



Società Chimica Italiana

## La Chimica nella Scuola





- 5 EDITORIALE  
Gli errori concettuali degli studenti frutto di terminologie libere  
*Luigi Campanella*
- 7 Un approccio sperimentale-induttivo al concetto di entropia  
*Roberto Soldà*
- 13 Dal mito dell'idrogeno ad un suo impiego razionale nell'ambito dello sviluppo sostenibile  
*Fabio Olmi*
- 21 Riassunti argomentati e Mappe concettuali: utilità e limiti degli strumenti cognitivi  
*Liberato Cardellini*
- 103 Federchimica per la scuola  
"Responsible Care" - 26<sup>esimo</sup> Rapporto  
*Luigi Capannella*
- 106 Cimica e Poesia  
*Pasquale Fetto*



## EDITORIALE

### Gli errori concettuali degli studenti frutto di terminologie libere

Sono un chimico e spesso mi sono dispiaciuto per un atteggiamento critico nei confronti della mia disciplina rispetto alla definizione delle quantità chimiche per gli studenti della scuola secondaria.

Ho letto quindi con interesse e con una certa sorpresa le critiche che proprio due fisici, operanti nel settore della Didattica Fisica (Daniel Heanes e Davud Sands), hanno rivolto ai propri colleghi di Fisica docenti nella Scuola Secondaria.

La familiarità alimenta lo scarso apprezzamento, ma forse sarebbe più giusto parlare di compiacenza.

I due fisici si riferiscono alla definizione delle grandezze fisiche al livello della scuola secondaria, come massa e campo elettrico, per i quali l'accuratezza è fondamentale. La ricerca in didattica fisica ha dimostrato quanto sia facile per gli studenti sviluppare concetti errati attraverso terminologie libere.

Prendiamo la terza legge di Newton come esempio. Sebbene non sia una grandezza fisica sono ben note le difficoltà degli studenti rispetto a questa legge che fanno capire come sia facile per loro maturare concetti errati attraverso terminologie *loose*. La classica forma della legge: ad ogni azione ne corrisponde una uguale e contraria può essere trasformata in "per ogni forza c'è una forza uguale e contraria". Questo, al di là delle differenti capacità critiche degli studenti, porta alla conclusione errata che nei sistemi meccanici semplici forze dissipative come l'attrito e la resistenza del mezzo crescono inevitabilmente fin quando nessuna forza è più attiva. Quello che deve essere cambiato per evitare che errori concettuali come questo si ripetano è il metodo. Le definizioni devono per consistenza e chiarezza avere tutte la stessa struttura. Si parte da una descrizione e da una discussione seguita dalle unità di misura, a partire dalle unità SI e poi dalle altre se rilevanti. Seguono le comuni espressioni matematiche, anche se è necessario che le definizioni matematiche siano date prima.

Infine bisogna collocare queste definizioni in un contesto reale: così ad esempio nel caso di un campo magnetico saranno descritte le forze relative di parecchi campi differenti, incluso il campo magnetico terrestre.

Altro esempio: per comprendere l'importanza del rapporto fra una forza e la superficie su cui si esercita, basti pensare al tacco a spillo di una donna ed al piede di un elefante. La forza peso corrisponde nel primo caso ad una massa di circa 60 kg, nel secondo di circa 5.000 kg eppure il peso che grava sul piede dell'elefante è minore di quello che grava sul tacco di una scarpa di donna: la ragione sta nella sezione di trasmissione che nel caso di un tacco è di parecchie migliaia di volte minore.

Lo sforzo deve essere teso ad evitare che errori concettuali maturino in modo irreversibile e fa piacere che anche i fisici si accorgano di questa esigenza e di questa difficoltà che, forse, *mutatis mutandis*, sono per la chimica ancora maggiori.

**Luigi Campanella**

*Direttore di CnS – La Chimica nella Scuola*

# Un approccio sperimentale-induttivo al concetto di entropia

Roberto Soldà

roberto.soldà@libero.com

## **Riassunto**

*Attualmente alcune nozioni relative alla termodinamica e all'entropia vengono spesso fornite anche a livello di divulgazione scientifica per rendere comprensibili argomenti attuali, come ad esempio la recente teoria sull'origine della vita del fisico J. England. [ 1-5].*

*E da diversi anni ormai la termodinamica è un argomento affrontato in tutti i corsi di chimica di base. Ma purtroppo la trattazione relativa al concetto di entropia avviene sempre in modo teorico-descrittivo. Eppure è possibile attuarne una di tipo sperimentale-induttivo, utilizzando materiale e reagenti disponibili solitamente in qualsiasi scuola anche non dotata di laboratorio attrezzato.*

*In questo articolo si propone un approccio sperimentale - induttivo alla definizione di entropia, sfruttando adeguatamente alcuni esperimenti proposti a livello di chimica di base e ovviamente tenendo in considerazione i livelli di apprendimento dei propri allievi.*

## **Abstract**

*Currently, some notions relating to thermodynamics and entropy are often also provided at the level of scientific popularization to make current topics understandable, such as the recent theory on the origin of life by physicist J. England.*

*And for several years now, thermodynamics has been a topic addressed in all basic chemistry courses. Unfortunately, however, the treatment relating to the concept of entropy always takes place in a theoretical-descriptive way. Yet it is possible to implement an experimental-inductive one, using materials and reagents usually available in any school, even if it does not have an equipped laboratory.*

*This article proposes an experimental – inductive approach to the definition of entropy, adequately exploiting some experiments already proposed at the level of basic chemistry and obviously taking into consideration the learning levels of their students.*

## **Premessa**

E' noto che alcuni elementi relativi alla termodinamica vengono proposti, in accordo con le indicazioni nazionali curricolari, a livello secondaria di secondo grado e anche di primo grado.

E in particolare, a livello di chimica di base, spesso viene introdotto anche il concetto di entropia. [6]

Ebbene in questo articolo si vuole solo fare notare che, come per l'insegnamento di altri concetti "ostici", pure per il concetto di entropia sarebbe auspicabile una trattazione non teorica – descrittiva, bensì sperimentale - induttiva.

Tanto più che, come riportato appresso, per fare ciò ci si può avvalere adeguatamente di alcuni esperimenti relativi alla misura del calore di trasformazione fisica e chimica proposti di solito nei testi di chimica di base e facilmente utilizzabili per la misura di

$$\Delta S_{\text{ambiente}} = - \Delta H_{\text{trasformazione}} / T$$

Infatti in questo modo, durante la discussione relativa a tali esperimenti, l'insegnante potrebbe utilizzarli per fare comprendere agli allievi abbastanza facilmente e rigorosamente che [7]:

- l'entropia è la misura di energia dispersa ( sotto forma termica ) ad una data temperatura, che un sistema, passando da un dato stato (iniziale) ad un altro stato (finale), scambia con l'ambiente per raggiungere, a livello microscopico, il numero delle possibili configurazioni che esso può assumere.

- se un sistema può distribuire la sua energia in molte configurazioni, allora possiede un grande valore di entropia. Viceversa ha un piccolo valore di entropia.

- una trasformazione ha tendenza ad avvenire solo se:

$\Delta S_{\text{totale}}$ , (cioè  $\Delta S$  del sistema +  $\Delta S$  dell'ambiente)  $> 0$ , tenendo presente che **sotto il "travestimento" di una  $\Delta H$  di una trasformazione fisica o chimica "si nasconde" una  $\Delta S$  dell'ambiente tale che:**

$$\Delta S_{\text{ambiente}} = - \Delta H_{\text{trasformazione}} / T$$

### **Obiettivi didattici**

Introdurre anzitutto sperimentalmente e approfondire la definizione di entropia.

Approfondire eventualmente i concetti di termodinamica collegandoli ai principi di elettrochimica ed al primo principio di termodinamica, senza introdurre l'equazione di Gibbs e l'energia libera[8] difficilmente comprensibili a livello di chimica di base.

### **Prerequisiti teorici e pratici**

- Concetti elementari di chimica generale a livello di biennio della scuola secondaria di secondo grado.

- Concetti elementari relativi all'equilibrio chimico ed alla cinetica.

- Concetti di acidi e basi.

- Reazioni chimiche ed energia elettrica: le pile
- (facoltativo) Elementi di chimica organica e biologia a livello di biennio della scuola d'istruzione secondaria.
- Sapere utilizzare il materiale e i reattivi necessari per l'esecuzione degli esperimenti proposti seguendo le modalità operative riportate nel testo in dotazione o in schede fornite dall'insegnante.

In particolare, al fine di agevolare la facilità dei calcoli, è necessario fare presente agli studenti che se la trasformazione in esame è:

- esotermica, il sistema cede calore all'ambiente e quindi l'ambiente aumenta la sua entropia
- endotermica, il sistema riceve calore dall'ambiente e pertanto l'ambiente diminuisce la sua entropia.

### Note, modalità operative, dati sperimentali e tempo

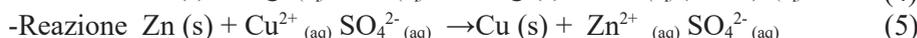
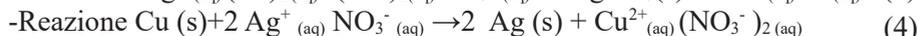
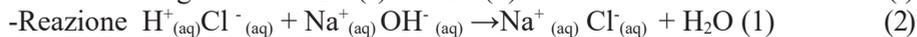
Come detto sopra, nei corsi di chimica di base, per introdurre sperimentale l'argomento relativo agli effetti energetici delle trasformazioni fisiche e chimiche, hanno particolare rilievo alcuni semplici esperimenti relativi alla misura di  $\Delta H$ .

Ciò consente di "sfruttare" adeguatamente tali esperimenti per proporre agli studenti anche la misura di:

$$\Delta S_{\text{ambiente}} = - \Delta H_{\text{trasformazione}} / T.$$

E per quanto riguarda la strumentazione, i reagenti, le modalità operative, i tempi ed anche i dati relativi ai  $\Delta H$  ottenuti sperimentalmente da studenti nelle esercitazioni di laboratorio, si può fare riferimento a quanto facilmente reperibile e riportato negli attuali testi e/o manuali di laboratorio in dotazione.

A tale scopo, a titolo indicativo le esperienze, consigliabili per facilità di esecuzione, sicurezza e risultati soddisfacenti, sono le seguenti:



Di seguito si ritiene utile riportare la seguente tabella riassuntiva con i dati relativi di:

$$\Delta H_{\text{teorica}}, \Delta H_{\text{sperimentale}} \text{ e } \Delta S_{\text{ambiente}} = - \Delta H_{\text{trasformazione}} / T$$

Trasformazione	$\Delta H$ teorica (kJ)*	$\Delta H$ sperimentale (kJ)**	$\Delta S_{\text{ambiente}} =$ $= -\Delta H_{\text{sp.}} / 298 \text{ K}$ (J K <sup>-1</sup> )
1	6,01	5,79	-19,4
2	-56	-52	172
3	26	20	-67
4	-146	-140	470
5	-216,7	-198	664

\* Dati ottenuti mediante calcoli usando entalpie di formazione.

\*\* Dati sperimentali ottenuti dai miei studenti negli esperimenti relativi a “Misura di  $\Delta H$  di trasformazioni fisiche e chimiche” usando concentrazioni di reagenti e modalità operative riportate nel testo in dotazione.

Le (4) e (5) sono scelte anche perché vengono di solito usate nell'esperienza relativa alle pile e permettono quindi di dimostrare che, in altre adeguate condizioni sperimentali, si ottiene energia sotto forma di energia elettrica.

A tale proposito, per le pile basate sulle reazioni (4) e (5) si fa riferimento agli esperimenti di elettrochimica.

### Osservazioni conclusive

Durante la discussione e la verifica relativa all'apprendimento dell'argomento: “Perché avvengono le trasformazioni fisiche e chimiche?” è molto importante che gli allievi abbiano compreso che **una trasformazione fisica o chimica può avere tendenza ad avvenire anche con una diminuzione di entropia locale del sistema purché:**

$$\Delta S_{\text{totale}} = (\Delta S_{\text{del sistema}} + \Delta S_{\text{dell'ambiente}}) > 0.$$

A questo proposito si esaminano in dettaglio, se occorre, alcune trasformazioni, come ad esempio:



ponendo in evidenza che queste trasformazioni hanno tendenza ad avvenire spontaneamente, anche se  $\Delta S$  del sistema  $< 0$ , perché

$$\Delta S_{\text{ambiente}} = -\Delta H_{\text{trasformazione}} / T \text{ è tale che } \Delta S_{\text{totale}} > 0.$$

Ciò consente eventualmente anche di chiarire, se l'insegnante lo ritenga utile, come la seconda legge della termodinamica permette e anzi favorisce,

mediante la dissipazione dell'energia, la creazione di sistemi organizzati come sono appunto gli organismi viventi.

Infine ritengo utile notare che, per le due reazioni (4) e (5), in collegamento con l'elettrochimica sarebbe interessante, un approfondimento relativo al confronto del lavoro elettrico  $l_{el} = -nFE$  ottenuto dalla pila con la  $\Delta H$  di una trasformazione attraverso la relazione:

$$\Delta H = q_r + l_{el} \quad (\text{secondo la convenzione egoistica}) \quad (8)$$

ove  $q_r$  = energia non trasformabile in lavoro, cioè sotto forma di calore scambiato con l'ambiente,

$l_{el}$  = energia trasformabile in lavoro elettrico prodotto dalla pila.

Infatti, utilizzando la (8), è possibile ricavare  $q_r$  e, mediante

$$\Delta S_{\text{sistema}} = q_r/T,$$

è abbastanza facile insegnare agli studenti come calcolare anche  $\Delta S$  del sistema.

### Ringraziamenti

Sono grato al Prof. Ermanno Niccoli per l'interessamento e per le discussioni che hanno contribuito a migliorare la stesura di questo lavoro.

### Bibliografia

- [1] C. Rovelli, *L'ordine del tempo*, Adelphi Edizioni, Milano 2017.
- [2] M. Malvaldi, *L'architetto dell'invisibile*, Raffaele Cortina Editore, Milano 2017.
- [3] P. W. Atkins, *Il dito di Galileo*, Raffaele Cortina Editore, Milano 2004.
- [4] E. Intini, *Cosa sono i principi della termodinamica?*, Focus Junior, 31 marzo 2020.
- [5] J. L. England, *Dissipative adaptation in driven self-assembly*, Nature Nanotechnology, 10, 919-923 (2015).
- [6] F. Bagatti, E. Corradi, A. Desco, C. Ropa, *Chimica dappertutto*, Zanichelli Editore, Bologna 2015.
- [7] F. Marchetti, C. Pettinari, C. Di Nicola, R. Pettinari, *Entropia: misura del disordine o della dispersione di energia?*, CnS- La Chimica nella Scuola, giugno-agosto 2011, pp.151-165.
- [8] P. W. Atkins, *Chimica Fisica*, Zanichelli Editore, Bologna 1989.



# Dal mito dell'idrogeno ad un suo impiego razionale nell'ambito dello sviluppo sostenibile

Fabio Olmi

Fabio.olmi@gmail.com

In un loro libro<sup>1</sup> Vincenzo Balzani e Margherita Venturi parlano di “Mito dell'idrogeno” mettendone in risalto i vari punti critici per un impiego attuale su larga scala.

E' stupefacente rileggere a distanza di quasi vent'anni il libro di Jeremy Rifkin “Economia all'idrogeno”<sup>2</sup>. Egli afferma, ad esempio, che dal momento che spesso si verificano interruzioni della corrente elettrica (per il tipo di sostegno precario che hanno spesso le vecchie linee aree sostenute da pali di legno), con gravi danni per uffici ed esercizi pubblici, si dovrebbe fare impiego generalizzato in questi ambienti di celle a combustibile. E, al di là di una sua visione condivisibile conseguente alla diffusione di una capacità puntuale di autoproduzione di energia (elettrica), con “democratizzazione” del processo di accesso all'energia<sup>3</sup>, l'autore sostiene che l'intero fabbisogno energetico per la decarbonizzazione debba avere al centro l'idrogeno attraverso l'impiego diffuso di celle a combustibile<sup>4</sup>.

Il passare del tempo e l'evoluzione tecnologica delle energie rinnovabili ha mostrato che questa visione suggestiva si sta realizzando anche nel nostro Paese, ma non si sta attuando con l'uso dell'idrogeno ma, con maggior semplicità e a molto minor costo, attraverso l'impiego del fotovoltaico. Questo è capace di trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica e può essere impiegato insieme ad altre energie rinnovabili su vasta scala.

Con riferimento al nostro Paese, sono ormai attivi oltre 800.000 (2019) utenze di produzione elettrica da fotovoltaico dove i soggetti, generalmente di piccola potenza (domestici), sono insieme produttori e consumatori connessi alle reti di distribuzione a doppio senso, potendo fornire o prelevare

---

1. Vincenzo Balzani, Margherita Venturi – Energia, risorse, ambiente, Zanichelli Ed., 2014.

2. Jeremy Rifkin – Economia all'idrogeno”, Ed.Mondadori, 2002 ,pp. 344.

3. Citiamo in particolare al suo interno :“Riglobalizzazione dal basso”, pp. 262-304; in particolare: “La lezione del World Wide Web” (p.262-266 e “Democratizzazione dell'energia”pp. 271-274.

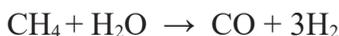
4. Dal libro già citato: “Idrogeno come risorsa collettiva, pp. 266-271.

corrente a seconda dei momenti (solo in piccola parte per ora sono dotati di accumulo).

Tornando a Rifkin, sembra che lui dia per risolti tutti i problemi di approvvigionamento dell'idrogeno, del suo stoccaggio e del suo impiego quando a tutt'oggi siamo dinanzi a un settore in piena ricerca, come lo testimonia l'accordo recente Francia-Germania<sup>5</sup> del valore di parecchi miliardi di euro per ricerche sull'idrogeno, soprattutto su un metodo di estrazione dall'acqua più efficiente della normale elettrolisi e su modalità di stoccaggio migliori delle attuali.

Cerchiamo allora di fare chiarezza. In primo luogo l'idrogeno non costituisce una fonte primaria di energia come il carbone e il petrolio, non esiste libero in natura sulla Terra (mentre ne è ricco l'Universo) ma solo combinato o con carbonio negli idrocarburi o con l'ossigeno nell'acqua: più propriamente si parla di vettore energetico. Il problema è allora il seguente: il processo per ricavarlo da suoi composti deve essere **ecologicamente compatibile e economicamente conveniente**, dato che si deve spendere energia per liberarlo dai suoi composti.

Attualmente si ricava idrogeno dal metano (CH<sub>4</sub>) con il processo detto *steam reforming* che consiste nel far reagire il metano con vapor d'acqua ad alta temperatura secondo:



Questo processo è molto più conveniente dell'attuale metodo di estrazione dall'acqua. L'idrogeno estratto dal metano si impiega, nella stragrande maggioranza, per la produzione di composti chimici, non è pensabile produrlo per questa via per usi energetici: sarebbe un controsenso dal punto di vista della sostenibilità. Si stima che un Kg di idrogeno ottenuto per via elettrolitica ("idrogeno verde") costi 4-5 volte di più di quello ricavato dal metano ("idrogeno grigio"). Da qui le ricerche che si stanno intraprendendo e speriamo che l'Italia si agganci al programma franco-tedesco.

Comunque si deve registrare che, dopo gli entusiasmi per l'idrogeno di inizio millennio, è calato su di esso un gran silenzio e solo recentemente si è riaperto l'interesse per tutta la filiera della sua produzione, stoccaggio e utilizzo come componente essenziale **per utilizzi precisi che può avere insieme alle altre energie rinnovabili nel processo di decarbonizzazione necessario per lo sviluppo sostenibile**.

---

5. Anais Ginori, Luca Pagni – Energia dal'idrogeno. Un patto franco-tedesco per il nuovo oro verde, la Repubblica, 9 Settembre 2020

Numerosi sono stati gli articoli pubblicati recentemente sull'argomento come, ad esempio, quelli riportati in nota<sup>6</sup>.

Vediamo quali sono i punti critici della filiera dell'idrogeno. Dei **metodi di preparazione** abbiamo parlato: si deve ricercare un metodo di estrazione dall'acqua che sia più conveniente dell'attuale elettrolisi. Sono stati alcuni ricercatori israeliani a mettere a punto recentemente un metodo che sembra vantaggioso<sup>7</sup>, ma la ricerca sui metodi di preparazione continua.

Ci sono poi i problemi dei **metodi di stoccaggio dell'idrogeno**. Si tratta di un altro punto critico e complesso della filiera. Oggi i metodi per affrontare lo stoccaggio di H<sub>2</sub> sono diversi: si va dall'uso dell'alta pressione alla criogenica, ma i più usati sono quelli che sfruttano materiali solidi per assorbire e rilasciare idrogeno. L'idrogeno risulta molto costoso per stoccarlo e trasportarlo con le attuali tecnologie. Uno dei problemi di maggior impegno della ricerca è quello della diminuzione del volume di stoccaggio perché l'H<sub>2</sub>, pur presentando una elevata densità di energia per unità di massa, ha una scarsa densità energetica volumetrica rispetto agli idrocarburi e richiede quindi serbatoi più ingombranti e pesanti per il suo deposito o trasporto.

Comprimere il gas richiede poi energia e recipienti particolarmente resistenti. Si può usare alternativamente idrogeno liquido ma questo richiede un immagazzinamento criogenico assai complesso per mantenerlo sotto alla temperatura di -252,88°C. Anche in questo caso si deve spendere una gran quantità di energia per la sua liquefazione e i serbatoi devono essere molto ben isolati dall'esterno.

C'è sempre sempre da tener conto delle dimensioni dei serbatoi poiché la densità energetica dell'idrogeno liquido è di circa quattro volte inferiore rispetto a quella degli idrocarburi come la benzina<sup>8</sup>.

---

6. Articoli vari: Alberto D'Argenio- L'Europa punta sull'idrogeno per avere energia più verde, la Repubblica, 7 Luglio 2020; Anais Ginori, Luca Pagni – Energia dall'idrogeno. Un patto franco-tedesco per il nuovo oro verde, la Repubblica, 9 Settembre 2020; Luca Fraioli – L'idrogeno non è la soluzione ma un primo pilastro sicuro, la Repubblica, 9 Settembre 2020; Federica Bianchi – L'Europa andrà a idrogeno, L'Espresso, 20 Settembre 2020.

7. Questi ricercatori del Technisce-Israel Institute of Technology hanno messo a punto un metodo di scissione dell'acqua denominato E-Tac che effettua la produzione in sequenza di O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> eliminando la necessità di una membrana che separi i due gas; tale sistema ha rilevato una efficienza del 98,7%. -Rinnovabili.it, 23/10/2020.

8. Vi è il 64% in più di idrogeno in un litro di benzina (116 grammi di idrogeno) che in un litro di idrogeno liquido puro (71 grammi) e inoltre il carbonio della benzina contribuisce all'energia della combustione.

Il metodo più diffuso attualmente per lo stoccaggio e il trasporto di idrogeno è quello che impiega gli idruri (solidi) metallici (Figura 1).

***Idruri metallici (MH):***

***Adsorbimento di H<sub>2</sub> nella lega metallica***

***Processo endo/esotermico***

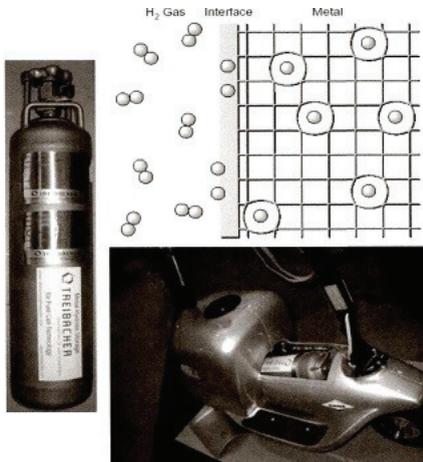
***Pressione: fino a 100 bar***

***Temperatura: da ambiente a 500°C***

***H<sub>2</sub>: 2-7% in peso (0.6-2.3 kWh/kg)***

***Pro: sicuro, alta densità energia***

***Contro: peso, costo, ciclo di vita***



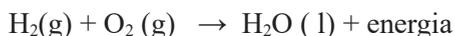
**Figura 1.** Tratta da M. Santarelli- Idrogeno e celle a combustibile, Dip. Energia - Politecnico di Torino

Gli idruri di magnesio e di metalli di transizione sono quelli più adatti per lo stoccaggio dell'idrogeno e hanno una buona densità di energia per unità volumetrica. Questo sistema è usato per lo stoccaggio nelle automobili ma un serbatoio di idruro è circa tre volte più capiente e quattro volte più pesante di un serbatoio di benzina capace di fornire la stessa energia.

L'idruro necessiterà di essere ricaricato con idrogeno a bordo dell'auto o in una centrale di riciclo.

**Come può essere impiegato l'idrogeno per fornire energia?** Le cosiddette celle a combustibile sono il mezzo più appropriato a questo scopo. Vediamo qual è la loro struttura e come funzionano.

