultare efficace.

### Bibliografia

- [1] B. Volpi, *Pedagogia e Psicologia*, Casa Editrice Universa, Roma, 1997.
- [2] G. Chiosso, *Elementi di Pedagogia*, Brescia, La Scuola, 2002.
- [3] M. Montessori, *La mente del bambino*, Garzanti, Milano, 1975.

- [4] M. Montessori, *Come educare il potenziale umano*, Garzanti, Milano, 1970.
- [5] C. La Neve, *Elementi di didattica generale*, La Scuola, Brescia, 1993.
- [6] S. Buonomo, S. Silvestri, Corso di formazione e aggiornamento *Didattica in 100 ricette*, ANISN Piemonte, Torino, 2001.
- [7] M. De Beni, *Costruire l'apprendimento*, La Scuola, Brescia, 1994.
- [8] P. Angela, *Viaggio nella scienza*, Mondadori, Milano, 2002.
- [9] K. Popper, *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna, 1972.
- [10] K. Popper, *Tutta la vita è risolvere problemi*, Rusconi, Milano, 1996.
- [11] M. Comoglio, *Cognitivismo*, in: J.M. Prellezo, C. Nanni, G. Malizia, *Dizionario di scienze dell'educazione*. ELLEDICI-LAS-SEI, Roma, 1997.
- [12] E. Roletto, *Apprendimento delle scienze e didattiche disciplinari*, Iridis, Torino, 2003.
- [13] J. Piaget, *La psicologia dell'intelligenza*, trad. it. Ed. Universitaria, Firenze, 1952.
- [14] J.S. Bruner, *Psicologia della conoscenza* trad. it. Armando, Roma, 1973, (voll 1-2).
- [15] D.P. Ausubel, (1967), *Educazione e processi cognitivi*, trad. it. Angeli, Milano, 1999.
- [16] J.D. Novak, *L'apprendimento significativo. Le mappe concettuali per creare e usare la conoscenza*, trad. it. Erickson, Trento, 2001.
- [17] D.B. Gowin, J.D. Novak, *Imparando a imparare*, trad. it. SEI, Torino, 1989.
- [18] A. Argenton, L. Messina, *Concettualizzazione e istruzione*, Il Mulino, Bologna, 1990.
- [19] B.F. Skinner, *Pensare ed apprendere*, Armando, Roma, 1992.
- [20] M. Guastavigna, M. Gineprini, *Mappe concettuali nella didattica*, [www.pavonerisorse.to.it/cacrt/mappe](http://www.pavonerisorse.to.it/cacrt/mappe).
- [21] S. Paschetto, *Chimica fisica*, Masson editori, Milano, 1984 (III vol).
- [22] E. Damiano, *Insegnare con i concetti. Un modello didattico tra scienza e scuola*, Sei, Torino, 1994.
- [23] E. Roletto, P.G. Albertazzi, A. Regis, Capire cosa capiscono gli studenti: le mappe concettuali, *Didattica delle Scienze*, (164), 22-28, 1993.



Four de verrerie au bois.