La cella combustibile (fuel cell) è un apparecchiatura elettrochimica capace di convertire direttamente l'energia chimica in energia elettrica in cui l'idrogeno viene combinato con l'ossigeno producendo energia (anche calore) e acqua senza sviluppo di fiamma:



Il principio di funzionamento della cella a combustibile non è una scoperta recente: fu messo a punto nel 1839 dal fisico William Grove e ha avuto vari perfezionamenti sia sugli elettrodi usati, sia sul catalizzatore impiegato per migliorare i processi della cella. A seguito dei programmi spaziali ame-

ricani, a partire dagli anni Settanta del secolo scorso, le moderne celle a combustibile sono state impiegate per l'alimentazione elettrica a bordo delle astronavi Gemini e Apollo.

In anni recenti varie case automobilistiche, hanno prodotto auto a celle a combustibile (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) ma, data la loro complessità non sono andate al di là dei prototipi. Più agevole e pratico l'utilizzo delle celle a combustibile per grossi veicoli (autobus, Tir, ecc.) (Figura 2).



BUS a celle combustibili

**Figura 2**

Si sono realizzati anche veicoli in cui si sfrutta l'energia termica della combustione dell'idrogeno con l'ossigeno (HICEV, Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle) bruciando l'idrogeno in un motore a combustione interna. La NASA utilizza questo sistema per lanciare gli Space Shuttles nello spazio.

Una cella a combustibile è simile a una batteria elettrochimica, come ad esempio il comune accumulatore a piombo/acido ma, mentre la batteria è un sistema chiuso che funziona consumando i componenti attivi agli elettrodi, la cella a combustibile è un sistema aperto e ha un flusso di reagenti gassosi rifornito dall'esterno.

A questo punto possiamo tentare di dare una risposta a quanto ci siamo domandati in apertura dell'articolo: dove è sensato, e dunque razionale,

puntare all'uso dell'idrogeno? Come abbiamo accennato, può essere impiegato con vantaggio per la mobilità terrestre pesante, come autobus e grandi camion. Sarà essenziale riuscire a usarlo in altri mezzi di trasporto come navi e aerei. Tuttavia le auto vengono decarbonizzate usando batterie elettriche e ormai il loro sviluppo appare inarrestabile.

E' poi di questi giorni la notizia che l'Airbus ha in progetto aerei commerciali con propulsione a idrogeno: in un' intervista a "la Repubblica" la chief technology officer (cto) Grazia Vittadini di Airbus ha comunicato che "stiamo lavorando per far volare anche Greta Thunberg"; in altre parole si sta mettendo a punto il progetto di aerei commerciali alimentati ad idrogeno e alcuni dettagli si possono ricavare dal web<sup>9</sup>. Si tratta di un progetto complesso denominato ZEROe che coinvolge la messa a punto (l'obiettivo dichiarato è la messa in esercizio per il 2035) di tre tipi di aerei: il primo per il corto raggio alimentato da celle a combustibile, il secondo tipo di aereo (per il medio raggio) utilizzerebbe l'idrogeno come combustibile in motori a combustione interna opportunamente modificati (emette solo H<sub>2</sub>O) e il terzo tipo di aereo (per il lungo raggio) in cui "l'idrogeno reagisce con CO<sub>2</sub> per formare idrocarburi sintetici; come il kerosene da fonti fossili si produrrà anche in questo caso diossido di carbonio. Ma il bilancio netto in diossido di carbonio emesso sarebbe pari a zero perché la CO<sub>2</sub> prodotta corrisponderebbe a quella sottratta per produrre il combustibile". Attualmente in Gran Bretagna si sta già collaudando un Piper a 6 posti dotato di motore a idrogeno.

Ma oltre alla mobilità c'è il settore siderurgico che sarebbe molto importante potesse ricorrere all'alimentazione ad idrogeno eliminando, come riduttore degli ossidi di ferro, l'impiego del carbone (coke). Se teniamo presente che la siderurgia attuale partecipa alla produzione globale di CO<sub>2</sub> nella misura di oltre il 7% si comprende la grande importanza che ha questa ricerca per la decarbonizzazione che dobbiamo realizzare entro il 2050.

In Svezia si sta già realizzando nella città di Lulea l'impianto pilota denominato *Hybrit* che anticiperebbe la costruzione della prima acciaieria a idrogeno su scala industriale. Anche in Austria si sta lavorando in questa direzione: a Linz, dove è presente un'acciaieria, si è messo a punto il più grande elettrolizzatore del mondo per produrre idrogeno: l'impianto è in grado di produrre 1200 metri cubi di idrogeno "verde" all'ora. Anche qui l'obiettivo è quello di ricercare tecnologie reali applicabili su scala industriale per decarbonizzare la produzione dell'acciaio. Nei prossimi anni verrà studiata la trasformazione della acciaieria in altra alimentata a idrogeno.

---

9. Paola Jedelunca – La crisi ha accelerato i tempi per il primo aereo a idrogeno, la Repubblica A&F, 12/10/2020. Alessandro Abboto –Airbus, l'idrogeno spicca il volo, INTRODUCING Airbus ZEROe, 25/9/2020

Si ipotizza che anche l'acciaieria italiana ex Ilva possa essere in futuro alimentata a idrogeno.

Un altro processo industriale, quello della produzione di cemento, è un forte produttore di CO<sub>2</sub> (con alimentazione a carbone o rifiuti) ma al momento non si hanno notizie su progetti per studiare la sua possibile decarbonizzazione.

**Riassumendo, quale posto occupa l'idrogeno nell'ambito delle energie ecocompatibili che si devono sempre più largamente impiegare decarbonizzando la produzione energetica?**

Come abbiamo sottolineato, è razionale e sostenibile la sua introduzione nella **mobilità terrestre di grossa portata** (autobus, Tir, ecc.) e nella **mobilità marina e aerea**. Inoltre può essere ragionevolmente impiegato dove servono combustioni come in **siderurgia**.

Nell'alimentazione delle auto è ormai consolidata l'elettrificazione con l'uso delle batterie di nuova generazione (ad esempio agli ioni Litio); in questo ambito, per motivazioni diverse, non sono adatte le celle a combustibile.

Nell'illuminazione e nei processi di riscaldamento/raffreddamento domestici, commerciali e industriali si stanno sempre più diffondendo gli impianti fotovoltaici o comunque l'elettricità derivante da fonti rinnovabili (W.W.S.). In breve, l'idrogeno da solo non risolve l'intero problema della decarbonizzazione dei processi energetici (il mito è ormai superato), ma **costituisce un portatore di energia adatto per certi utilizzi che deve accompagnarsi a fotovoltaico, eolico, idrico e completare la gamma delle energie rinnovabili ed ecocompatibili** per uno sviluppo sostenibile.



# **Riassunti argomentati e Mappe concettuali: utilità e limiti degli strumenti cognitivi**

**Liberato Cardellini**

[l.cardellini@univpm.it](mailto:l.cardellini@univpm.it)

## **Riassunto**

*Mappe concettuali e riassunti argomentati costituiscono strumenti eccellenti per aiutare gli studenti a costruire la propria conoscenza in modo significativo. La riflessione sull'argomento da studiare e sui concetti nel processo di costruzione della mappa è importante perché più a fondo vengono analizzate le informazioni, più è probabile che vengano codificate nella memoria (processo di encoding). Le mappe concettuali e i riassunti sono sintesi argomentate di quanto si sta studiando e sono di conseguenza utili nel momento del ripasso. Il ripasso, ovvero il richiamo nella propria memoria di ciò che si è studiato è un'azione fondamentale per favorire il loro ritrovamento ad esempio durante una interrogazione (processo di retrieval). Studi recenti dimostrano che i metodi di retrieval risultano più efficaci delle mappe per quanto riguarda l'apprendimento significativo.*

*Dall'esperienza accumulata nella considerazione di almeno 25.000 mappe e riassunti derivano alcune deduzioni: gli studenti sviluppano un proprio 'stile' nel realizzare questi manufatti di varia qualità formale, ritenuti utili per la propria preparazione scolastica. Realizzare mappe e riassunti richiede sia impegno che tempo ed è forse per questo motivo non vengono utilizzati da tutti gli studenti.*

*Sono considerate e ponderate alcune proposte risultanti nelle molte pubblicazioni disponibili e criticate alcune esagerazioni nel proporre possibilità e suggestioni che l'uso delle mappe nella classe non sempre consente di soddisfare. In particolare, viene dimostrata infondata la pretesa di giudicare la qualità della conoscenza nella mente degli studenti dalla struttura della mappa. Vengono riportati i risultati sull'uso di una 'mappa eccellente', che non è risultata di grande utilità per gli studenti con insufficiente preparazione. Studi eseguiti in diversi contesti dell'uso delle mappe come strumento di valutazione della conoscenza degli studenti non hanno riprodotto i risultati riportati in molte pubblicazioni. Valutando le mappe si potrebbe correre il rischio di valorizzare aspetti superficiali della conoscenza e in modo ingiusto penalizzare coloro che con poche 'chiavi' riescono ad aprire molte 'porte'.*

## **Abstract**

*Concept maps and summaries are excellent tools to help students build their knowledge in a meaningful way. Reflection on the topic to be studied and on the concepts in the map construction process is important because*

*the more thoroughly the information are analysed, the more likely they will be encoded in memory (encoding process). Concept maps and summaries are reasoned summaries of what is being studied and are accordingly helpful during review. Review, that is, recalling what has been studied in one's memory, is a fundamental action to facilitate their retrieval, for example during an oral test (retrieval process). As for meaningful learning, recent studies show that retrieval methods are more effective than concept maps.*

*Some considerations derive from the experience accumulated in the consideration of at least 25,000 maps and summaries. Students develop their own 'style' in creating these artefacts of varying formal quality, which they consider useful for their school learning. Creating maps and summaries takes time and effort, which is perhaps why not all students use them. In this long article we want to consider some exaggerations in making promises that the use of the maps cannot keep. The results of using an 'excellent map' are reported, which was not very effective for students with insufficient preparation. Studies in different contexts on the use of concept maps as a tool to assess student knowledge have not reproduced the results reported in many publications.*

## **Introduzione**

Negli anni '70 – '90 ci si è occupati sia nella ricerca didattica che nelle elaborazioni teoriche della struttura della conoscenza. La struttura della conoscenza è un costrutto teorico e ipotetico ritenuto importante per il modello dell'elaborazione delle informazioni. Jonassen e colleghi hanno raccolto in un volume le tecniche per rappresentare, trasferire e acquisire le strutture della conoscenza. (Jonassen, Beissner, Yacci, 1993) Vengono considerate molteplici tecniche: per avere un'idea conviene riportarle in una sorta di mappa concettuale, come in Figura 1.

Tra le molte tecniche presentate forse è utile riportare del metodo istruttivo chiamato Elaboration Theory. La Elaboration Theory è una teoria dell'organizzazione della didattica basata sull'idea che il contenuto da apprendere dovrebbe essere organizzato in modo gerarchico e in sequenza dal semplice al complesso, fornendo al contempo un contesto significativo in cui le idee successive possono essere integrate. (Reigeluth, Stein, 1983) Questo perché "The elaboration theory of instruction states that if cognitive instruction is organized in a certain specified way, then that instruction will result in higher levels of learning, synthesis, retention, and affect. There is a limitation to this theory: the smaller the amount of interrelated subject-matter content, the less difference it will make. With a small enough number of topics, it doesn't make any difference how you sequence them, whether you show interrelationships among them". (Reigeluth, 1979, p. 8)

Le lezioni basate su questa sensata teoria includono le seguenti strategie (Jonassen, Beissner, Yacci, 1993, p. 116-117):

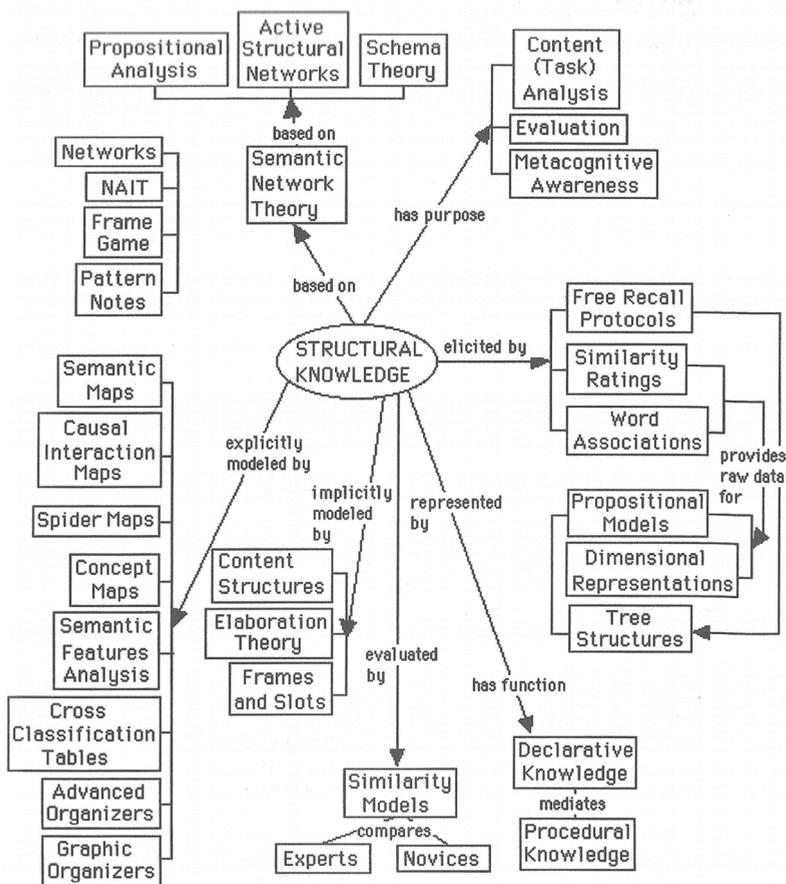
- Elaborative sequence, which arranges the ideas in a unit of instruction based on a single type or structure of content. ...
- Learning prerequisite sequence, so that no idea is presented until all prerequisite knowledge is presented.
- Summarizers at the end of each lesson and at the end of each instructional segment that review the ideas taught with salient examples and practice items.
- Synthesizers at the end of each lesson and again at the end of a set of lessons that relate all of the new ideas back to the epitome and the elaborative sequence of ideas.
- Analogies relate new ideas to knowledge and ideas that the learner already possesses, making the instruction more meaningful.
- Cognitive strategies are learning and thinking skills that can be used to interpret a variety of information. These may include organizational or elaborative strategies. These skills can be taught along with content.
- Learner control allows the learner to make decisions about the content, rate, and sequence of learning or the strategy used to learn with at any point.

In questi requisiti si parla di epitome. Una epitome non è necessariamente l'idea più generale, un principio o un concetto; piuttosto è l'idea più semplice, fondamentale, essenziale o più rappresentativa e che viene presentata in modo da mostrare come può essere utilizzata per comprendere una certa materia. (Jonassen, Beissner, Yacci, 1993, p. 115) Viene riportato l'esempio della storia Nord-Americana: due principi fondamentali dovrebbero includere la “democrazia rappresentativa attraverso le elezioni” e lo “sviluppo economico attraverso il mercato libero”. In chimica potrebbero essere “tutto è formato da atomi” e “la rottura e la formazione dei legami realizzano la complessità”.

Per le solide basi su cui si fonda e per l'importanza che ha costituito per lo sviluppo di altri metodi didattici, questa teoria è stata richiamata nel modello istruttivo a quattro componenti (van Merriënboer, Kirschner, 2018) e nei principi primi dell'istruzione, secondo i quali “the most effective learning products or environments are those that are problem-centered and involve the student in four distinct phases of learning: (a) activation of prior experience, (b) demonstration of skills, (c) application of skills, and (d) integration of these skills into real-world activities.”. (Merrill, 2002, p. 44)

L'indagine della comprensione è l'oggetto di un altro lavoro (White, Gunstone, 1992): quasi tutti i metodi riportati si ritrovano nel testo di Jonas-

sen et al. (1993); forse gli esempi e i modi di utilizzo rendono il testo di White e Gunstone più vicino alla pratica nell'insegnamento. La verifica della comprensione dei concetti può essere complessa e alle volte un unico metodo, ad esempio un questionario a risposte multiple può risultare un mezzo insufficiente, perciò si vogliono offrire agli insegnanti una moltitudine di modi per verificare la comprensione dei concetti acquisita dagli studenti.



**Figura 1.** Mappa concettuale che riporta le tecniche per rappresentare, trasferire e acquisire la conoscenza strutturale. (Jonassen, Beissner, Yacci, 1993, p. 13)

Ma tra tutti questi metodi, in particolare le mappe concettuali, che noi insegnanti giudichiamo in modo positivo come strumento per imparare, quali strategie preferiscono gli studenti quando si preparano per una verifica?

Certamente verranno utilizzati metodi ritenuti efficaci per ottimizzare lo studio e potrebbe sorprendere scoprire che nessuno di questi metodi sia utilizzato: neppure le mappe concettuali. Da uno studio riguardante studenti universitari risulta che la strategia principale usata per prepararsi all'esame è la rilettura degli appunti o del libro di testo. (Karpicke, Butler, Roediger III, 2009) Data l'urgenza di imparare, la rilettura degli appunti o del libro di testo è considerata il metodo più efficace per raggiungere lo scopo. Ma ora esaminiamo più in profondità le mappe concettuali e il loro impiego nell'istruzione.

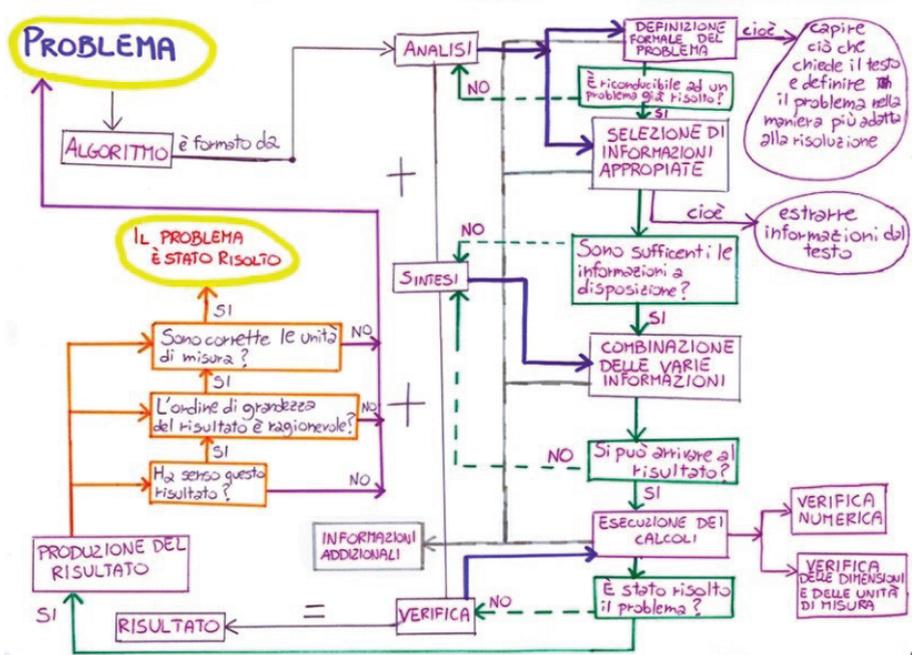


Figura 2. Mappa concettuale sul problem solving.

### Le mappe concettuali

Le mappe concettuali come strumento per rappresentare la comprensione sono state concepite da Joseph Novak nel 1972, quando si è trovata nella necessità di rappresentare la comprensione di concetti scientifici da parte di bambini ed osservare i cambiamenti nella loro comprensione, come risultavano da interviste. (Novak, in Cardellini, 2006, p. 72) Per il loro potenziale nella didattica hanno suscitato molto interesse e nel 1990 erano disponibili 100 riferimenti bibliografici. (Al-Kunifed, Wandersee, 1990)

Sono basate sull'idea che la conoscenza è costruita utilizzando concetti e proposizioni: "The philosophical basis of our work makes concepts, and propositions composed of concepts, the central elements in the structure of knowledge and the construction of meaning." (Novak, Gowin, 1984, p. 7) I concetti sono regolarità percepite in eventi o oggetti, o ricordi di eventi o di oggetti, designati da una label: "perceived regularity in events or objects, or records of events or objects, designated by a label." (Novak, Cañas, 2008, p. 1) L'unità della conoscenza è costituita da due o più concetti combinati per formare una frase con un significato.

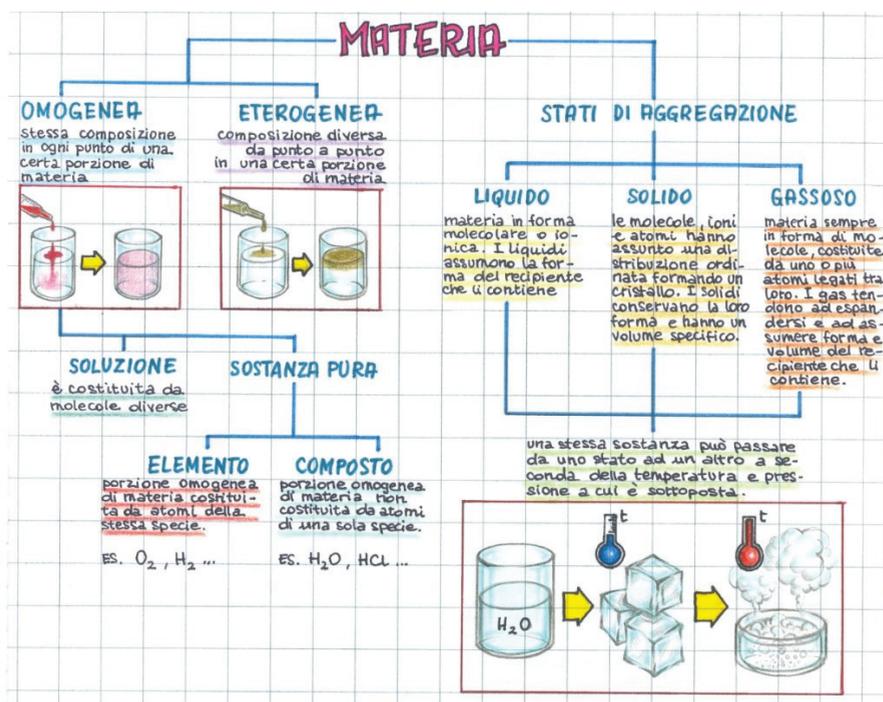


Figura 3. Mappa concettuale sulla materia. Alcuni concetti sono spiegati e visualizzati.

Le mappe concettuali sono uno strumento per rappresentare le strutture della conoscenza: "Concept maps are intended to represent meaningful relationships between concepts in the form of propositions. Propositions are two or more concept labels linked by words in a semantic unit. In its simplest form, a concept map would be just two concepts connected by a linking word to form a proposition. ... A concept map is a schematic device for representing a set of concept meanings embedded in a framework of propositions." (Novak, Gowin, 1984, p. 15) La mappa concettuale va organizzata

gerarchicamente, con i concetti più generali disposti nella parte superiore della mappa e concetti più specifici posti sotto: “the more general, more inclusive concepts should be at the top of the map, with progressively more specific, less inclusive concepts arranged below them.” (Novak, Gowin, 1984, pp. 15-16).

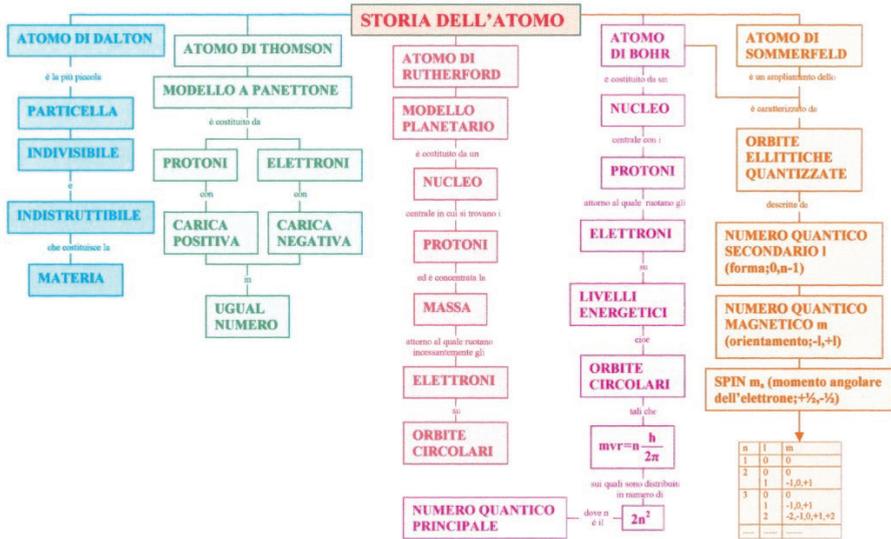


Figura 4. Mappa concettuale sull'atomo e l'evoluzione del concetto.

Le idee sull'istruzione di Novak sono basate sulla teoria dell'istruzione di David Ausubel (Novak, 1984); l'acquisizione dei concetti è un processo sequenziale e individuale che dipende essenzialmente “on the individual's existing concepts at any point in time, instruction must be planned to begin with what the learner already knows and then to modify, extend and reconcile the learner's concepts.” (Novak, 1980, p. 129)

Infatti, secondo Ausubel l'apprendimento consiste nel collegare i nuovi concetti a ciò che già si conosce: “If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.” (Ausubel, 1968, p. vi) Questa affermazione filosofica viene ritenuta fondamentale ed è riportata in *Learning how to learn* (Novak, Gowin, 1984, p. 40).

Ma come ci si dovrebbe accertare di ciò che lo studente conosce? Novak riconosce che è un compito tutt'altro che facile e propone l'uso di questionari sull'associazione di concetti. Ad esempio, usare la label *equilibrio* e vedere quali concetti rilevanti sono collegati al concetto di equilibrio.

Suggerisce un passo ulteriore, quello di chiedere allo studente: “what regularity do you hold as designated by the concept X?” Inoltre, si dovrebbe richiedere una breve descrizione delle qualità e della natura degli oggetti o eventi che si conformano a questa regolarità. (Novak, 1980, pp. 134-135)

Questo accertamento sarebbe difficile da fare per ogni concetto ad uno studente, immaginiamo che mole di lavoro risulterebbe nel caso di 25 studenti o in un corso universitario con centinaia di studenti. In aggiunta, sappiamo che conoscere in modo appropriato il concetto di *equilibrio* in chimica è un evento che richiede molte spiegazioni da parte dell’insegnante e molto impegno e riflessione da parte degli studenti, compresa la soluzione di problemi.

L’affermazione citata in precedenza ed altre affermazioni perentorie di Ausubel sono state criticate da Robert Gagné; nell’insegnamento delle scienze:

“Current curriculum projects have tended to overemphasize the basic sciences (because of their great generalizing power and relative timelessness) and unwarrantedly to denigrate the role and importance of applied science in general education. (p. 354)”; sulla motivazione:

“The development of cognitive drive, or of intrinsic motivation for learning (for the acquisition of knowledge as an end in itself or for its own sake), is the most promising motivational strategy which can be adopted in relation to the culturally deprived child. (p. 446)”; e sulla creatività:

“Hence it is totally unrealistic, in our opinion, to suppose that even the most ingenious kinds of teaching techniques that we could devise could stimulate singular creative accomplishment in children of average endowment. (p. 561)” (Gagné, 1969, p. 288)

Novak accetta alcune idee del costruttivismo, ma rifiuta la posizione radicale rispetto alla natura della scienza e introduce l’idea del costruttivismo umano:

“Human Constructivists take a moderate position on the nature of science. ... We prefer instead a view of science that acknowledges an external and knowable world, but depends critically on an intellectually demanding struggle to construct heuristically powerful explanations through extended periods of interaction with objects, events, and other people. ... we believe that human beings are meaning-makers; that the goal of education is to construct shared meanings and that this goal may be facilitated through the active intervention of well-prepared teachers.” (Mintzes, Wandersee, Novak, 2005, p. xviii)

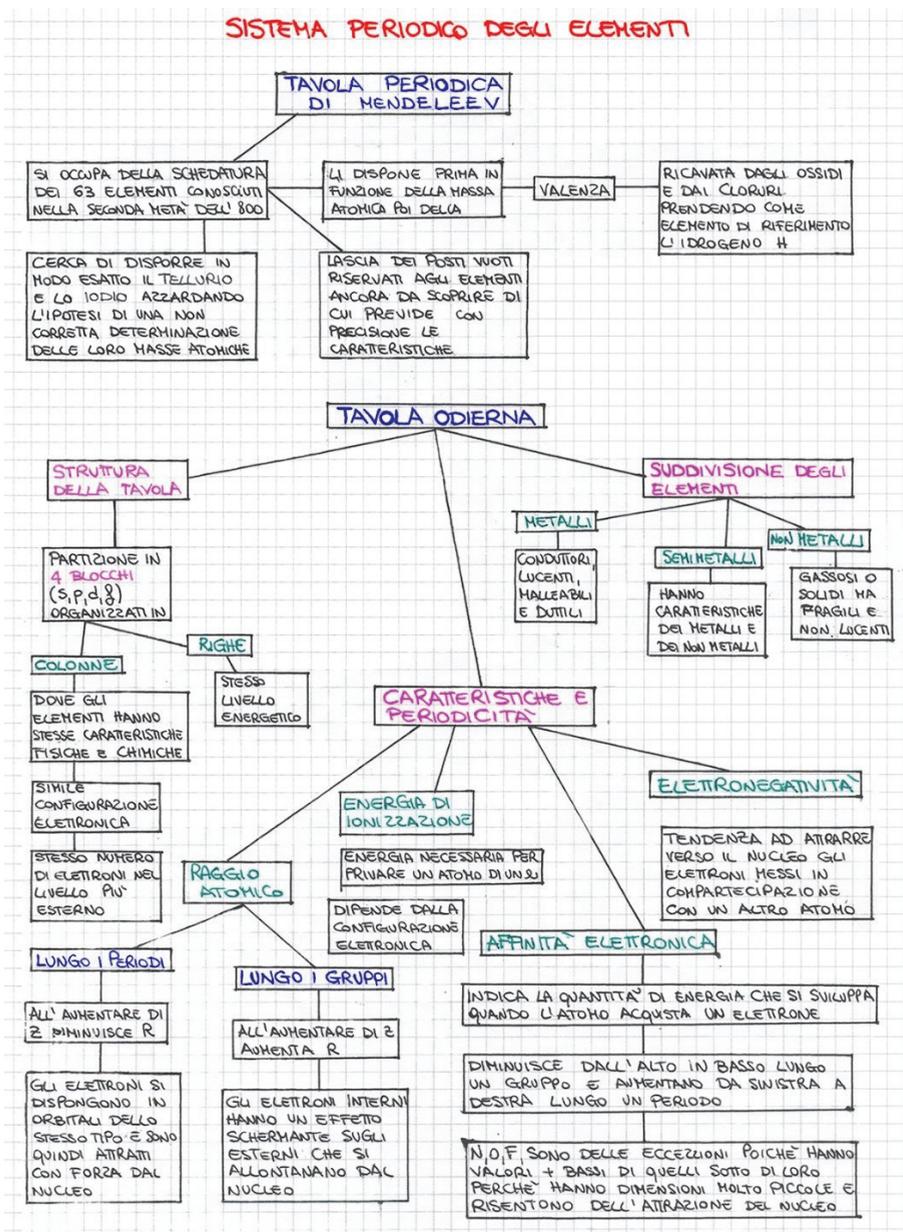
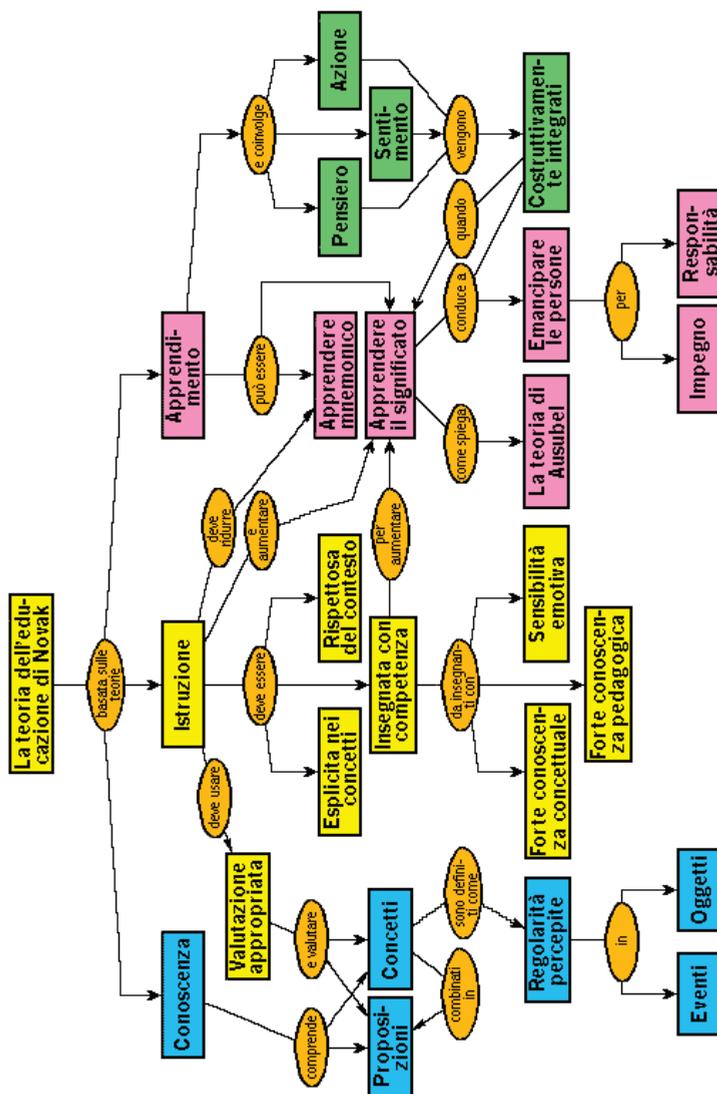


Figura 5. Mappa concettuale sulla tavola periodica. Viene riportato lo sviluppo storico della tavola di Mendeleev.



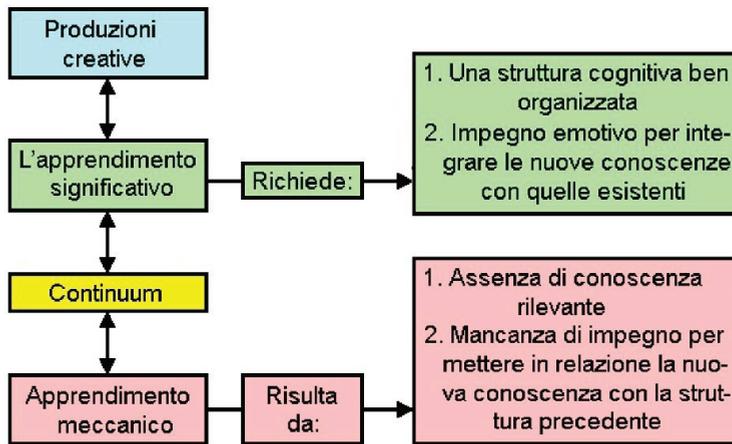
**Figura 6.** La teoria dell'istruzione di Novak rappresentata in una mappa. (Novak, in Cardellini, 2006, p. 75)

Da quello che risulta in letteratura, la valutazione di ciò che lo studente già conosce è stata fatta in pochissimi casi e per fini di studio; una valutazione affidabile risulta difficile. (Schiefele, 1990, p. 336) L'impossibilità pratica di misurare la conoscenza pregressa non ne diminuisce la sua grande importanza. La conoscenza precedente, ovvero quell'insieme di nozioni che si possiedono nel momento di comprendere nuovi concetti gioca un ruolo es-

senziale circa la possibilità di comprendere in modo significativo.

La conoscenza precedente (prior knowledge) è stata definita come: “the whole of a person’s knowledge, which is as such dynamic in nature, is available before a certain learning task, is structured, can exist in multiple states (i.e. declarative, procedural and conditional knowledge), is both explicit and tacit in nature and contains conceptual and metacognitive knowledge components.” (Dochy, de Rijdt, Dyck, 2002, p. 267)

Secondo Lee Shulman, “learners construct meaning out of their prior understanding. Any new learning must, in some fashion, connect with what learners already know. Of course, that is an oversimplification, but it is what I mean by ‘getting the inside out.’” (Shulman, 1999, p. 12) Inoltre, “the need to consider prior knowledge that has been accumulated through both formal and informal means as the base of information influencing all cognitive processes, because these processes operate within the context of prior knowledge.” (Papadopoulos, Parrila, Kirby, 2015, p. 445)



**Figura 7.** La distinzione tra apprendimento mnemonico e apprendimento significativo. (Novak, Cardellini, 2004, p. 15)

La ricerca ha dimostrato l’importanza della conoscenza precedente nella comprensione del testo (Schiefele, 1990), nel problem solving (Chi, Glaser, Rees, 1982) e in chimica farmaceutica: “The results revealed that prior knowledge from previous courses indeed contributed to learning in a more advanced pharmaceutical chemistry course. These results imply that the curriculum reform was successful in constructing courses as a continuum.

Students who possessed relevant and deeper level prior knowledge from previous courses were also likely to get better final grades in the pharmaceutical chemistry course.” (Hailikari, Katajavuori, Lindblom-Ylanne, 2008, p. 6) Gli insegnanti, guidati dalla saggezza della pratica e del buon senso, presentano concetti complessi dopo aver insegnato quelli più semplici, in modo che risulti un incremento continuo di nuove idee. Le idee importanti della teoria dell'istruzione sono state sintetizzate da Novak in una mappa concettuale, come riportato in Figura 6. Viene evidenziata la distinzione tra apprendimento mnemonico e apprendimento significativo (Figura 7) e questa distinzione è collegata alla teoria di Ausubel: “To learn meaningfully, individuals must choose to relate new knowledge to relevant concepts and propositions they already know. In rote learning, on the other hand, new knowledge may be acquired simply by verbatim memorization and arbitrarily incorporated into a person’s knowledge structure without interacting with what is already there.” (Novak, Gowin, 1984, p. 7)

Per essere apprendimento significativo, non è sufficiente collegare i nuovi concetti con quanto già si conosce, ma è necessario essere in grado di utilizzare queste acquisizioni cognitive in altri contesti: “Meaningful learning occurs when students build the knowledge and cognitive processes needed for successful problem solving. Problem solving involves devising a way of achieving a goal that one has never previously achieved; that is, figuring out how to change a situation from its given state into a goal state.” (Mayer, 2002a, p. 227)

Per poter essere usata in altri contesti, la conoscenza deve essere rappresentata e strutturata in modo corretto, in modo che diventi comprensione profonda. In matematica, la comprensione è stata definita come dipendente dal numero e dalla forza delle connessioni nella mente: “A mathematical idea or procedure or fact is understood if it is part of an internal network. More specifically, the mathematics is understood if its mental representation is part of a network of representations. The degree of understanding is determined by the number and the strength of the connections.” (Hiebert, Carpenter, 1992, p. 67) Questa definizione ha validità generale.

Nelle mappe concettuali, oltre a riportare i concetti in ordine gerarchico, è necessario spiegare i collegamenti tra i concetti: “it crucially important to emphasize a hierarchical structure and careful labeling of the lines if the maps were to augment student learning.” (Novak, 1984, p. 609) È stata proposta una definizione di ciò che le mappe concettuali rappresentano: “A concept map is a structural representation consisting of nodes and labeled lines. The nodes correspond to important terms (standing for concepts) in the domain. The lines denote a relation between a pair of concepts (nodes), and the label on the line tells how the two concepts are related. The combination of two nodes and a labeled line is called a *proposition*. A proposition is the

basic unit of meaning in a concept map and the smallest unit that can be used to judge the validity of the relation (line) drawn between two concepts. Concept maps thus purport to represent some important aspect of a student's declarative knowledge in a content domain (e.g., chemistry).” (Ruiz-Primo, Shavelson, 1996, p. 570)

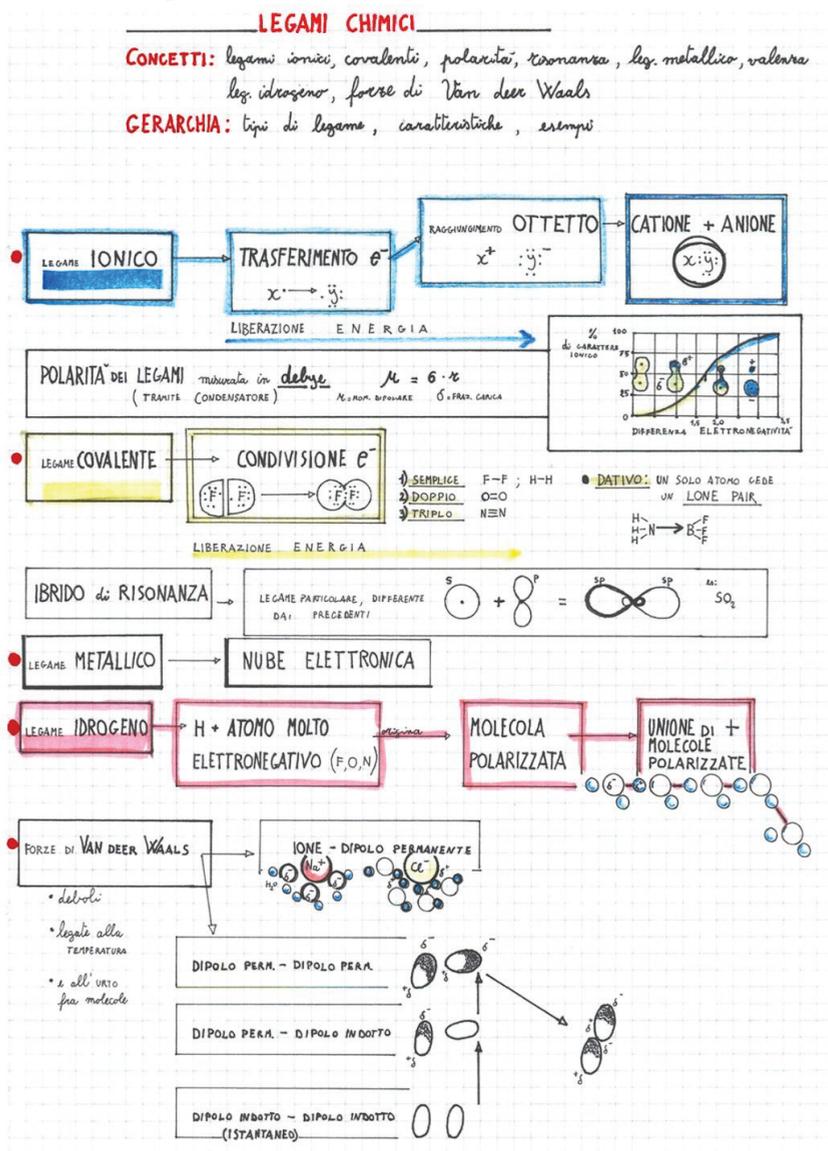


Figura 8. Mappa concettuale sui legami. Lo studente ricorre a dei disegni per rappresentare dei concetti.

Risulta utile aggiungere qualche riflessione sulla limitazione delle mappe concettuali. Tacitamente viene assunto che siano una rappresentazione della conoscenza e di come sia strutturata nella mente; questa è un'ipotesi comoda, ma difficile da dimostrare. La conoscenza strutturale è dinamica e molto complessa, e ciò che viene rappresentato dipende dal contesto e dal compito accademico per il quale la rappresentazione viene creata. "... there are no concept maps in the mind, but rather concept maps represent what we think is in the mind. Concept maps cannot adequately and accurately reflect what is really in the mind ... The point is that concept maps lack reliability. Not only do concept maps change, but also scoring student maps is inconsistent. ... The propositional networks in the mind, in whatever form they exist, are far more complex than anything that can be represented concept maps. ... Concepts are often linked in multiple ways depending upon the particular meaning of each concept, which is contextually dependent." (Jonassen et al., 1997, pp. 302-303)

### I GAS IDEALI

Un gas si definisce ideale o perfetto quando è costituito di particelle puntiformi, di volume trascurabile, in moto casuale continuo privo di reciproche interazioni. Nel proprio moto un gas ideale realizza urti perfettamente elastici (le particelle proseguono di moto rettilineo senza perdere energia) mantenendo un'energia cinetica proporzionale alla temperatura (**moto browniano**). La distanza media tra una particella e l'altra può essere approssimata a dieci volte il loro diametro.

**Legge di Boyle o isoterma:** in condizioni di temperatura costante la pressione di un gas perfetto è inversamente proporzionale al suo volume, ovvero il prodotto della pressione del gas per il volume da esso occupato è costante:  $P \cdot V = \text{COST}$

**Legge di Charles o isobara:** in condizioni di pressione costante il volume di un gas aumenta linearmente con la temperatura (ossia il loro rapporto è costante nel tempo):  $V/T = \text{COST}$

**Principio di Avogadro:** volumi uguali di gas diversi nelle stesse condizioni di pressione e temperatura contengono lo stesso numero di molecole e quindi lo stesso numero di moli.  $V/n = \text{COST}$ . Dunque una mole di gas, qualunque esso sia, occupa un determinato volume detto volume molare. A condizioni normali ( $P=1\text{atm}$  e  $T=273\text{K}$ ) tale volume è di 22,414 litri. **NB:** la pressione di un gas in un certo volume (ed in maniera equivalente il volume occupato da un gas a una certa pressione) è

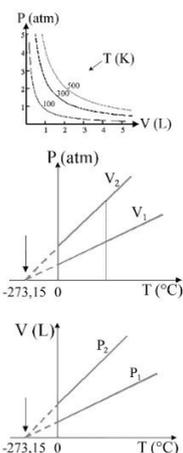


Figura 9. Porzione di riassunto argomentato sui gas ideali.

### Gli studi sulle mappe concettuali

Uno studio svolto su ricerche pubblicate (metanalisi) ha trovato che l'uso delle mappe concettuali ha un effetto positivo sui risultati degli studenti e sulle loro attitudini: "metaanalysis results showed that concept mapping has generally positive effects on both student achievement and attitudes in the 19 studies examined." (Horton et al., 1993, p. 105) Gli articoli considerati riguardavano studenti di paesi diversi e diverse materie. Le mappe concettuali hanno migliorato in modo contenuto i risultati ottenuti (achievement),

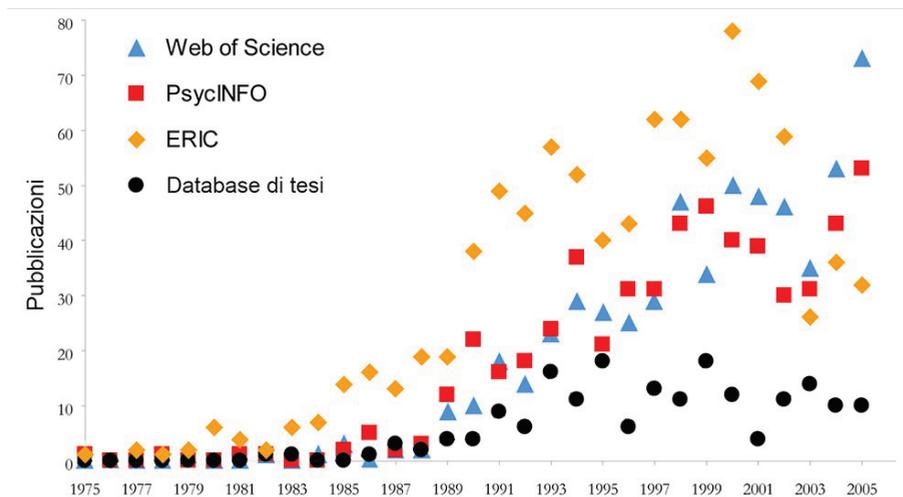
mentre le attitudini sono migliorate in modo sostanziale. Gli studenti che le hanno usate in Biologia hanno ottenuto risultati migliori rispetto agli studenti che hanno usato le mappe concettuali in Chimica e Fisica. La consistenza del miglioramento sia dei risultati che delle attitudini dipende dal paese in cui è stato svolto lo studio; studenti di Nigeria e Taiwan hanno avuto miglioramenti rilevanti rispetto ai loro pari di U.S. e Canada. I miglioramenti trovati vanno considerati con qualche cautela, sia per l'effetto Hawthorne (variazioni temporali dovute alla presenza di osservatori), che per l'influenza della novità, che non ha influito sugli studenti del Nord America e Canada, abituati a sperimentare innovazioni didattiche. (Horton et al., 1993, p. 106)

Forse è necessario spiegare il termine 'attitudine' affinché non resti una parola con un significato vago. Non è una caratteristica data alla nascita; ma viene acquisita in seguito. Il concetto di attitudine è importante nella psicologia sociale perché influenza le tendenze del comportamento. È stato descritto come: "a mental and neural state of readiness to respond, organised through experience, exerting a directive and/or dynamic influence on behaviour" (Riportato da Reid, 2015, p. 5) Risulta essere un costrutto complesso, composto da almeno tre componenti: affettive, cognitive e comportamentali: "if a person's attitude is supported by favorable cognitive content, it is likely to be supported by favorable affective and behavioral tendencies, as well." (Petty, Fabrigar, Wegener, 2003, p. 754) Ma, "Most attitudes related to science education can be described as highly *multi-faceted* or *multi-dimensional*. Any attempt to reduce measurement to a final score for each individual will tend to give a meaningless number and lose important detail." (Reid, 2015, p. 35) L'attitudine è difficile da misurare e viene dimostrato che alcune delle correlazioni derivanti da studi sono poco significative. (Reid, 2015, pp. 21-22)

Un'altra metanalisi ha considerato 122 studi riguardanti l'uso delle mappe concettuali e tra questi sono state selezionate 55 pubblicazioni e queste pubblicazioni hanno riguardato 5.818 partecipanti. Le scuole frequentate da questi studenti andavano dalla quarta elementare alle scuole post-secondarie di scienze, psicologia, statistica e infermieristica. I risultati indicano benefici per gli studenti in un'ampia gamma di attività educative dell'uso delle mappe concettuali rispetto ai riassunti: "in comparison with activities such as reading text passages, attending lectures, and participating in class discussions, concept mapping activities are more effective for attaining knowledge retention and transfer." (Nesbit, Adesope, 2006, p. 434)

Ma la piccola grandezza di questo effetto solleva dubbi sia sulla sua autenticità che sul significato pedagogico: "Much of this benefit may be due to greater learner engagement occasioned by concept mapping in comparison with reading and listening, rather than the properties of the concept map

as an information medium. There is evidence that concept mapping is slightly more effective than other constructive activities such as writing summaries and outlines. But the small size of this effect raises doubts about its authenticity and pedagogical significance.” (Nesbit, Adesope, 2006, p. 434)



**Figura 10.** Numero di pubblicazioni per ricerche sull’uso delle mappe concettuali e della conoscenza, ritrovate nel giugno 2006. Ridisegnata da: Nesbit, Adesope, 2006, p. 414.

Numerose sono le pubblicazioni che riguardano le mappe concettuali e un andamento parziale del loro numero negli anni è riportato in Figura 10. Quasi tutti gli studi riportano delle influenze positive circa il loro uso. (Earl, 2007; BouJaoude, Attieh, 2008; Ritchhart, Turner, Hadar, 2009; Lee et al., 2013; Burrows, Reid Mooring, 2015; Turan-Oluk, Ekmekci, 2018) Però, è stato trovato che non ci sono prove di benefici a lungo termine. Se gli studenti apprezzassero il valore della tecnica dovrebbero adottarla anche in assenza della pressione degli insegnanti, invece “it is not possible to conclude what proportion of students found mapping to be useful in the long term, though the evidence suggested only a small one.” Inoltre, l’uso delle mappe concettuali “did not challenge the thinking ability of some students.” (Santhanam, Leach, Dawson, 1998, p. 324) Considerando le varie discipline, il numero di studi pubblicati variano parecchio. Ad esempio, ci sono pochi studi riferiti alla matematica (Bolte, 1999; Baroody, Bartels, 2000; Novak, Cañas, 2009), mentre un numero rilevante di studi sono stati condotti nella formazione infermieristica e una review della letteratura pubblicata elenca 110 pubblicazioni. (Daley, Morgan, Beman Black, 2016) Anche le mappe

mentali si sono dimostrate utili organizzatori visuali per la concettualizzazione della conoscenza e sono state giudicate interessanti dagli studenti. (Rooda, 1994)

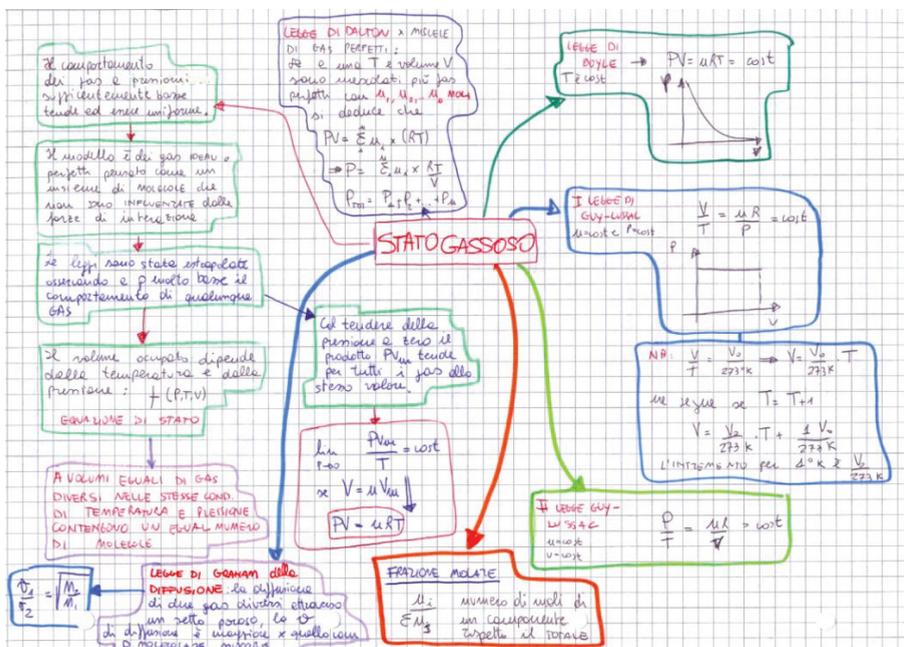


Figura 11. Mappa mentale sui gas ideali.

Nonostante le ripetute affermazioni circa l'efficacia delle mappe concettuali e dei diagrammi a V, sono state evidenziate le seguenti criticità: (Ebenezzer, 1992, p. 467)

- There are problems in teaching students how to use the techniques.
- There are difficulties in convincing students to accept the strategies.
- There are difficulties in getting students engaged in the strategies.
- Complex concept maps are confusing due to many lines and connections.
- Constructing and evaluating concept mapping is a fairly time-consuming process for teachers who have limited teaching time and a vast syllabus to cover.
- Evaluating a concept map and assigning a grade in the manner prescribed by Novak and Gowin seem unjustified.
- Students are often confused by the conceptual side of the V diagram and often become frustrated. They often do not readily discern the differences among the terms used.

- Technique may become an end in itself, with the science becoming secondary to it. This is a big mistake.
- When “simple” maps are presented by “experts” they can reinforce misconcepts, thus creating pedagogical damage.

In chimica le mappe concettuali sono state usate in vari contesti; per motivi di ricerca e nell’insegnamento, poiché rendono l’apprendimento dei concetti più significativo. (Ebenezer, 1992) Sono state usate per studiare l’organizzazione della conoscenza dell’equilibrio da parte di studenti e insegnanti e risultano delle differenze nel grado di organizzazione gerarchica della conoscenza concettuale. Gli insegnanti e gli studenti migliori hanno una conoscenza dell’equilibrio chimico significativamente differente rispetto agli studenti più scarsi. (Wilson, 1994).

Due studi riguardano l’uso delle mappe concettuali in laboratorio. In un esperimento gli studenti suddivisi in due gruppi sono stati coinvolti in quattro esperienze di laboratorio; agli studenti sono state fornite procedure scritte e ad un gruppo di studenti è stato chiesto di preparare mappe concettuali prima e dopo l’esperienza di laboratorio. I punteggi raggiunti nei test di comprensione indicano che non vi sono differenze significative tra i due gruppi: “no significant differences were found between those who constructed concept maps and those who did not when only group scores on the comprehension test were compared.” (Stensvold, Wilson, 1992, p. 231) Differenze significative sono state trovate nella valutazione delle abilità verbali: gli studenti con elevate abilità verbali che hanno costruito le mappe hanno ottenuto bassi punteggi, mentre gli studenti con basse abilità verbali che hanno costruito le mappe hanno ottenuto punteggi più elevati degli studenti che non hanno costruito le mappe concettuali. (Stensvold, Wilson, 1992, pp. 231-232)

Un altro studio è stato svolto con studenti del primo anno di college per verificare se l’utilizzo delle mappe concettuali migliora l’apprendimento del materiale concettuale associato con gli esperimenti che vengono svolti in laboratorio. Ad un gruppo di studenti è stato chiesto di preparare mappe concettuali prima e dopo ciascuna esperienza di laboratorio, mentre un secondo gruppo ha scritto saggi che spiegano la chimica concettuale dei quattro esperimenti. I risultati indicano che in tre esperimenti non vi sono differenze nella comprensione dei concetti, mentre in un quarto esperimento gli studenti che hanno scritto il saggio hanno ottenuto risultati significativamente migliori: “With respect to their understanding of the concepts involved in each of the four experiments, no significant differences were found on three of the four achievement tests between students who wrote essays and those who constructed concept maps. ... For one of the four experiments, students who wrote essays scored significantly higher on the achievement test.” (Markow, Lonning, 1998, p. 1020)

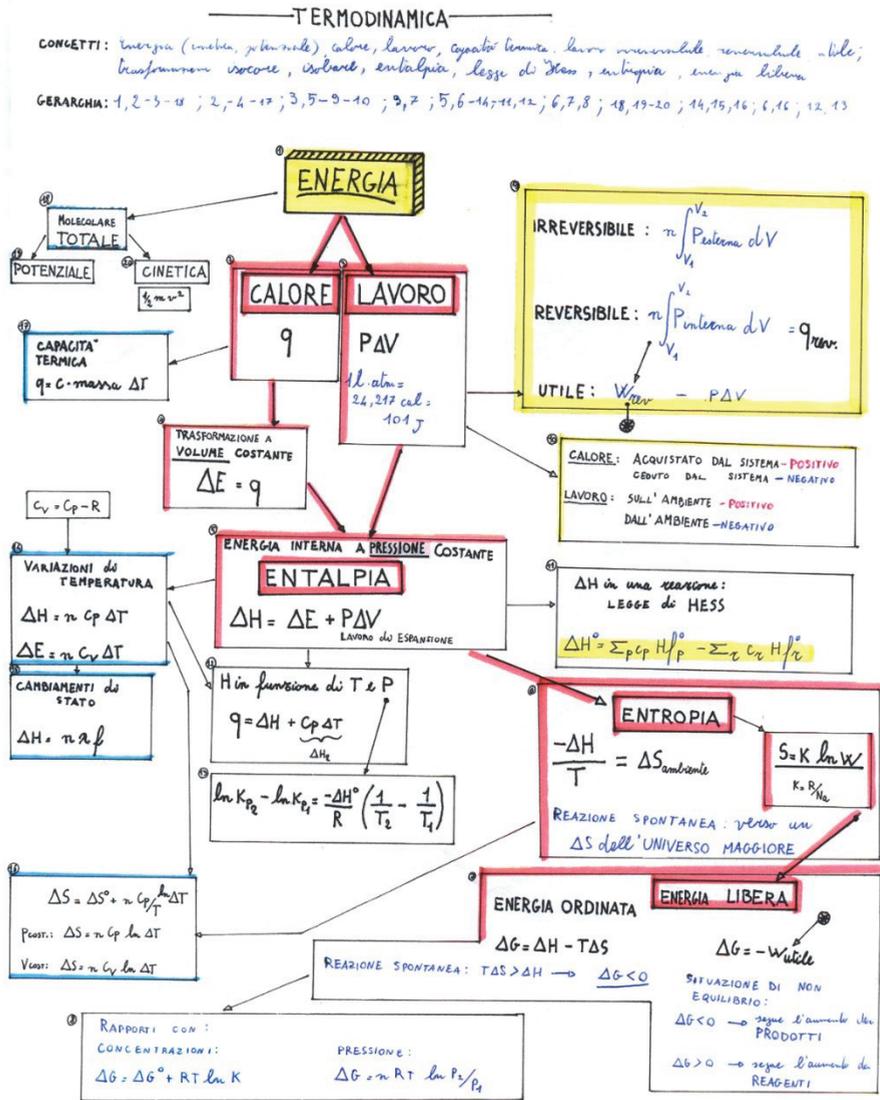


Figura 12. Mappa mentale sulla termodinamica. La presenza dell'equazione di van't Hoff integrata fa supporre che sia stata ridisegnata dopo lo studio del capitolo sull'equilibrio chimico.

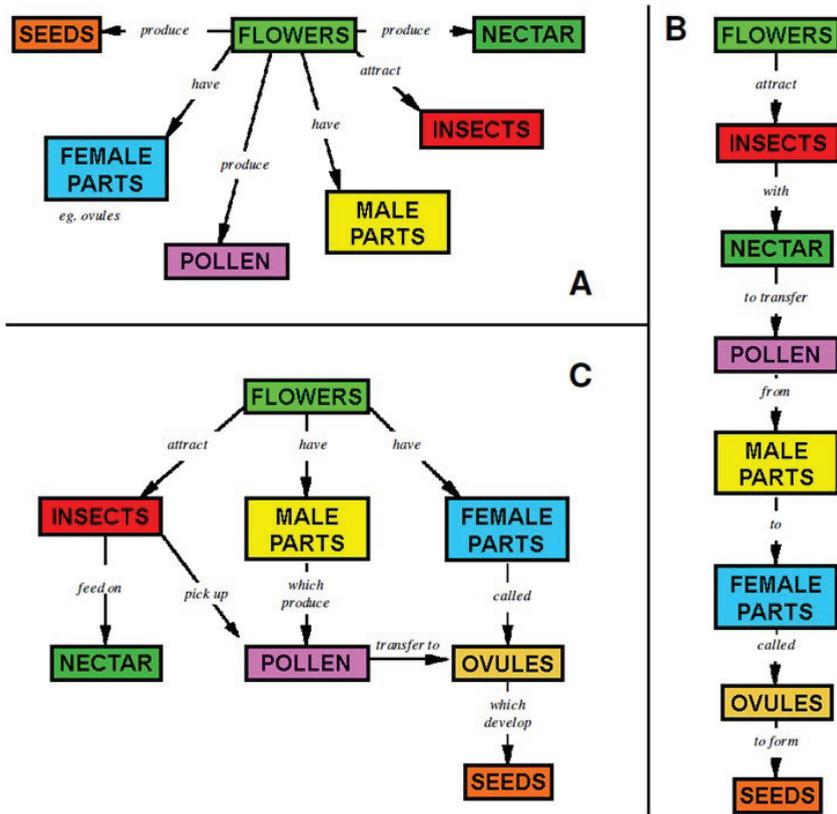
Per lo studente che si appresta a studiarla, la chimica appare come una materia ricca di molti concetti astratti e non intuitivi; spesso non sono direttamente correlati e questo genera difficoltà e idee sbagliate.

Uri Zoller dimostra come in questi casi le mappe concettuali dovrebbero essere sostituite da specifiche strategie alternative; “in dealing with abstract, nonintuitive, and logically noninterrelated disciplinary concepts and subconcepts, the application of the *concept mapping* approach turns into a problem. ... the many difficulties which students encounter in freshman chemistry are probably the consequence of the many existing, abstract, nonintuitive, and *not-directly-interrelated* concepts and subconcepts. Consequently, they are not prone to “concept mapping,” which is expected to foster a “desired” cognitive structure within students.” (Zoller, 1990, pp. 1054-1055) Le mappe concettuali “can and should serve as an efficient intervention strategy in teaching science and overcoming students’ *alternative* conceptions. Alternative *specific* strategies should be applied when noninterrelatedness characterizes a set of concepts and/or subconcepts to be taught in science.” (Zoller, 1990, p. 1063)

In biologia viene proposta una valutazione qualitativa delle mappe, perché “The scoring of only ‘valid links’ also misses the point that ‘invalid’ links may have a value to the student by supporting more valid links (sometimes temporarily) and so contributing to the overall knowledge structure that he or she is using as a basis for further learning. The usual emphasis on ‘valid links’ seems to contradict the constructivist philosophy underlying the use of concept maps by failing to recognize the significance of students’ perspectives. The invalid links in a student’s map may reveal much about the thought processes that lead a student along a particular path of understanding.” (Kinchin, Hay, Adams, 2000, p. 46) Queste sono osservazioni importanti, sia rispetto alle idee del costruttivismo, che sul valore dei link invalidi. In questo articolo vengono presentate tre strutture di mappe concettuali (Figura 13).

Vengono fatte alcune speculazioni circa la possibilità che uno studente di terza media avrebbe di imparare nel processo di incrementare il proprio apprendimento in modo significativo a partire dalle strutture riportate in Figura 13. “If a pupil holds a spoke structure (Figure 13 (a)), then the addition of new knowledge will not cause any disturbance to the existing framework. It can simply be added in with a link to the core concept, but without any links to associated concepts. The result would be that the **knowledge can be assimilated quickly, but only be accessed by reference to the core concept and not by reference to one or other of the associated concepts**. ... with a chain structure (Figure 13 (b)), the addition of new knowledge will be easy if there is an obvious break in (or premature end to) the sequence, but may be problematic if a workable sequence is already in place as the additional concept may appear superfluous. Alternatively, the addition of a concept near the beginning of the sequence may be so disruptive to the knowledge structure lower down that incorporation of **the new**

knowledge is rejected. ... with a net framework (Figure 13 (c)), access to a particular concept may be achieved by a number of routes, making the knowledge more flexible.” (Kinchin, Hay, Adams, 2000, pp. 47-48, grassetto aggiunto)



**Figura 13.** Le strutture principali di mappe concettuali: (a) Spoke, una struttura radiale in cui tutti i concetti sono collegati al titolo, ma non collegati tra loro; (b) Chain, una sequenza lineare in cui ciascun concetto è collegato al successivo e la gerarchia implicata non è valida; (c) Net, una rete di concetti integrati e in ordine gerarchico, che dovrebbero indicare una conoscenza profonda dell’argomento. (Ridisegnato da: Kinchin, Hay, Adams, 2000, p. 47)

Sarebbe interessante sapere come è stato stabilito che la struttura della mappa, derivata da una produzione idiosincratca, possa determinare il destino della nuova conoscenza nella mente e stabilire a priori se venga assimilata, ovvero resa più flessibile o addirittura rigettata.

Anche gli studenti universitari a volte aggiungono concetti o spiegazioni o considerazioni (Figura 14):

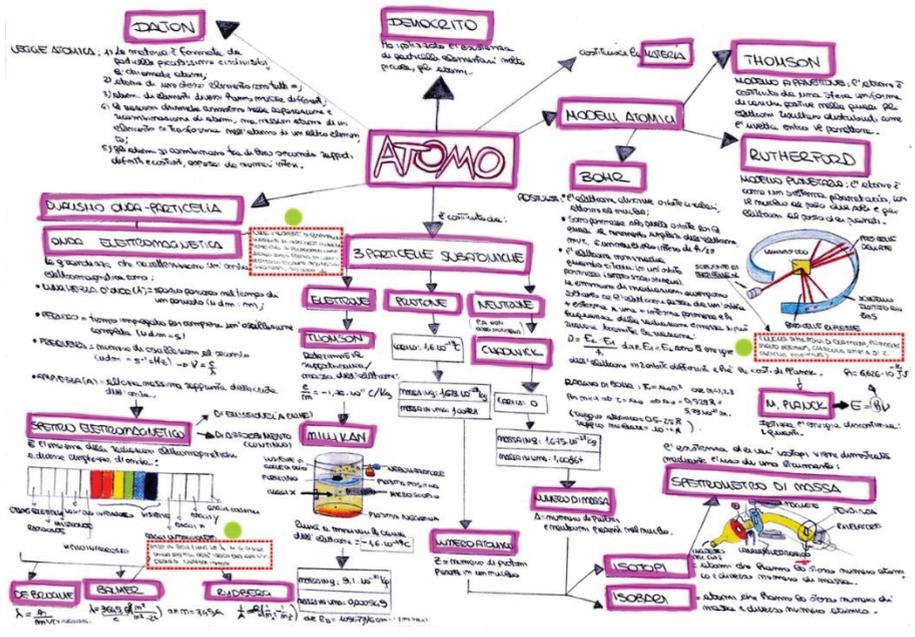


Figura 14. Nei tre riquadri tratteggiati in rosso sono stati inserite delle spiegazioni a matita, probabilmente in un secondo momento. Nella mappa sono contenuti molti concetti, formule, dati e spiegazioni; potrebbe essere considerato un riassunto argomentato, ma viene considerata mappa perché i concetti sono collegati e organizzati in modo gerarchico. (Cardellini, 2010, p. 233)

Le congetture vengono reiterate e rifinite in un nuovo articolo con affermazioni più nette circa la natura della conoscenza desunta dall'organizzazione della mappa. Viene affermato che “chain thinking is likely to reflect prior-learning that has been achieved superficially, to maximise expediency or even with “intentional” neglect of information. Its advantage is that it is unencumbered by complexity but its disadvantage is lack of applicability. Among chain thinkers, flexibility is not gained by the cognitive structure itself but by the persistence of a variety and alternative structures that can be retrieved and utilised in different contexts and situations. ... Spoke thinking is indicative of superficial and undeveloped knowledge of a subject. The author of a “spoke map” knows that a variety of concepts is important in a particular topic, but can not explain how or why. However spoke maps also suggests “learning in progress” (or “learning readiness”). Both chains and networks are likely to collapse after serious conceptual challenge (chains

more so than nets), but the spoke is the precursor for future conceptual development and elaboration.” (Hay, Kinchin, 2006, pp. 138-139)

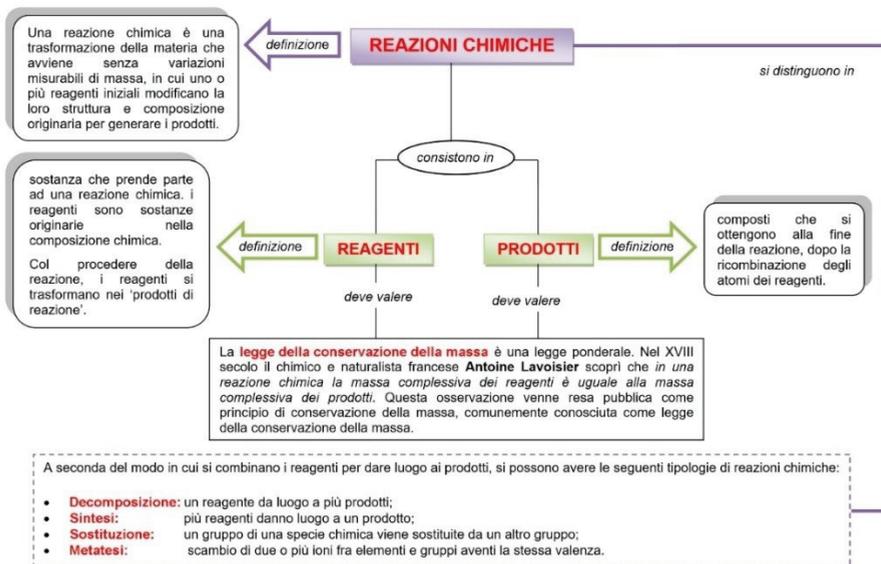


Figura 15. Riassunto argomentato sulle reazioni chimiche.

Nella mappa riportata in Figura 16 si possono notare sia l’assenza di spiegazioni nei collegamenti, che delle frecce e questo indicherebbe una conoscenza superficiale (Hay, 2007, p. 49) mentre l’assenza di collegamenti incrociati, fra una parte della mappa e l’altra, indicherebbe il non apprendimento. (Hay, 2007, p. 50) In questa mappa non viene collegata l’elettronegatività con le interazioni deboli. Le aggiunte sulla mappa dimostrano che lo studente ha studiato di nuovo i legami chimici, riflettuto sui concetti presenti e ha riportato la nuova conoscenza acquisita. Si tratta di una mappa essenzialmente lineare (Chain) e contrariamente a quanto affermato nelle pubblicazioni citate sopra, lo studente ha evidenziato una solida preparazione all’esame e risolto numerosi problemi in modo riflessivo.

La crescita della conoscenza negli studenti deve includere delle competenze e abilità verificabili. Oltre alla conoscenza dichiarativa e concettuale evidenziata in parte dalle mappe concettuali, per la crescita cognitiva sono fondamentali le abilità derivate dalla conoscenza procedurale; l’insieme di queste abilità acquisite in modo significativo realizzano la conoscenza profonda (Deep learning). Le abilità procedurali si acquisiscono con la pratica: “skills are typically learned through *practice*. That is, the learner repeatedly attempts to perform a task that he has not fully mastered, not for the sake of the results of his performance but for the sake of improving. ...

Although we often take *studying* to mean *reading*, practice is also important in academic learning. Many subjects, although taught in a lecture format, contain elements of practice. In physics and mathematics, students practice solving problems; ... in laboratory subjects like chemistry and psychology students practice experimental design, data collection and data analysis. Practice is the most prevalent mode of learning, in and out of school. Practice requires a situation that is set aside for the purpose of learning.” (Ohlsson, 2011, p. 172)

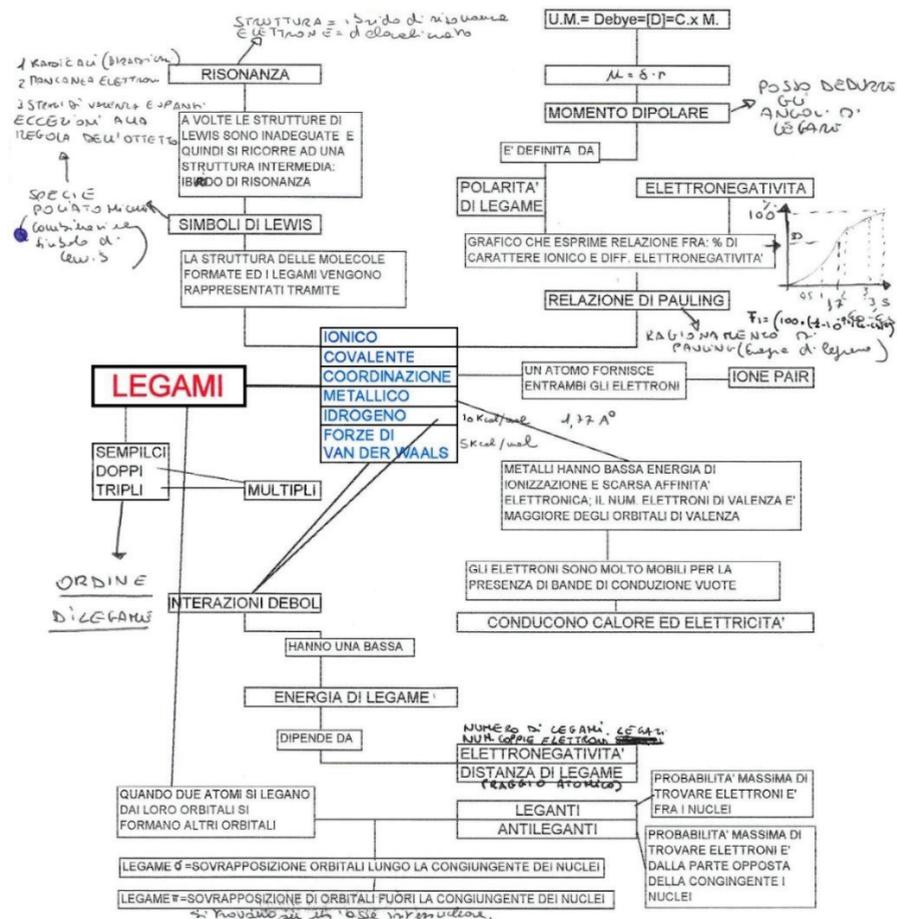


Figura 16. Mappa concettuale sui legami chimici. I concetti sono collegati da spiegazioni in modo essenzialmente lineare. Diversi concetti, osservazioni e spiegazioni sono stati aggiunti studiando e riflettendo sulla mappa già realizzata.



knowledge in a class of 400 students just as quickly and as easily as with a single person.” (Hay, Kinchin, Lygo-Baker, 2008, p. 302)

Chi ha esperienza con l’uso delle mappe concettuali sa che è necessario del tempo per familiarizzare con il loro uso; ad esempio, in un corso per insegnanti di scienze l’utilizzo delle mappe concettuali sono state insegnate per 3,5 ore. (Starr, Krajcik, 1990, p. 989) Gli studenti hanno bisogno di tempo per potere usare lo strumento in modo agevole: “All’inizio gli studenti si sono allenati nella costruzione di semplici mappe con gli opportuni simboli grafici e ciò ha richiesto circa un mese di tempo.” (Mei, 2000, p. 91) Inoltre, valutare la conoscenza acquisita in precedenza da una mappa concettuale non è immediato e potrebbe risultare difficile. Immaginiamo un insegnante di un corso ingegneristico di Tecnica delle costruzioni o di Restauro, che debba valutare la conoscenza di un suo studente dalla mappa riportata in Figura 18 rispetto alle conoscenze necessarie sul calcestruzzo apprese nel corso di Scienza e tecnica dei materiali:

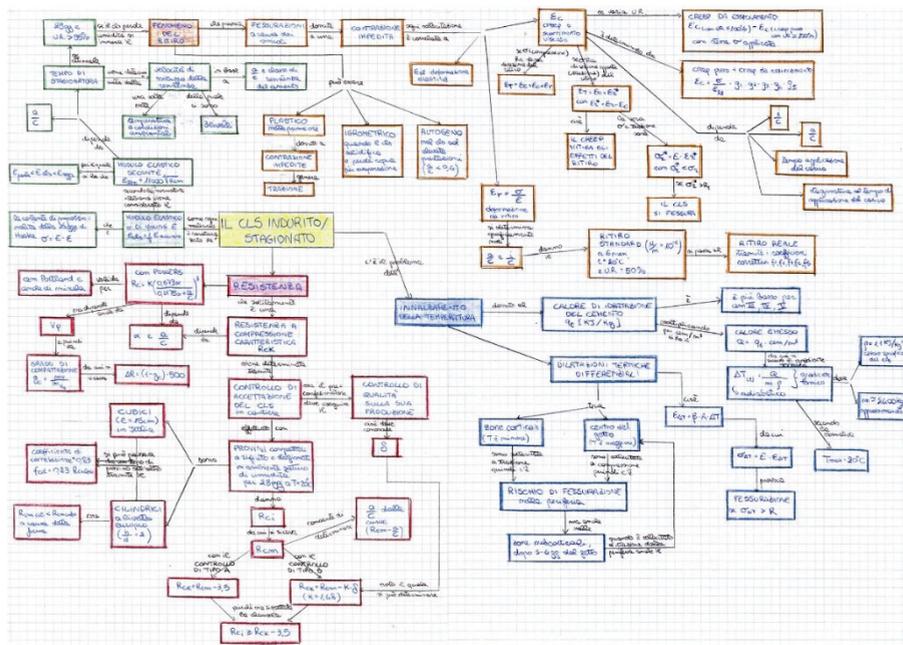


Figura 18. Mappa concettuale dello studente A sul calcestruzzo. Quanto tempo è necessario per pensare, organizzare e disegnare una mappa di tale complessità?

La comprensione del livello di conoscenza potrebbe risultare non immediata anche per l’insegnante Scienza e tecnica dei materiali, mentre risulterebbe certamente difficile per un insegnante di un altro corso; inoltre, altri studenti potrebbero costruire mappe sullo stesso argomento in modo



volezza di essere capace di dominare il proprio funzionamento psicologico e sociale, giocano un ruolo importante. Risulta che “self-beliefs strongly and directly affected prior knowledge test performance. This suggests that academic self-beliefs may have influenced the way in which students responded when they were exposed to the prior knowledge test at the beginning of the course. Students who had greater confidence in their ability to perform well may have persisted longer with the prior knowledge test, which was reflected in their prior knowledge performance.” (Hailikari, Nevgi, Komulainen, 2008, p. 68)

Per studenti di un corso di chimica farmaceutica, oltre alla conoscenza dichiarativa, che si potrebbe misurare con le mappe concettuali e la conoscenza procedurale, misurabile con test di problem solving sono importanti le abilità pratiche su come operare in laboratorio e la loro mancanza costituisce un serio problema: “lacked prior knowledge from their basic science courses when they entered the more advanced laboratory course in pharmaceutical chemistry. Students had problems with basic science concepts, and furthermore, difficulty applying this knowledge to practice during their laboratory work.” (Hailikari, Katajavuori, Lindblom-Ylänne, 2008, p. 2)

Affinché gli studenti affrontino con successo le attività scolastiche, dovrebbero aver acquisito negli studi precedenti diverse caratteristiche e conoscenze; molte ricerche dimostrano che le abilità necessarie sono molte di più di quanto potrebbe risultare dalla valutazione di una mappa concettuale. Le caratteristiche motivazionali e nelle scienze e in particolare in chimica, le abilità cognitive nel problem solving e la capacità di applicare le conoscenze nella pratica del laboratorio richiedono altri tipi di valutazione.

Forse è necessario ampliare il significato di prior knowledge: “When prior content knowledge is accurate, sufficient, active and appropriate, students can build on that foundation, connecting new content knowledge to already established content knowledge in a framework that will enable them to learn, retrieve, and use new knowledge when they need it. When prior skills – both domain-specific and more general, intellectual skills – are honed, accessed appropriately, and used fluently, they help students to learn more complex skills. And when prior beliefs support behaviors that lead to learning, students’ performance is enhanced. However, students will not have a stable base on which to build new knowledge if their existing content knowledge is distorted, if their skills are inadequate, and/or if their beliefs lead to behavior that impedes learning.” (Ambrose, Lovett, 2014, p. 7)

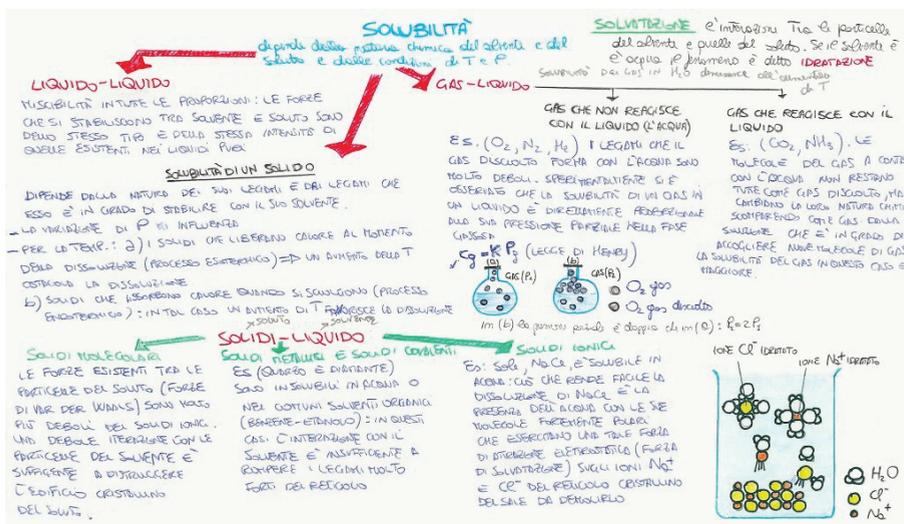


Figura 20. Rappresentazione grafica sulla solubilità.

Nell'articolo già citato si ipotizza la correzione attraverso la comparazione con la mappa dell'insegnante e l'insegnante potrebbe comprendere quali concetti meritano una spiegazione maggiore: "Where students map the same topic as their teachers, comparing their maps can help to show the ways in which students can (or cannot) construct meaning from the new material they encounter. If this is done through time, it can reveal the learning process itself, by helping teachers and students to understand which new concepts need further explanation to facilitate meaningful learning." (Hay, Kinchin, Lygo-Baker, 2008, p. 307) Non viene però detto come sia possibile fare tutto ciò con un corso di 400 studenti. E veniamo alla correzione delle mappe.

### La correzione delle mappe

La correzione degli errori è una operazione che in generale impegna notevolmente l'insegnante e può risultare molto utile per gli studenti, almeno per coloro che vorrebbero raggiungere traguardi ambiziosi e che siano consapevoli di avere per questo bisogno di aiuto. Pertanto, in un ambiente universitario che voglia favorire la formazione appropriata degli studenti, gli errori non dovrebbero essere giudicati in modo troppo severo, ma occasioni per aiutare lo studente disposto ad impegnarsi a superare al meglio l'esame. "Everyone has to learn starting from his/her own actual repertoire. This is why errors are not bad, but good in the educational enterprise: They tell every learner about the biases in his/her own repertoire

of schemes. For this reason teachers should avoid associating learners' errors with negative feelings, emotions, or punishments.” (Cardellini, Pascual-Leone, 2004, p. 212).

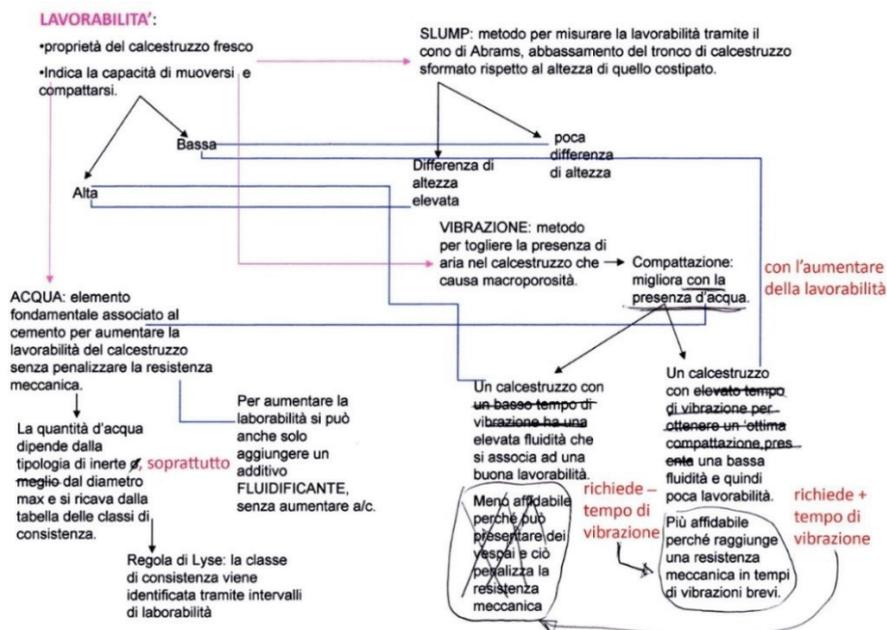
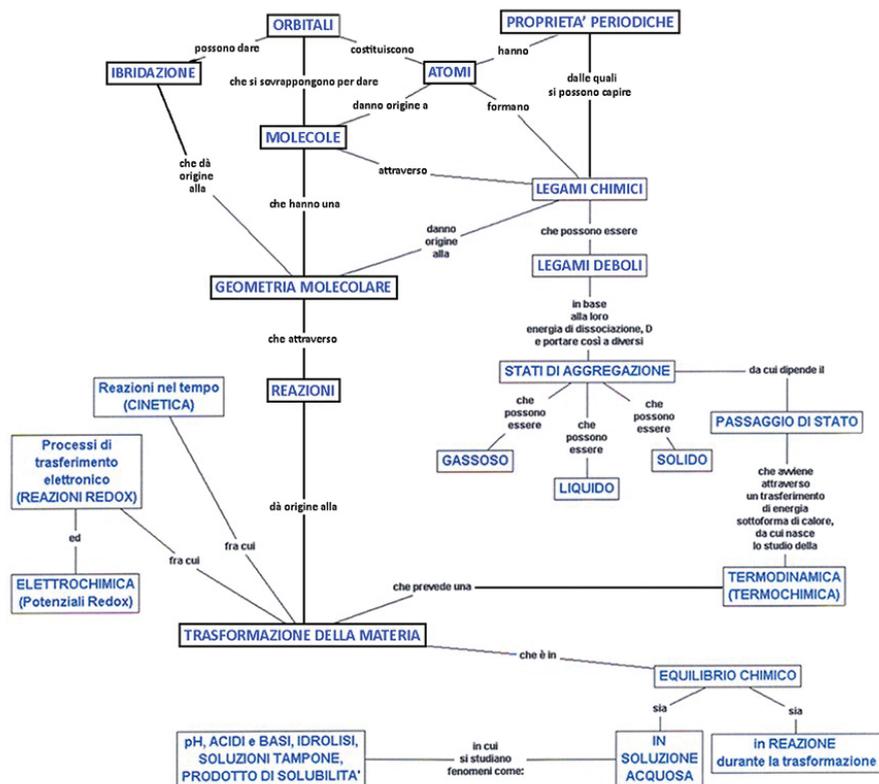


Figura 21. Mappa concettuale sulla lavorabilità del calcestruzzo, con degli errori concettuali corretti dall'insegnante.

La Figura 22 riporta una ‘mappa’ giudicata di notevole efficacia sintetica. Questa esperienza di correzione delle mappe che ha riguardato una minoranza di studenti frequentanti il corso (vedi dopo) è stata produttiva per alcuni, ma non per tutti. Per alcune decadi la ricerca didattica ha prosperato studiando le concezioni ingenuie e le idee sbagliate possedute dagli studenti. Questi ricercatori, molto spesso insegnanti hanno documentato in oltre 8.000 pubblicazioni le misconcezioni possedute dagli studenti: “Their existence and robust persistence after formal instruction and other direct forms of interventions has been documented in over 8,338 papers” (Chi et al., 2012, p. 2) Si tratta di un problema serio e non sono state trovate strategie generali per le diverse materie e che risultino valide per tutti gli studenti, infatti “the biggest challenge facing conceptual-change researchers is to specify testable theories and find empirical data to test them.” (Mayer, 2002b, p. 111)





**Figura 23.** Mappa concettuale di un professore universitario. Che gli orbitali costituiscano gli atomi è una affermazione troppo forte, che se fatta da uno studente non potremmo accettare.

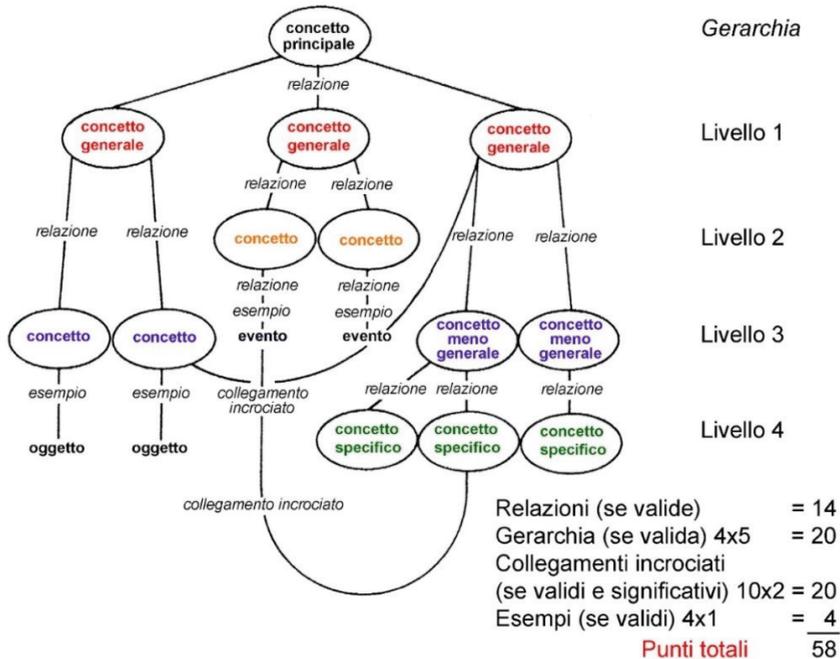
### La valutazione delle mappe concettuali

Le mappe concettuali sono uno strumento didattico utile sia agli studenti che ai docenti, per avere la conferma che gli studenti seguano ciò che a lezione viene spiegato. Novak afferma che un giudizio qualitativo sull'organizzazione di una mappa è ciò che serve agli insegnanti. "Scoring was in many respects irrelevant, for we were looking for qualitative changes in the structure of children's concept maps. But because we live in a numbers-oriented society, most students and teachers want to score concept maps." (Novak, Gowin, 1984, p. 97) Siccome si vuole misurare tutto, è stato sviluppato uno schema per la valutazione quantitativa, riportato in Figura 24.

Una ricerca condotta su mappe prodotte da studenti alle prese con la genetica mendeliana per verificare le proprietà del modello di valutazione

proposto ha trovato che il modello non è soddisfacente: “for diagnostic purposes the ‘Novakian’ quantitative scoring scheme proved unsatisfactory. It did not enable predictions of ‘examination’ success; and the scores do not reveal specific misunderstandings or weaknesses.” (Stuart, 1985, p. 80) Uno dei motivi di questa insufficienza è che non viene tenuto conto della qualità dei collegamenti tra i concetti. Viene concluso che “If concept maps are to be of greater utility, for educational research and as an aid to teaching and learning, a more holistic and qualitative scoring technique needs to be developed.” (Stuart, 1985, p. 80)

### Modello per assegnare il punteggio



**Figura 24.** Modello per la valutazione quantitativa delle mappe concettuali. (Ridisegnato da Novak, Gowin, 1984, p. 37.)

Questo modello di assegnare il punteggio è stato utilizzato in uno studio condotto per valutare la conoscenza di due argomenti scolastici, la forza e le soluzioni ed è risultato che non era internamente coerente, e non è stata evidenziata alcuna correlazione significativa tra i punteggi degli studenti ottenuti dalle mappe concettuali e i punteggi degli studenti sulle valutazioni convenzionali dei risultati in classe. Viene suggerita la necessità di sviluppare un nuovo modello di valutazione, perché “Given the fact that Novak and Gowin’s scoring scheme is not internally consistent, and consequently,

the prediction validity is low, it is necessary to examine the internal consistency of current existing scoring schemes and any new scheme proposed. In addition, the development of a new scoring scheme may become necessary.” (Liu, Hinchey, 1996, p. 933)

In molte pubblicazioni viene riportata la valutazione delle mappe con criteri molto diversi; Jonassen et al. (1997, pp. 301-302) elencano 15 aspetti diversi della mappa che potrebbero essere usati singolarmente e in combinazione per la valutazione. Ruiz-Primo e Shavelson, (1996, pp. 586-589) elencano 21 strategie diverse di valutazione, che possono essere classificate in tre sistemi generali: a) valutare le componenti della mappa dello studente, b) comparare la mappa dello studente con una mappa di riferimento e c) usare una combinazione dei due precedenti sistemi.

Paragonare la mappa dello studente con la mappa dell'esperto viene ritenuto discutibile in quanto esiste una profonda differenza sostanziale tra le due figure; inoltre, chi sarà l'esperto autore della mappa di riferimento? Questo modo di valutare la mappa dello studente “is very questionable. ... The expert-novice literature is replete with distinctions between how experts and novices organize and represent what they know, so it is problematic to assume that a novice should be compared to an expert. Additionally problematic is who should the expert be to whom novices are compared, a domain expert, a teacher, or high achieving students. Experts vary dramatically in the ways they represent problems, so which expert is correct?” (Jonassen et al., 1997, p. 300)

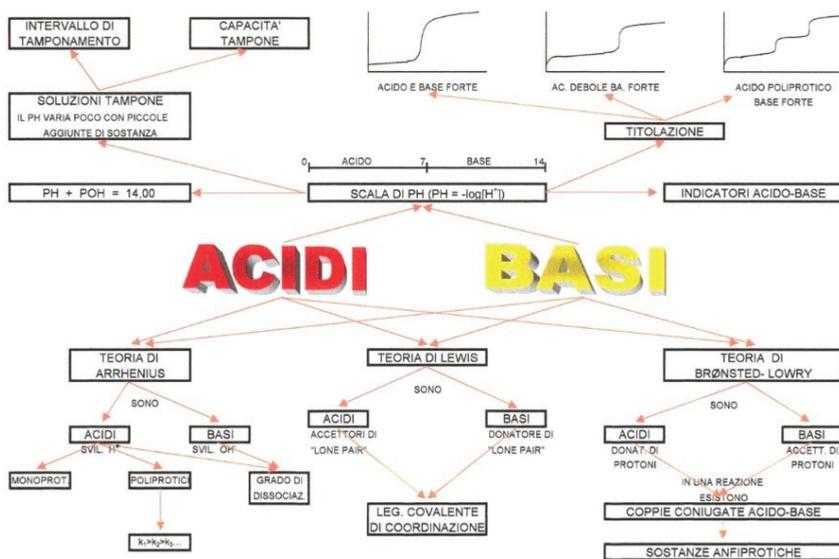


Figura 25. Mappa concettuale sull'argomento acidi e basi.

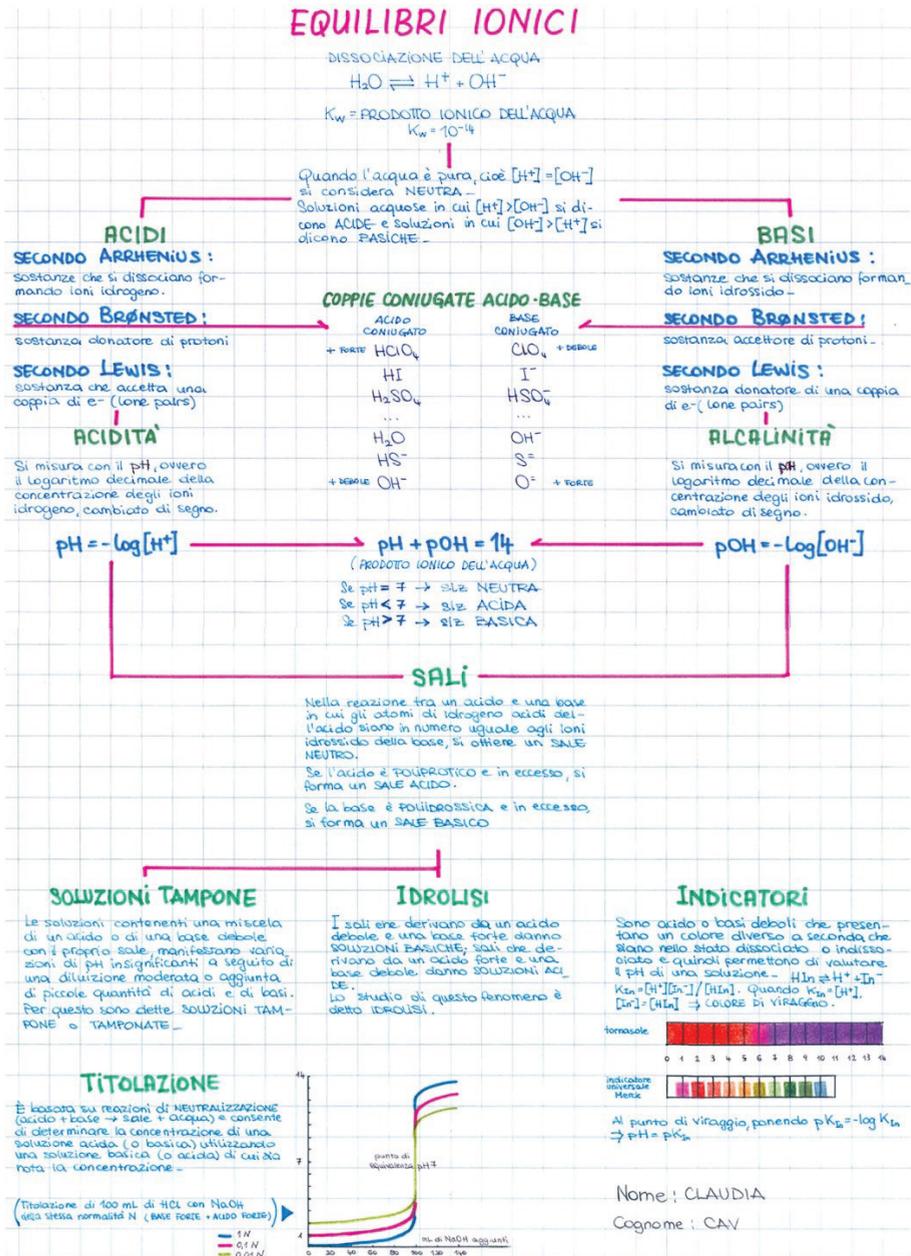


Figura 26. Mappa concettuale sugli equilibri ionici. Più ricca e precisa rispetto alla mappa di Figura 25; nelle soluzioni tampone, il pH non varia “a seguito di una diluizione moderata o aggiunta di piccole quantità di acidi e di basi”.

Inoltre, l'uso della mappa di riferimento per valutare le produzioni degli studenti è problematico dal punto di vista oggettivo. Uno studio condotto sulla prossimità dei concetti comparando le produzioni degli studenti con quelle di sei esperti istruttori ha prodotto correlazioni molto diverse: "individual experts are highly variable, with even the instructor sometimes providing a relatively poor referent. ... this variability can be greatly reduced by using the averaged ratings of experts." (Acton, Johnson, Goldsmith, 1994, p. 308) Di conseguenza, "these findings indicate that selecting a criterion map to score students is problematic. Different experts' maps may lead to different conclusions about a student's knowledge structure." (Ruiz-Primo, Shavelson, 1996, p. 585)

Se si accetta che le mappe siano una produzione personale, idiosincrasica in quanto riflette il modo individuale di organizzare la conoscenza in base ai propri schemi mentali e alla propria struttura cognitiva, diventa difficile in pratica l'uso della mappa di riferimento nella valutazione delle mappe degli studenti. "We also tried to assign scores for the convergence of the students' maps to teacher-constructed maps. But we soon had to recognize that students' CMs are highly idiosyncratic representations of a domain-specific knowledge, and the interindividual differences displayed among them were far more striking than the similarities." (Regis, Albertazzi, Roletto, 1996, p. 1088)

L'analisi delle pubblicazioni riguardanti la valutazione chiarisce l'ampia variabilità nel modo in cui le mappe concettuali suscitano le strutture della conoscenza degli studenti. Sono state identificate "three ways in which concept-mapping tasks varied: (a) *task demands*, (b) *task constraints*, and (c) *task content structures*. Task demands refers to the demands made on the students in generating their concept maps. ... Task constraints refers to the restrictiveness of the task. ... Task content structures refers to the intersection of the task demands and constraints with the structure of the subject domain to be mapped. Methodologically and conceptually, there is no need to impose a hierarchical structure." (Ruiz-Primo, Shavelson, 1996, p. 578) Queste considerazioni hanno implicazioni nel formato della mappa da utilizzare nella valutazione. "We suspect that concept map task variations will tap different aspects of cognitive structure and lead students to produce different concept maps. ... both cognitive and subject-matter theories should play an explicit role in guiding the design of concept map assessment tasks by helping the assessment developer decide which combinations are to be preferred over others." (Ruiz-Primo, Shavelson, 1996, p. 579)

Un sistema di valutazione deve includere la combinazione di tre caratteristiche; un compito, un formato per la risposta e un sistema per assegnare il punteggio: "We conceive of an assessment as a combination of a *task*, a *response format*, and a *scoring system*. ... a concept map used as an

assessment tool can be characterized as: (a) a task that invites students to provide evidence bearing on their knowledge structure in a domain, (b) a format for the students' response, and (c) a scoring system by which students' concept maps can be evaluated accurately and consistently.” (Ruiz-Primo, Shavelson, 1996, p. 573)

Shavelson e il suo gruppo di ricerca hanno prodotto gli studi più consistenti nella valutazione delle mappe concettuali. Dagli studi sulla valutazione dell'apprendimento e delle strutture per esaminare le rappresentazioni nella mente (Shavelson, 1974; Shavelson, 2010) è stata considerata la possibilità di usare le mappe per la valutazione quantitativa della conoscenza. Per lo studio della valutazione è stato usato l'argomento 'Nomi e formule chimiche' e sono state scelte tre situazioni: costruire una mappa concettuale utilizzando 20 concetti forniti oppure, 'fill-in-the-blanks': riempire gli spazi vuoti (12 nodi su 20, che rappresentano concetti) nella mappa concettuale di riferimento (Criterion map); riempire gli spazi vuoti nelle linee di collegamento (12 proposizioni). in Figura 25 è riportata la mappa concettuale di riferimento, costruita dagli insegnanti e ricercatori.

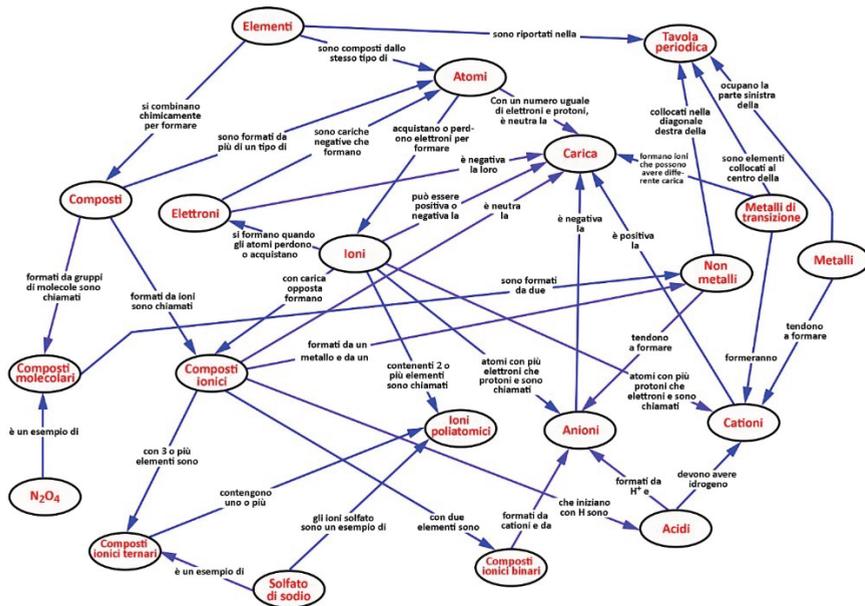


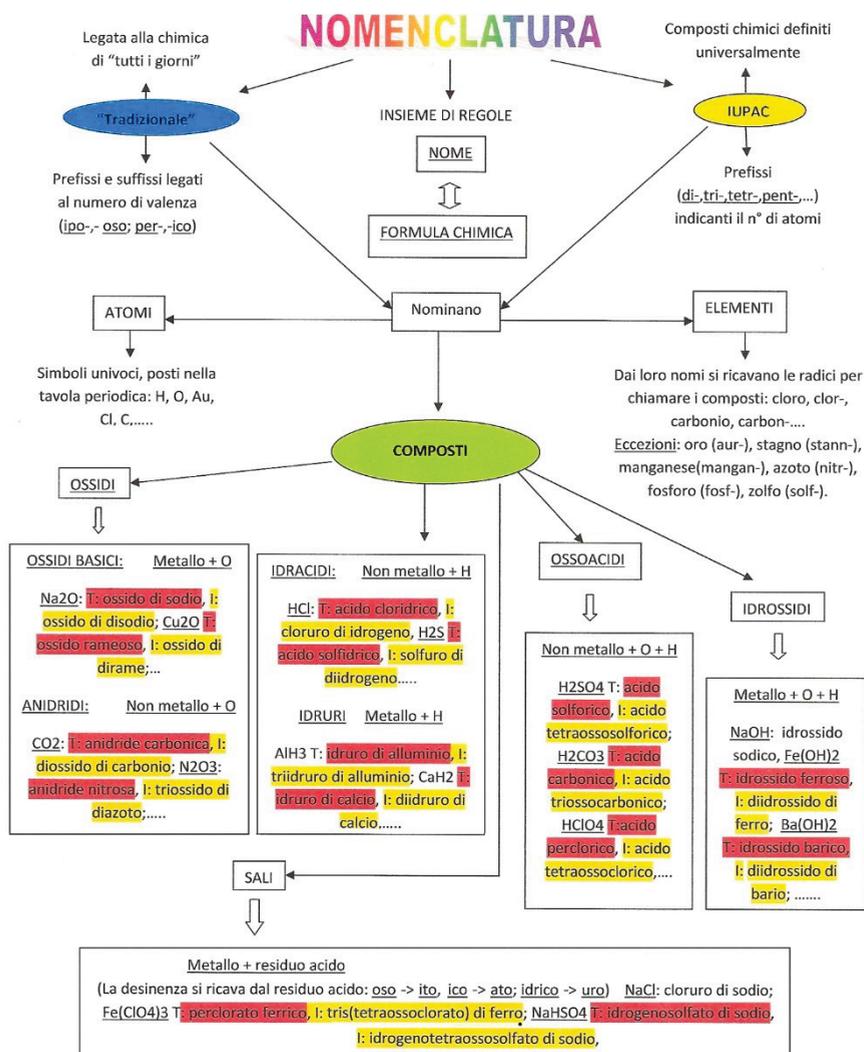
Figura 27. Mappa concettuale di riferimento. Ridisegnata da: Ruiz-Primo et al., 2001a, p. 265.

Lo schema delle correlazioni tra queste diverse maniere di verificare la conoscenza è diverso, e la correlazione di questi risultati con i punteggi ottenuti con i test a scelta multipla non è elevato:

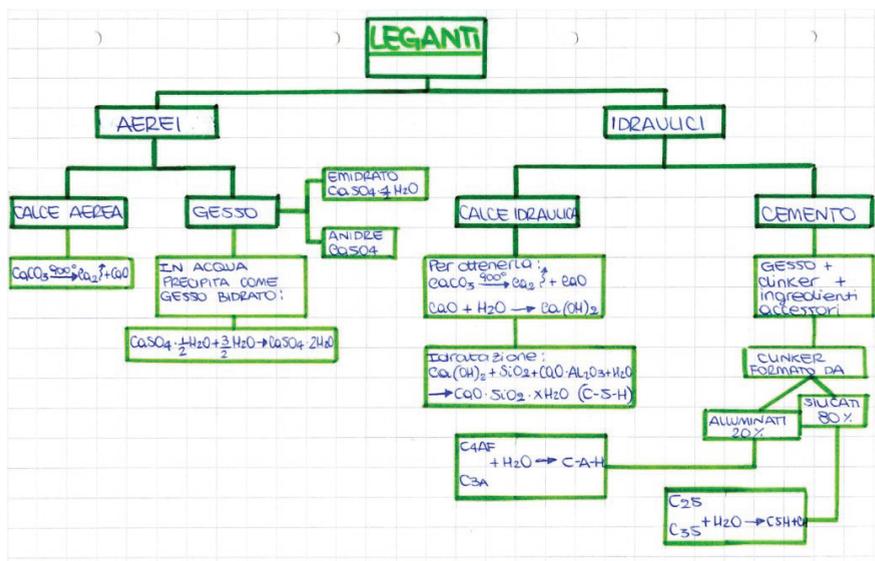
“Magnitudes of the correlations between construct-a-map scores and multiple-choice scores and between fill-in-the-map scores and multiple-choice scores were very close to each other. The correlations between fill-in-the-map scores with multiple-choice scores were quite surprising. The magnitudes of the correlations between fill-in-the-nodes and multiple-choice test ... we found in this study [is] .37.” (Ruiz-Primo et al., 2001a, p. 274) Con l'intento di giustificare concettualmente ed empiricamente i risultati ottenuti, uno studio è stato ripetuto su 6 studenti e 2 insegnanti ai quali è stato richiesto di pensare ad alta voce mentre eseguivano i tre compiti. L'analisi dei 24 protocolli verbali ha replicato i risultati ottenuti nel primo studio e i tre metodi di mappatura non sono equivalenti: “The fill-in-the-nodes technique ranked students somewhat differently from the construct-a-map technique. We interpreted this result as evidence that different aspects of students' knowledge (i.e., connected understanding) were being tapped with the fill-in-the-nodes technique when compared with the construct-a-map technique.” (Ruiz-Primo et al., 2001b, p. 130)

Per la mancanza alle volte di qualche attributo qualificante, come una gerarchia, dei collegamenti tra i concetti, oppure per la presenza delle spiegazioni, non tutte le produzioni degli studenti possono essere considerate delle mappe concettuali in senso stretto; forse è più corretto definirle come rappresentazione grafiche della loro conoscenza. “Graphic representation constitutes one of the basic sign-systems conceived by the human mind for the purposes of storing, understanding, and communicating essential information.” (Bertin, 2010, p. 2) Una rappresentazione grafica consiste in disposizioni spaziali di parole, gruppi di parole, grafici o disegni, esempi e formule, intese a rappresentare l'organizzazione dei concetti che le persone hanno nella loro mente e perciò materiale utile per una valutazione. “Graphic representations of conceptual relationships may be useful both for teaching and for assessing learning.” (Svinicki, McKeachie, 2014, p. 78) Le rappresentazioni grafiche svolgono tre funzioni importanti:

- “RECORDING INFORMATION: creating a storage mechanism which avoids the effort of memorization. ...
- COMMUNICATING INFORMATION: creating a memorizable image which will inscribe the information in the viewer's mind. ...
- PROCESSING INFORMATION: furnishing the drawings which permit a SIMPLIFICATION and its justification.” (Bertin, 2010, p. 12)



**Figura 28.** Mappa concettuale sulla nomenclatura: la successione dei concetti ha essenzialmente un significato logico, non cognitivo.



**Figura 29.** Mappa concettuale sui leganti. Un esempio di mappa priva delle spiegazioni nei collegamenti tra i concetti. I concetti sono organizzati nella forma di una catena lineare, molto differente dall'organizzazione utilizzata nella Figura 19.

Nel 2005 è stato iniziato uno studio circa la possibilità di usare le mappe concettuali prodotte dagli studenti come oggetti per la valutazione nei corsi universitari analizzando la loro validità e affidabilità. In un corso professionale nella facoltà di Ingegneria, agli studenti è stato spiegato come fare le mappe concettuali, mostrati degli esempi con degli argomenti del corso e informato sui vantaggi didattici dell'uso delle mappe. Su 109 studenti che hanno superato l'esame, 17 hanno disegnato mappe in numero variabile da 1 a 12, per un totale di 42 mappe, di differente qualità. Il numero di concetti riportati sulle mappe varia da 8 a 240. Il punteggio medio dei voti all'esame è stato di 26,2 trentesimi per gli studenti con le mappe e di 25,4 per gli altri e non ci sono evidenze dirette che la piccola differenza sia dovuta all'uso delle mappe. Infatti, non si può escludere che tra gli autori delle mappe sia maggiore la frazione di studenti motivati a raggiungere elevati traguardi. Utilizzando i dati raccolti in questo studio (le mappe concettuali e i voti ottenuti all'esame) si è valutata la forza delle correlazioni. (Cardellini, Monosi, 2006) Il contenuto di questo corso professionale per ingegneri è composto da tre argomenti principali interconnessi, quindi sono state confrontate le mappe con lo stesso titolo e poi tutte le mappe. Il numero medio di concetti per lo stesso argomento era 30,9 (compreso tra 8 e 86), l'indice di correlazione rho per ranghi di Spearman è 0,61 statisticamente significativo ( $p < 0,01$ ). Il numero medio di concetti per tutte le mappe era 71,1 (compreso

tra 8 e 240) e l'indice di correlazione rho era 0,37, statisticamente non significativo. Sono state contate le connessioni tra i concetti (considerando le mappe per lo stesso argomento) con e senza frasi di collegamento; il numero medio era 16,1 (da 5 a 58) e l'indice di correlazione rho era 0,35, statisticamente non significativo. Infine, sono state valutate le mappe (per lo stesso argomento), secondo il metodo di Novak e Gowin (1984, p. 37): il punteggio medio è stato 56,3 (compreso tra 8 e 194), e l'indice di correlazione rho era 0,89 statisticamente significativo ( $p < .005$ ). Assegnando un punteggio a tutte le mappe è stato ottenuto un punteggio medio di 147,4 (da 8 a 567) e un rho di 0,21, statisticamente non significativo.

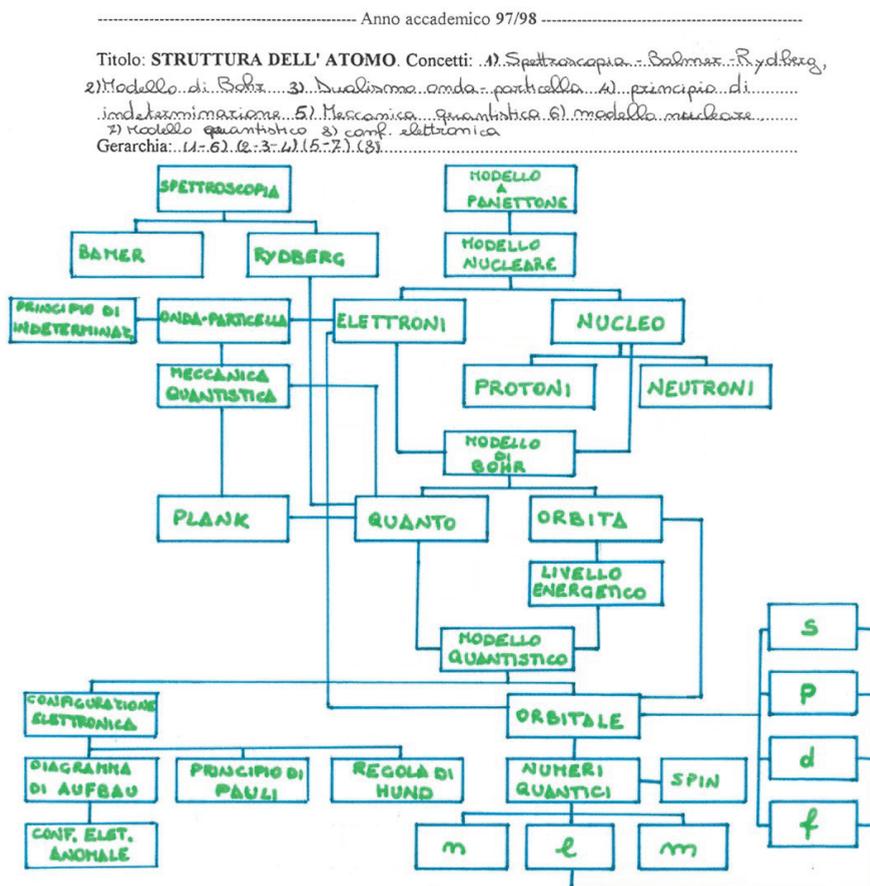
In sintesi, sebbene la correlazione sia generalmente positiva, spesso non è significativa. Alcune mappe sono state disegnate riportando i concetti con linee di collegamento e frasi di collegamento, altre riportando un abstract del concetto. In 9 mappe sono stati riscontrati 13 errori o imprecisioni gravi; alcuni studenti hanno utilizzato solo parole, altri usavano schizzi e grafici come nella mappa riportata in Figura 22. Le proposizioni non sono state contate perché in alcune mappe non compaiono le spiegazioni dei link tra i concetti e un esempio è riportato in Figura 29.

**Tabella 1.** I numeri riportati nelle prime due colonne si riferiscono agli studenti più preparati; quelli nelle ultime due agli studenti meno preparati (Min-max = valore minimo- valore massimo).

Numero di:	Valore medio	Min-max	Valore medio	Min-max
mappe	8	4-12	8,1	2-28
concetti	88,9	37-177	60,3	9-148
definizioni	13,2	0-34	9,6	0-26
parole	1026,3	299-2371	560,4	83-2288
disegni e schemi	11,7	0-25	7,0	0-18
errori	1,4	0-7	2,1	0-11
esempi	13,0	1-29	11,7	0-48
dati	20,4	0-46	19,3	0-47
formule	21,2	6-30	7,4	0-32

Con lo scopo di individuare le differenze in ciò che viene riportato nelle mappe, è stata condotta un'altra analisi considerando i voti all'esame di chimica e le mappe prodotte dai 10 migliori studenti del corso (80 mappe; ogni studente ha disegnato da 4 a 12 mappe) e quanto prodotto dai 10 studenti più deboli (81 mappe; ogni studente ha disegnato da 2 a 28 mappe). Sono stati contati il numero delle mappe, dei concetti, le definizioni, le parole, i disegni e gli schemi, gli errori, il numero di esempi, i dati e le formule. Considerando i concetti, gli studenti con i migliori voti all'esame hanno riportato dal 18,0 all'86,3% dei concetti insegnati nel corso, mentre

l'altro gruppo di studenti un numero che varia dal 4,4 al 72,2%. La Tabella 1 riporta i risultati dello studio; esistono delle differenze che però non giustificano in modo convincente la diversa qualità che si riscontra nella preparazione all'esame.



**Figura 30.** Mappa concettuale sull'atomo. Si noti l'analogia dello stile utilizzato nella Figura 29 dallo studente al primo anno nel corso di chimica. Come valutare queste 'mappe' prive di qualunque spiegazione dei link?

Tra le tante 'mappe' collezionate negli anni ci sono anche delle rappresentazioni grafiche che possiamo considerare dei riassunti e in qualche caso è stata sviluppata l'argomentazione a sostegno delle affermazioni fatte. Non ci si dilungherà qui a sottolineare l'importanza e la centralità dell'argomentazione nella costruzione del significato nelle materie scientifiche: "The idea of science as argument is a key one in that it encompasses both the epi-

stemological and the procedural aspects of doing, teaching, and learning science.” (Kuhn, 2012, p. v) La Figura 30 riporta una parte del riassunto argomentato di elettrochimica.

## UN PO' DI ELETTROCHIMICA...

### ★ LE PILE

se immergiamo una bacchetta di zinco in una soluzione di  $\text{CuSO}_4$  avviene una reazione: la soluzione blu perde di intensità e lo zinco diventa cupreo (azzurro) perché si ricopre di  $\text{Cu}$ .  $\text{Zn}_{(s)} + \text{Cu}^{2+}_{(aq)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + \text{Cu}_{(s)}$

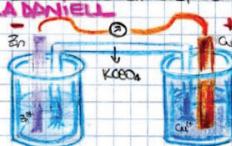
Se misuriamo accuratamente la temperatura della soluzione ci accorgiamo che aumenta; infatti l'energia chimica di questa reazione si è trasformata in calore.

La reazione avviene per scambio diretto (in corto circuito) degli elettroni tra la forma ossidata delle coppie riducente e la forma ridotta della coppia ossidante.

È possibile trasformare l'energia chimica della reazione in energia elettrica, invece che in calore, facendo in modo che gli elettroni passino dallo zinco al rame non direttamente ma attraverso un "lungo circuito".

Dov'è il risultato un dispositivo capace di realizzare tutto ciò:

### ● LA PILA DANIELL



Bisogna immergere una bacchetta di zinco in una soluzione dei suoi ioni  $\text{Zn}^{2+}$  e una di rame in una soluzione dei suoi ioni  $\text{Cu}^{2+}$ ; i due scomparti devono essere tenuti separati strettamente; in questo modo viene impedito ogni tipo di contatto diretto con le bacchette di zinco e rame, evitando quindi un corto circuito.

I due scomparti sono però collegati elettricamente tramite PONTESALINO. Se si chiude il circuito collegando la bacchetta di zinco con quella di rame con un conduttore metallico si ha passaggio di corrente elettrica, diretta dal rame allo zinco, reversibile da un galvanometro. VERSO CARBONE, consistentemente il verso delle correnti elettriche corrisponde a quello in cui si muovono le cariche positive (dal polo negativo al polo positivo).

I due scomparti sono chiamati **ELETTRODI** → l'elettrodo della coppia ossidante ( $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}$ ) ha potenziale positivo ed è sede della semireazione di riduzione → l'elettrodo della coppia riducente ( $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}$ ) ha potenziale negativo ed è sede della semireazione di ossidazione.

**CATODO**  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$

**ANODO**  $\text{Zn}_{(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$

**● POTENZIALE ELETTRODICO** è dato dalla differenza di potenziale all'interfaccia tra la bacchetta metallica e la soluzione in cui è immersa.

**● FORZA ELETTROMOTRICE** massima differenza di potenziale che si può ottenere tra due elettrodi. Si indica con **fem**.

$$f_{em} \triangleq \Delta E = E_c - E_a \Rightarrow \text{potenziale catodo} - \text{potenziale anodo}$$

### ● L'ELETTRODO IDROGENO

elettrodo di riferimento

Questo elettrodo viene assegnato arbitrariamente il potenziale zero  $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2$   $E^0 = 0,00 \text{ V}$

$\text{Pt}, \text{H}_2 (1 \text{ atm}), \text{H}^+ (1,00 \text{ M})$

Si ha fornito di costruire una tabella in cui sono riportati i valori dei potenziali di alcuni elettrodi, valori che sono chiamati **POTENZIALI DI RIDUZIONE STANDARD**.

Il potenziale standard  $E^0$  misura le tendenze di una semireazione di riduzione di avvenire all'elettrodo.

le reazioni di celle nelle pile danell:  $E^0 = E_c^0 + E_a^0 = 0,357 \text{ V} + 0,763 \text{ V} = 1,120 \text{ V}$

de reazioni con  $E^0(\text{catodo}) > E^0(\text{anodo})$  si riacquiescono dai reagenti (s) i prodotti. il numero di elettroni scambiati (n) da confrontare delle batterie

Figura 31. Riassunto argomentato di elettrochimica (1 parte di 3).

Esiste una differenza nell'efficacia tra i tipi delle rappresentazioni grafiche utilizzate degli studenti? Uno studio è stato condotto per esaminare l'impatto di due trattamenti didattici – mappe concettuali e riassunti dei contenuti – sui risultati degli studenti di ingegneria iscritti all'esame di chimica. Sono stati esaminati due corsi svolti dallo stesso docente, il corso A e il corso B. Il corso A consiste di 237 studenti (60 donne e 177 uomini); il 54,4% ha frequentato il Liceo Scientifico, l'8,4% l'ITIS, e il 32,1% si è diplomato in scuole superiori per Geometri. Il corso B consiste di 156 studenti (10 donne e 146 uomini); il 58,3% ha frequentato il Liceo Scientifico, il 32,7% l'ITIS, e l'1,9% ha frequentato la scuola superiori per Geometri. La Tabella 2 riporta alcuni dati statistici riferiti ai due corsi.

**Tabella 2.** Dati statistici riferiti agli studenti due corsi che hanno consegnato mappe o riassunti.

Variabile	Corso A				Corso B			
	N =	Media	Dev. st.	min/max	N =	Media	Dev. st.	min/max
MSLQ	72	210,3	20,0	176-250	66	204,7	20,9	151-249
FD/FI	63	12,0	3,1	4-17	45	12,9	3,9	2-18
Mappe	33	16,0	5,1	0-25	23	14,0	5,5	0-23
Sunti	42	15,1	4,1	0-22	42	15,0	5,7	0-25
Problemi	82	109,1	71,7	0-406	71	156,7	80,6	0-345
1° parziale	81	20,7	8,6	0-30	70	23,4	7,8	0-30
Voto esame	82	25,1	4,5	18-30 L	71	25,8	4,6	18-30 L

Da questi dati non risulta evidente, ma esiste una diversità tra i due gruppi di studenti; al primo esame scritto parziale svolto all'inizio del corso, gli studenti delle sezioni A e B differivano sistematicamente nella capacità di risolvere i problemi di stechiometria e la media dei voti in trentesimi è risultata: 13,05 (SD = 9,83; N = 207) per il corso A e 17,29 (SD = 10,24, N = 138) per il corso B. Il tredici per cento degli studenti del corso A e il 26 per cento degli studenti del corso B hanno risposto correttamente al 90 per cento o più delle domande di teoria. Queste prove iniziali forniscono una indicazione sia della conoscenza precedente che della differente motivazione degli studenti verso l'impegno accademico.

All'inizio dei corsi gli studenti sono stati assegnati in modo casuale metà alle mappe e metà ai riassunti. Da quanto gli studenti hanno prodotto è risultato che nel corso B 19 studenti hanno cambiato assegnazione: 15 da mappe a riassunti e 4 da riassunti a mappe; nel corso A, 12 da mappe a riassunti e 7 da riassunti a mappe.

Alla fine delle lezioni, il rendimento degli studenti è stato misurato con un esame scritto con risoluzione di problemi e un esame orale. Per accedere alla prova orale, gli studenti dovevano dimostrare la loro capacità di risolvere problemi che prevedevano calcoli stechiometrici. Durante l'esame orale, gli studenti dovevano dimostrare di aver acquisito una conoscenza significativa degli argomenti del corso, non solo la semplice ripetizione di concetti, ma l'uso delle conoscenze acquisite per spiegare i fenomeni chimici.

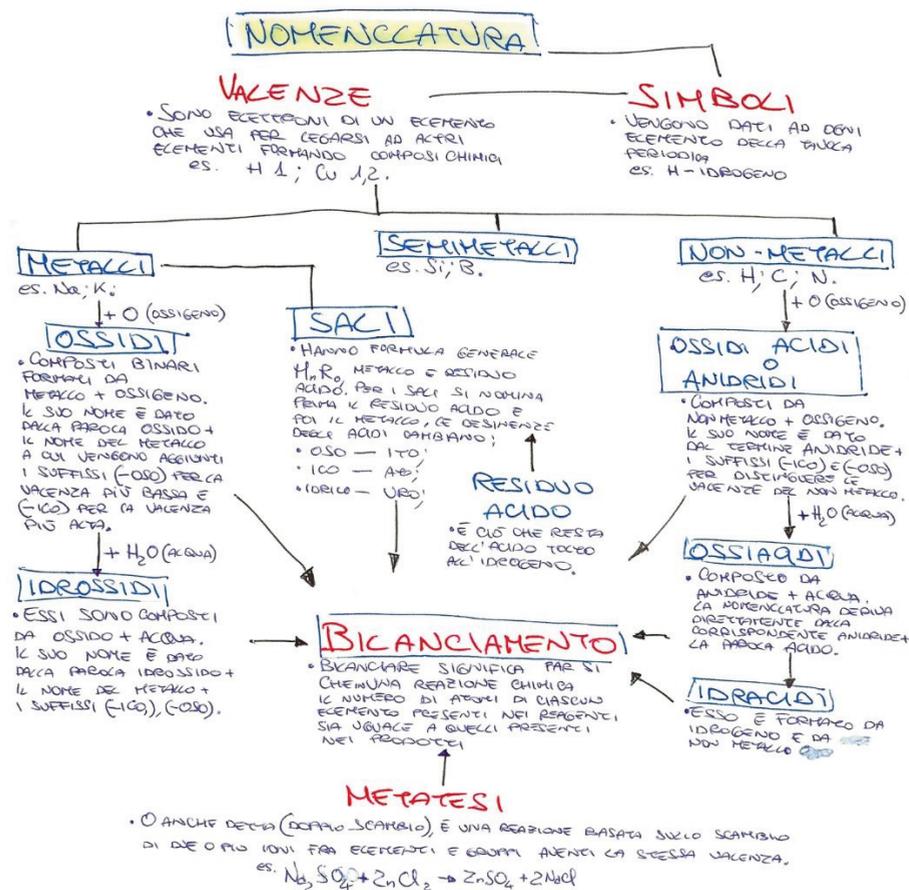
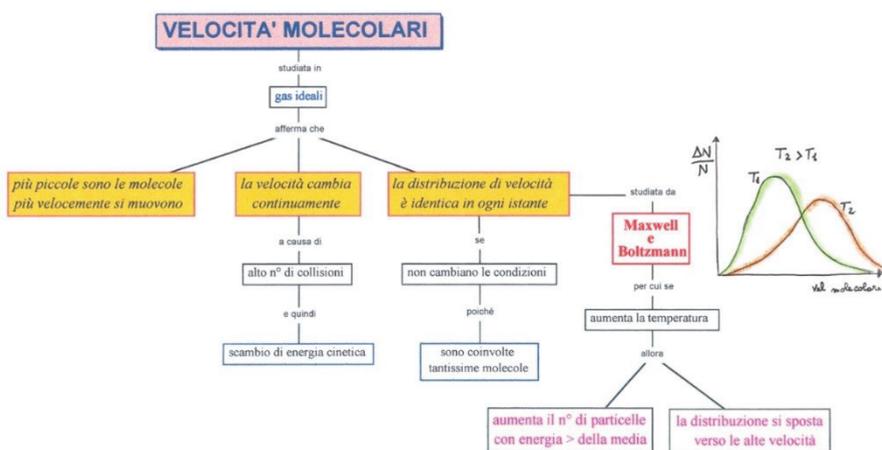


Figura 32. Viene stabilita una gerarchia come nelle mappe e sono riportate ampie spiegazioni come nei riassunti: mappa o riassunto?

Dopo 6 mesi dalla fine dei corsi, 82 studenti (34,6% degli studenti) della sezione A e 71 studenti (45,5% degli studenti) della sezione B hanno superato l'esame (il totale originale N = 429). Il numero delle mappe e dei riassunti prodotti è stato contato e in alcuni casi l'attribuzione della tecnica

didattica utilizzata non è stata semplice, come nel caso riportato nella Figura 31, considerata come mappa.

I 153 studenti sono stati divisi in due gruppi: mappe o riassunti. Un gruppo di 28 studenti ha realizzato sia mappe che riassunti, mentre 13 studenti non hanno prodotto elaborati. È stata eseguita un'ANOVA unidirezionale alla ricerca di correlazioni con il punteggio dell'esame finale; il punteggio della prima prova scritta parziale; numero di problemi risolti durante il corso; soluzioni creative dei problemi; questionario sulle strategie motivate per l'apprendimento di Pintrich (Pintrich et al., 1993); il test dipendenza/indipendenza dal campo (Witkin et al., 1977; Witkin, Goodenough, 1981) che misura la capacità di focalizzarsi sulle informazioni rilevanti trascurando quelle irrilevanti; numero di mappe concettuali e numero di riassunti consegnati.



**Figura 33.** Mappe concettuali sulla velocità molecolare.

Anche se erano attesi risultati diversi, non è stata trovata alcuna correlazione significativa tra le diverse situazioni. Tra i 68 studenti con risultati eccellenti, 35 appartengono al corso A (14,8% degli studenti del corso), mentre 33 appartengono al corso B (21,2% degli studenti del corso). Come rappresentazioni grafiche delle relazioni concettuali, gli studenti migliori del corso A hanno utilizzato in lieve maggioranza le mappe concettuali, mentre degli studenti del corso B hanno utilizzato i riassunti. (Cardellini, 2017)

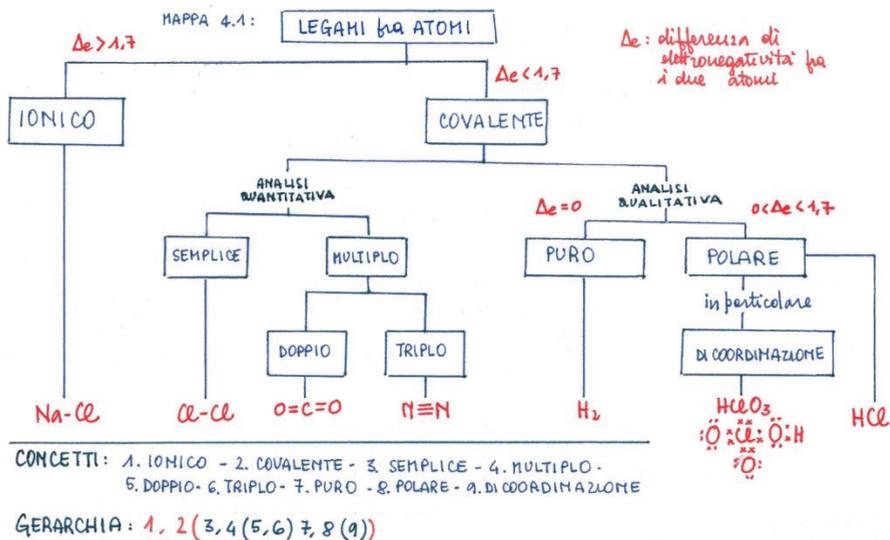


Figura 34. Mappa concettuale sui legami chimici, che risulta molto diversa da quanto riportato nelle Figure 8 e 16.

Nei corsi per studenti di ingegneria le abilità nel problem solving sono importanti e va data rilevanza alla capacità di risolvere problemi. Per risolvere i problemi stechiometrici in modo significativo è necessaria la conoscenza della teoria e per diventare abili solutori va acquisita la familiarità necessaria per inventare soluzioni ragionate anche quando la soluzione richiede molto sforzo; ciò che Wertheimer indica come pensiero produttivo. (Wertheimer, 2020) L'apprendimento significativo è un processo complesso in gran parte regolato dalla motivazione e dalla capacità dell'insegnante di interessare gli studenti. Infatti, è stato trovato che anche l'uso delle mappe concettuali non garantisce l'apprendimento significativo: "most of the students' answers were indicative of essentially rote memorization of concepts and propositions, which rapidly became non-retrievable from memory, rather than answers that indicated meaningful learning and restructuring of concept/propositional knowledge in memory, which may be retrievable for months or years." (Pendley, Bretz, Novak, 1994, p. 15)

Dunque, è lecito attendersi un forte impegno nel problem solving da parte di chi vuole eccellere. Quante sono le soluzioni dei problemi consegnati dagli studenti migliori (voto d'esame  $\geq 27/30$ )? 68 studenti hanno consegnato in media 137,8 soluzioni (deviazione standard = 76,0), da 11 a 335. Uno studente non ha consegnato soluzioni ed è difficile da credere che

uno studente che aveva frequentato l'ITIS riesca a superare l'esame scritto e l'orale con il voto di 30/30 e lode, risolvendo soltanto 11 problemi. Molti studenti usano la collaudata strategia di risolvere molti problemi nell'appressarsi dell'esame, saltando le lezioni del corso. I migliori studenti hanno consegnato in media 13,2 mappe (DS = 6,8), N = 26 (0-25) e 14,1 riassunti (DS = 6,8; N = 26; 0-25). 13 studenti non hanno usato mappe o riassunti e 6 di questi studenti sono inclusi tra i migliori: un 28, tre 30 e due 30 e lode.

Dall'analisi dei dati emerge una correlazione tra voto all'esame e tipo di scuola superiore frequentata. Le scuole frequentate dai 68 studenti risultati i migliori, sono state il Liceo per il 76,5%, l'ITIS nel 14,7% dei casi e il restante 8,8% ha frequentato la scuola per Geometri. Considerando gli studenti all'inizio dei corsi, il 59,5% proveniva dal Liceo, il 19,2% dall'ITIS e il 21,4% dai Geometri. Si potrebbe inferire che il tipo di scuola frequentata sembrerebbe essere il miglior indicatore del successo negli esami.

In diversi studi vengono riportate simili conclusioni circa lo scarso effetto delle mappe; in uno studio riferito all'applicazione dei concetti chimici nel laboratorio, le mappe risultano utili solo per alcuni studenti; "low verbal ability students may also be affected by the distracting features of the laboratory, concept mapping may provide them with a means to attend to important information in the activity. Constructing a concept map after a laboratory activity should encourage these students to integrate laboratory related concepts with previously acquired knowledge." (Stensvold, Wilson, 1990, p. 478) ma "High ability students performing concept mapping achieved lower scores on the comprehension test than similarly able students who did not construct concept maps." (Stensvold, Wilson, 1990, p. 478)

Oltre al già citato studio di Stensvold e Wilson (1992) sull'uso delle mappe concettuali in laboratorio e sull'assenza di differenze significative tra studenti che disegnano mappe e studenti che scrivono saggi (Markow, Lonning, 1998) si può citare uno studio sulla mancanza della diversità nella comprensione dei cambiamenti atmosferici con e senza l'uso delle mappe: "an interview that embedded a concept-mapping process (compared to an interview that excluded this process) did not effect statistically significant changes in the externalization of students' conceptual understandings about CFCs." (Rye, Rubba, 1998, p. 541)

Alcune considerazioni sulla valutazione quantitativa delle mappe concettuali. Ci sono voci contrarie alla valutazione perché la ragione principale delle mappe concettuali è di favorire la riflessione sulle relazioni tra i concetti: "giving any form of grade to a map can alter students' attitudes to them and so threaten their potential to promote learning." (White, Gunstone, 1992, p. 38) Una parte degli insegnanti potrebbe trovare difficile la valutazione perché "The relative cognitive complexity of a scoring method may

be especially critical when, as in the present study, the raters lack familiarity with the specific scoring method and concept maps in general. This is likely to be the case with the average science teacher.” (McClure, Sonak, Suen, 1999, p. 489)

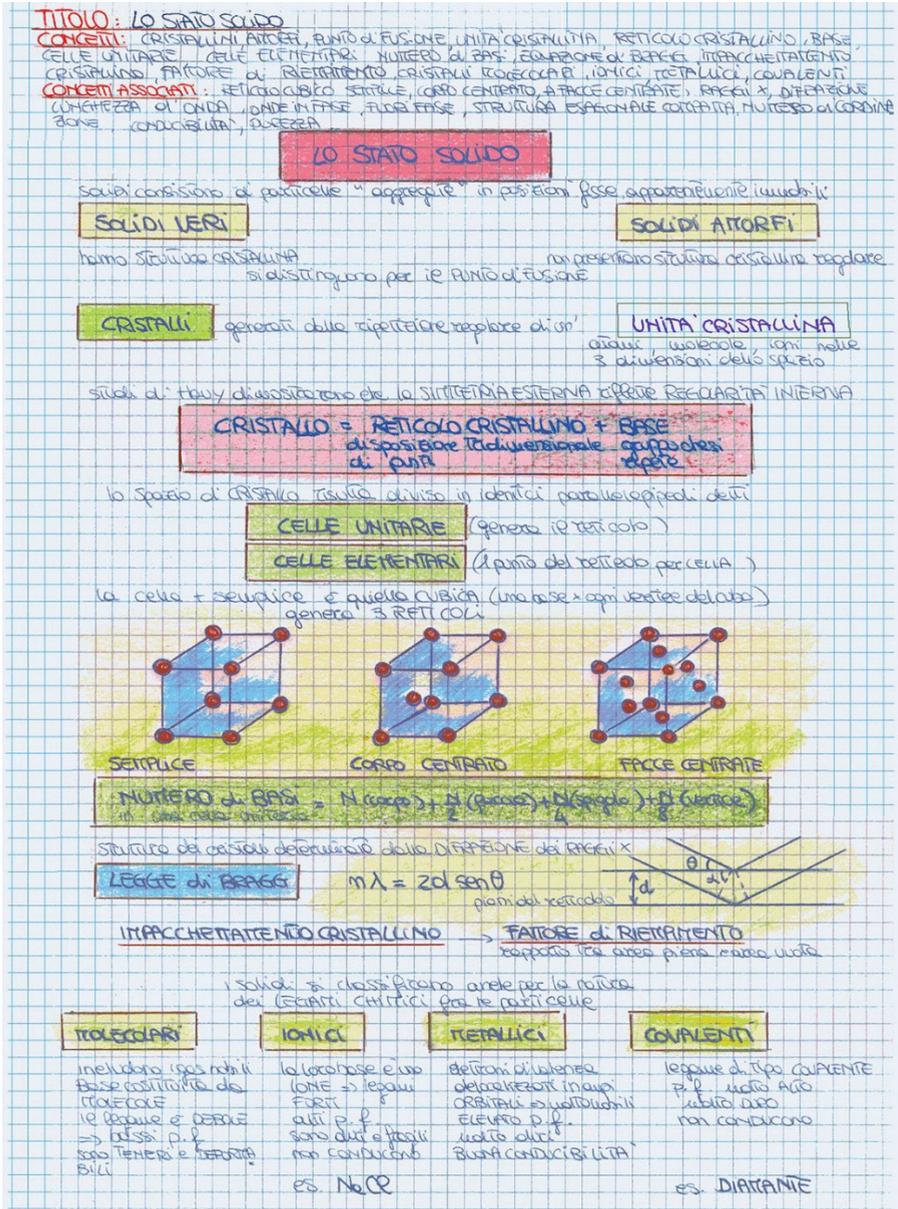
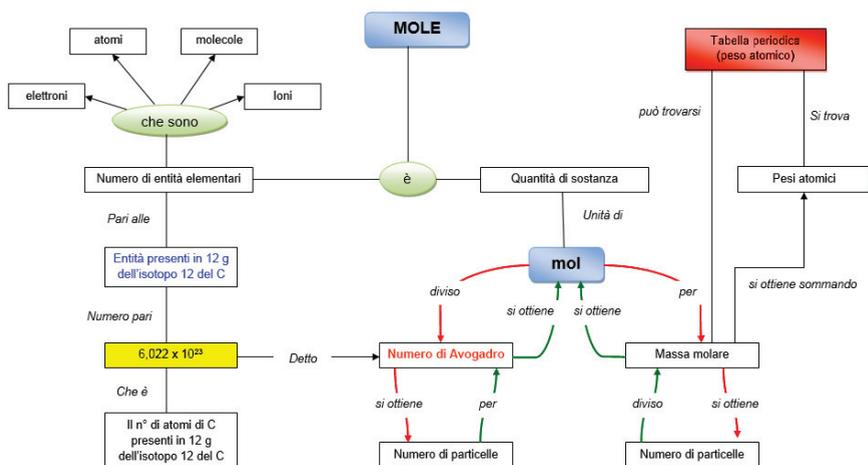


Figura 35. Mappa concettuale sullo stato solido.

Metodi diversi conducono a differenti valutazioni. Sono stati usati sei metodi di valutazione diversi e nel complesso la valutazione viene ritenuta valida: “Concerning the concurrent validity of concept map scores, the evidence provided by this study is encouraging. With the exception of the scores derived from structural with master map, the correlations between map scores and the similarity measure were statistically significant.” (McClure, Sonak, Suen, 1999, p. 489)



**Figura 36.** Mappa concettuale sulla mole.

Gli autori suggeriscono di integrare la valutazione delle mappe concettuali con altri metodi: “teachers should use the scores derived from concept mapping tasks and other forms of assessment with caution. The validity of a decision based on a single observation is always suspect. Decisions made based on a concept map score may not be any more valid than decisions based on a single score from a test, essay, or project.” (McClure, Sonak, Suen, 1999, p. 491)

Le differenti mappe riportate in questo articolo, soprattutto le poche sullo stesso argomento mostrano delle significative differenze, a volte rilevanti. Queste diversità mostrano la difficoltà di valutare in modo affidabile quanto riportato, in quanto differenti metodi misurerebbero differenti costrutti cognitivi. “Our research adds to the evidence supporting the observation that in fact, different methods of scoring maps measure different constructs or different aspects of the construct domain.” (Rice, Ryan, Samson, 1998, p. 1124)

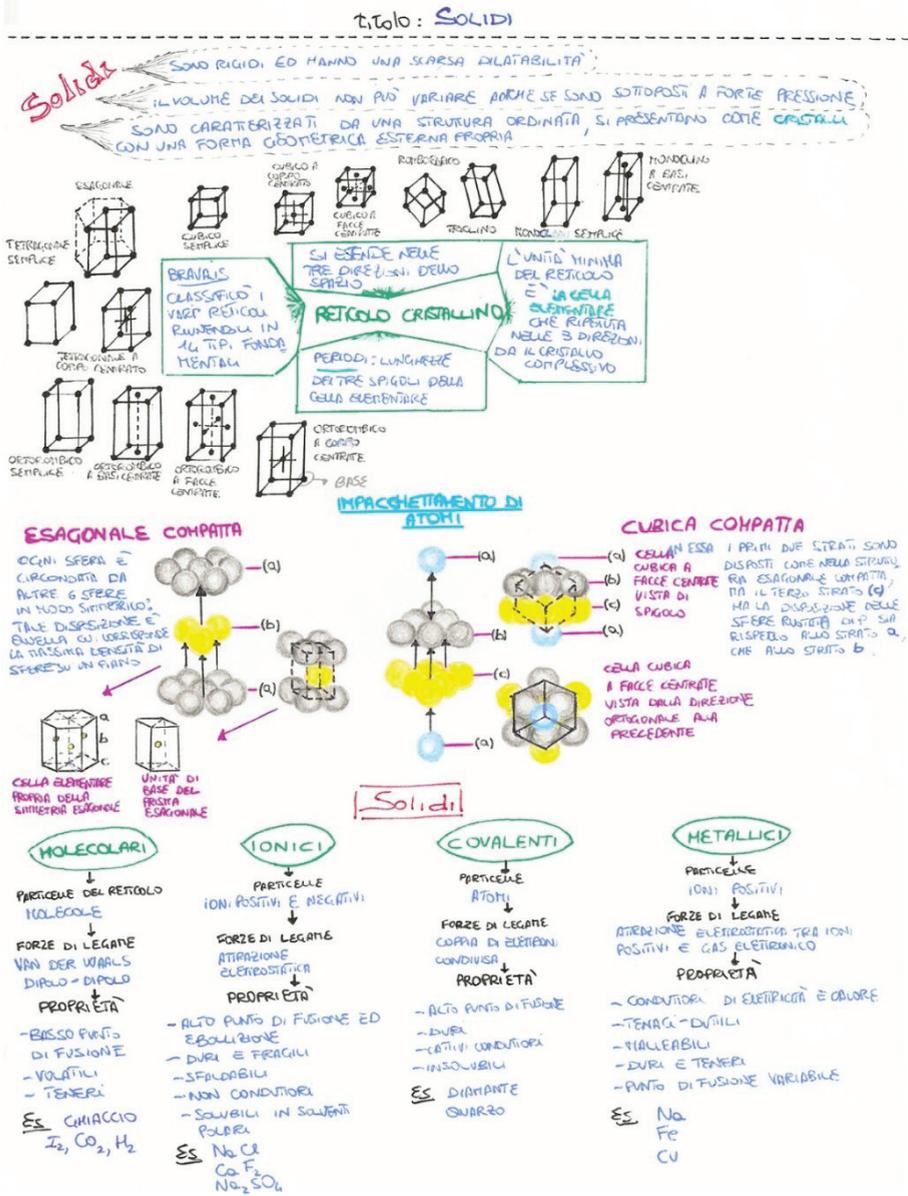


Figura 37. Mappa concettuale sullo stato solido. Paragonata alla mappa di Figura 32 si possono evidenziare parecchie differenze nell'organizzazione e nel rilievo dei concetti riportati.

Uno studio recente utilizza tre metodi diversi per valutare le mappe in una scuola di ingegneria e viene concluso che “Concept maps are a theoretically grounded assessment tool that can be used to analyze the content and structure of conceptual knowledge. Unlike more rigid assessments that may capture only a portion of student understanding, concept map-based assessments allow students to translate their internal knowledge networks into a form that can be easily assessed. Concept maps also encourage students to represent connections between their knowledge, a feature indicative of more expert-like understanding, through creation of cross-links, within-branch links, or interlinks. Thus, when appropriate scoring methods are applied concept maps can be useful tools for inferring the sophistication of student conceptual knowledge.” (Watson et al., 2016, p. 140)

Molte delle osservazioni fatte nell’articolo appena citato sono interessanti e condivisibili, ma valutare la conoscenza di materie tecniche di ingegneria in termini di numero di concetti, gerarchia, collegamenti incrociati, organizzazione e correttezza (formale) è riduttivo. Inoltre, con le mappe è possibile indagare soltanto rispetto alla conoscenza dichiarativa, mentre nel problem solving è rilevante anche la conoscenza procedurale. (Chi, Ohlsson, 2005, p. 371) Le mappe concettuali non dovrebbero essere usate nella valutazione per i seguenti motivi:

1. Sono uno strumento personale per rappresentare e organizzare la conoscenza;
2. La valutazione di aspetti esteriori quali numero di concetti, gerarchia, collegamenti incrociati, ecc. rischia di privilegiare aspetti triviali della conoscenza;
3. Non è detto che quanto riportato nella mappa sia una rappresentazione fedele della conoscenza acquisita: “it is not reasonable to assume that a concept map is a representation of how concepts are stored in the mind. ... two maps might be identical, but the way the knowledge is stored and retrieved could be quite different.” (Stuart, 1985, p. 74-75)

Le mappe sono il prodotto personale degli studenti nel loro processo di apprendimento e dovrebbero essere usate dagli autori per questo fine; usandole per la valutazione se ne distorce in qualche modo il valore: “It is very doubtful if concept maps should be used by a ‘non-author’ for assessment purposes.” (Johnstone, Otis, 2006, p. 92) La diversità tra le persone è anche dovuta a differenti modi di ragionare, di organizzare la conoscenza e di apprendere e a questo riguardo gli studiosi parlano di ‘stili’: “a learning style is a preferred way of learning and studying; for example, using pictures instead of text; working in groups as opposed to working alone; or learning in a structured rather than an unstructured manner. Learning preferences re-

fer to an individual's preferred intellectual approach to learning, which has an important bearing on how learning proceeds for each individual, especially when considered in conjunction with what teachers expect from learners in the classroom." (Pritchard, 2009, pp. 41-42)

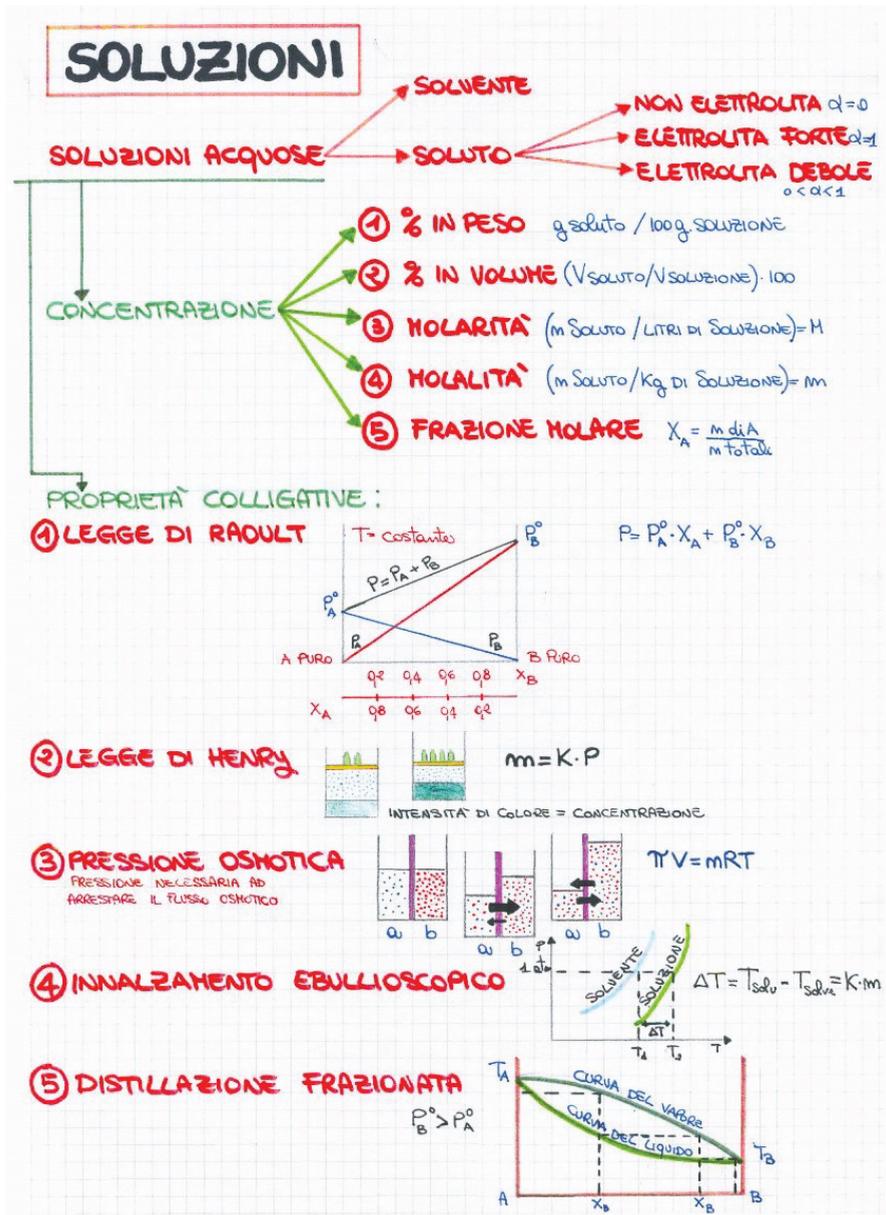


Figura 38. Mappa concettuale sulle soluzioni.

Gli stili intellettuali vanno considerati in modo separato rispetto alle abilità, perché “A style is a way of thinking. It is not an ability, but rather, a preferred way of using the abilities one has. The distinction between style and ability is a crucial one. An ability refers to how well someone can do something. A style refers to how someone likes to do something.” (Sternberg, 1997, p. 8) Queste considerazioni aiutano a comprendere la diversità nelle mappe fatte dagli studenti riportate in questo articolo (la metà circa per ciascun sesso), sia per il diverso numero di concetti riportati che per l’organizzazione della mappa nel suo complesso, spesso trattandosi di studenti con competenze in chimica paragonabili e quasi sempre ad un livello molto elevato.

### **Il ruolo delle mappe ‘eccellenti’**

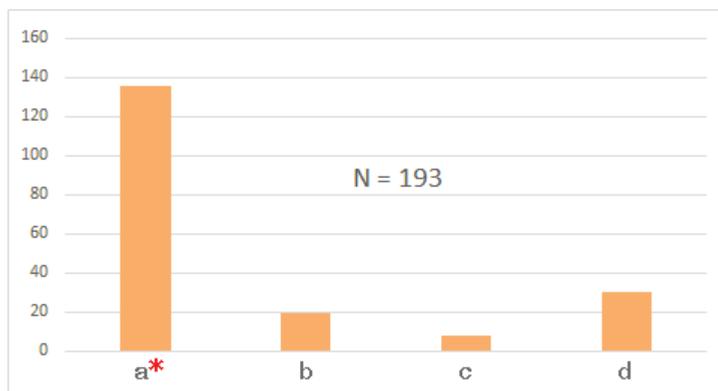
Viene proposto un cambio di prospettiva nell’uso delle mappe, dall’usuale impiego di facilitare l’acquisizione della conoscenza conosciuta (“acquisition-of-the-known”) verso l’esplorazione di ciò che non si conosce (“yet-to-be-know”). Come? Attraverso l’uso delle mappe ‘eccellenti’: “This requires a greater recognition of the value of “excellent” maps in which the explanatory power of selected concepts and dynamic linking phrases is seen to be of greater value than the size of the map.” (Kinchin, 2017, p. 3) A prima vista potrebbe sembrare una delle molte idee un pochino azzardate, prive del supporto di dati acquisiti nella pratica e prive di un impatto reale nell’insegnamento.

Nondimeno, si è pensato di svolgere uno studio per misurare il beneficio che possono ricavare gli studenti dal consultare una mappa ‘eccellente’ per rispondere ad un test concettuale formato da dieci domande. L’argomento scelto è stato l’equilibrio chimico: è stata costruita una mappa concettuale con tutti i concetti del corso e sia la mappa che le domande del test sono state validate dai colleghi docenti insegnanti di chimica nella Facoltà di ingegneria. Lo studio è stato svolto mettendo a disposizione degli studenti che si presentavano all’esame, la mappa ‘eccellente’ riportata in APPENDICE e il test da compilare. Il tempo suggerito era di 15 minuti, che in parecchi casi è stato il doppio. Le risposte sono state raccolte, corrette ed elaborate.

Gli studenti che si presentavano all’esame orale avevano già superato l’esame scritto ed erano consapevoli che se la prova fosse stata molto negativa, avrebbero rischiato di ripetere anche l’esame scritto. Trattandosi di studenti preparati o molto preparati e potendo avere un qualche aiuto dalla mappa ‘eccellente’, ci si poteva aspettare dei risultati molto buoni al test che precedeva la prova orale. I risultati delle dieci domande del test:

**1. Data la reazione di equilibrio:  $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$ ;  $\Delta H^\circ = -14,01$  kcal/mol. A volume costante viene aggiunta al sistema di reazione una certa quantità di  $\text{H}_2$  e di conseguenza:**

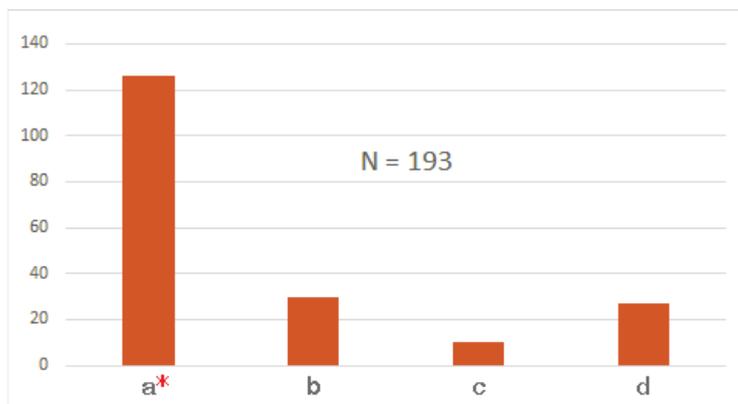
- a) l'equilibrio si sposta verso mi prodotti      b) l'equilibrio si sposta verso i reagenti  
 c) la posizione dell'equilibrio rimane invariata      d) la costante  $K_c$  diminuisce



**Figura 39.** 136 studenti hanno scelto la risposta corretta.

**2. Data la reazione di equilibrio:  $\text{I}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ ;  $\Delta H^\circ = 6,33$  kcal/mol. A volume costante viene aggiunta al sistema di reazione una certa quantità di  $\text{H}_2$  e di conseguenza:**

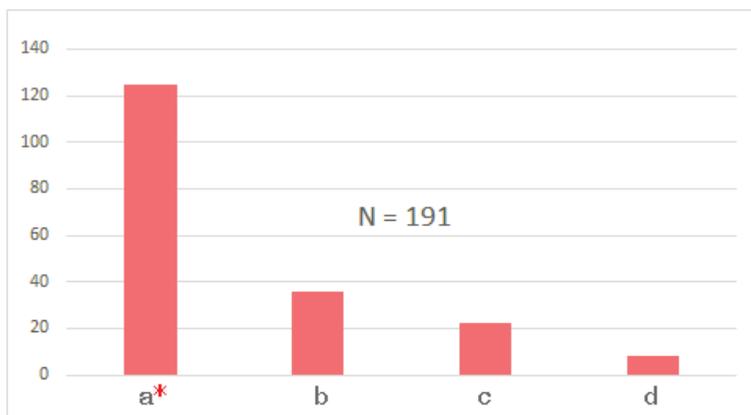
- a) l'equilibrio si sposta verso mi prodotti      b) l'equilibrio si sposta verso i reagenti  
 c) la posizione dell'equilibrio rimane invariata      d) la costante  $K_c$  diminuisce



**Figura 40.** 126 studenti hanno scelto la risposta corretta.

**3. Data la reazione di equilibrio:  $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$ ;  $\Delta H^\circ = -14,01$  kcal/mol. A temperatura costante viene aumentata la pressione del sistema e di conseguenza:**

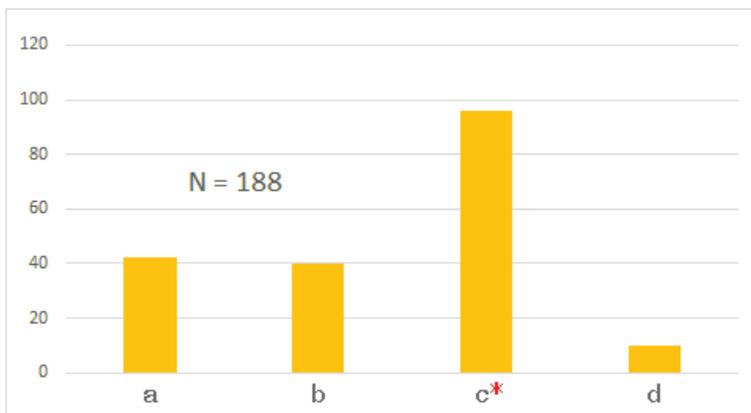
- a) l'equilibrio si sposta verso mi prodotti      b) l'equilibrio si sposta verso i reagenti  
c) la posizione dell'equilibrio rimane invariata      d) la costante  $K_c$  diminuisce



**Figura 41.** 125 studenti hanno risposto in modo corretto.

**4. Data la reazione di equilibrio:  $\text{I}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ ;  $\Delta H^\circ = 6,33$  kcal/mol. A temperatura costante viene aumentata la pressione del sistema e di conseguenza:**

- a) l'equilibrio si sposta verso mi prodotti      b) l'equilibrio si sposta verso i reagenti  
c) la posizione dell'equilibrio rimane invariata      d) la costante  $K_c$  diminuisce

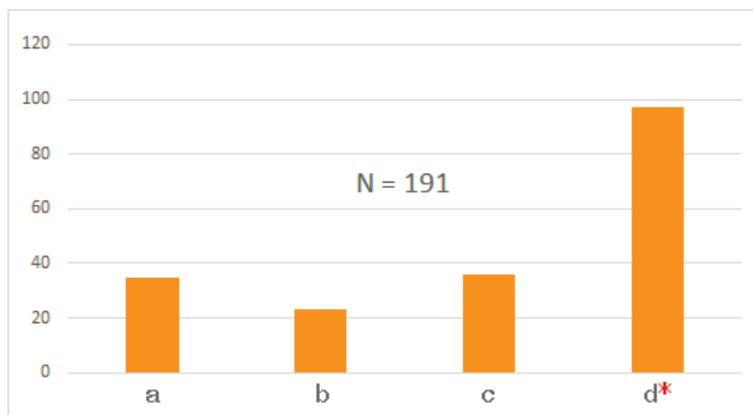


**Figura 42.** 96 studenti hanno risposto in modo corretto.

**5. Data la reazione di equilibrio:  $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$ ;  $\Delta H^\circ = -14,01$  kcal/mol. In seguito ad un un aumento di temperatura si ha che:**

- 1) l'equilibrio si sposta verso i prodotti                      2) l'equilibrio si spoata versimi reagenti  
 3) la costante  $K_c$  aumenta    4) la costante  $K_c$  diminuisce

**Indicare la combinazione di risposte corrette:** a) 1, 3    b) 1, 4    c) 2, 3    d) 2, 4

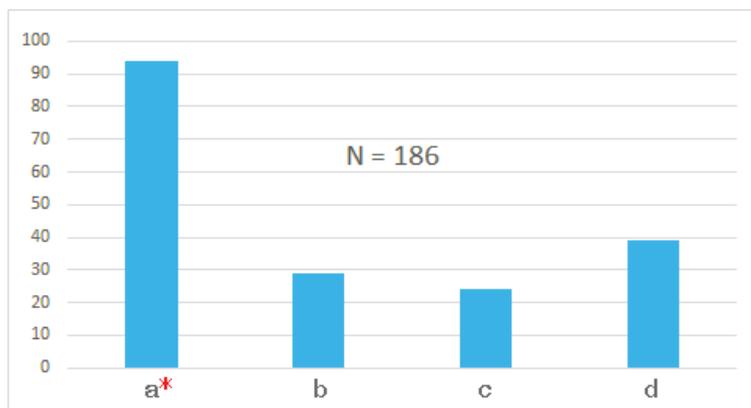


**Figura 43.** 97 studenti hanno scelto la risposta corretta.

**6. Data la reazione di equilibrio:  $\text{I}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$ ;  $\Delta H^\circ = 6,33$  kcal/mol. In seguito ad un un aumento di temperatura si ha che:**

- 1) l'equilibrio si sposta verso i prodotti                      2) l'equilibrio si spoata versimi reagenti  
 3) la costante  $K_c$  aumenta    4) la costante  $K_c$  diminuisce

**Indicare la combinazione di risposte corrette:** a) 1, 3    b) 1, 4    c) 2, 3    d) 2, 4



**Figura 44.** 94 studenti hanno risposto in modo corretto.

7. Data la reazione di equilibrio:  $N_2 + 3 H_2 \rightleftharpoons 2 NH_3$ ;  $\Delta H^\circ = -14,01$  kcal/mol. La presenza del catalizzatore fa sì che:

- a) l'equilibrio si sposta verso i prodotti      b) l'equilibrio si sposta verso i reagenti  
 c) la posizione dell'equilibrio rimane invariata      d) la costante  $K_c$  aumenta

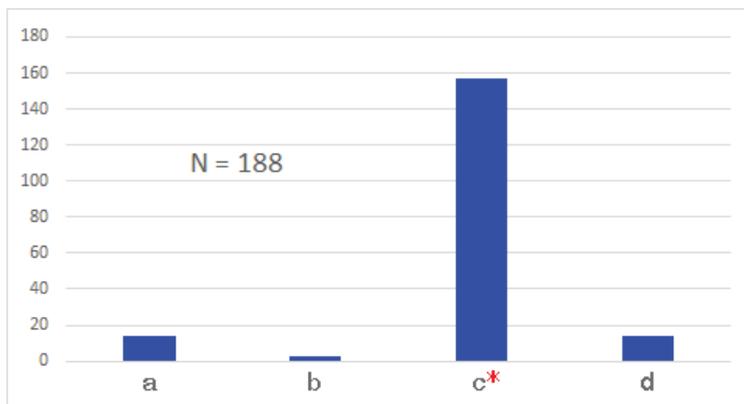


Figura 45. 157 studenti hanno scelto la risposta corretta.

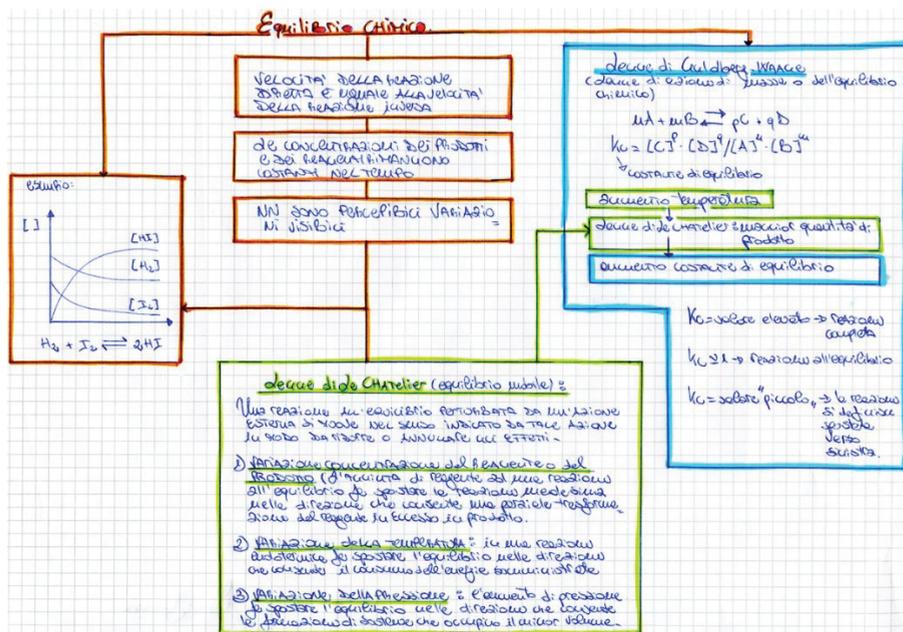
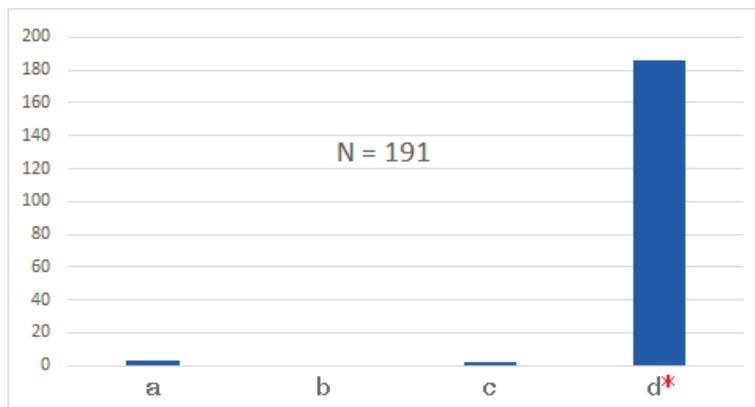


Figura 46. Mappa concettuale sull'equilibrio chimico.

**8. In un particolare equilibrio chimico, il catalizzatore svolge questa funzione:**

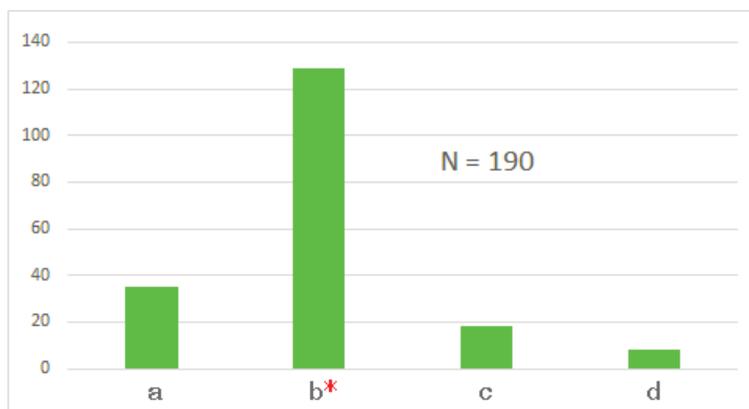
- a) sposta l'equilibrio verso i prodotti    b) sposta l'equilibrio verso i reagenti  
c) aumenta il valore della costante  $K_c$     d) varia la velocità delle reazioni diretta e inversa



**Figura 47.** La domanda sul catalizzatore è risultata la più facile: 186 studenti hanno scelto la risposta corretta.

**9. La bassa velocità di reazione una particolare reazione chimica può essere attribuita:**

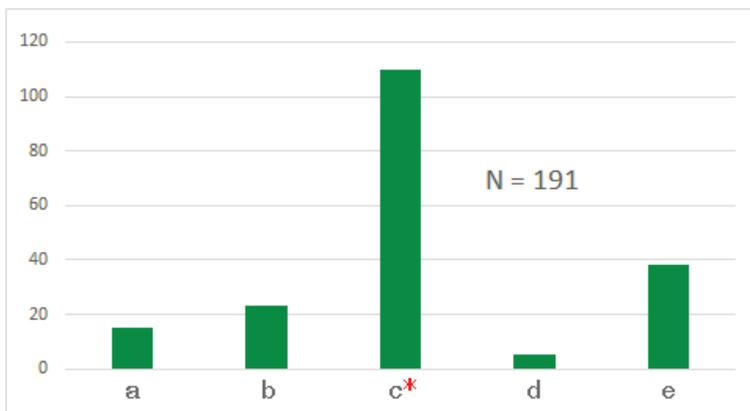
- a) ad una bassa energia di attivazione    b) ad una elevata energia di attivazione  
c) alla presenza di un catalizzatore    d) al valore elevato della temperatura



**Figura 48.** 129 studenti hanno scelto la risposta corretta.

**10. Considerando la reazione di equilibrio:  $2 \text{SO}_3 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ . L'improvviso aumento della concentrazione di  $\text{O}_2$  fa sì che:**

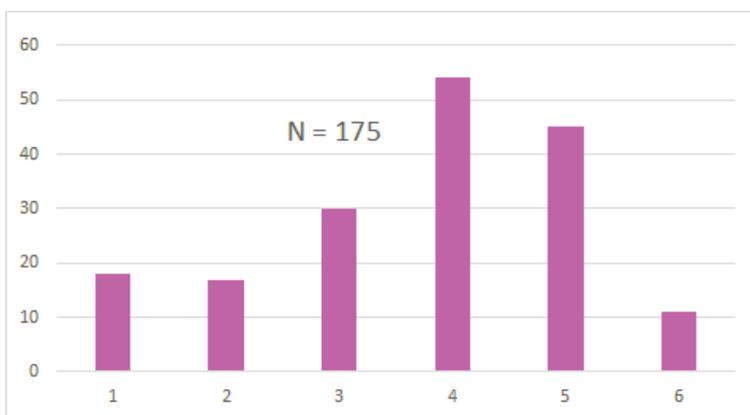
- a) aumenta la concentrazione  $\text{SO}_2$  e diminuisce la concentrazione  $\text{SO}_3$
- b) aumenta la concentrazione  $\text{SO}_2$  e aumenta la concentrazione  $\text{SO}_3$
- c) diminuisce la concentrazione  $\text{SO}_2$  e aumenta la concentrazione  $\text{SO}_3$
- d) diminuisce la concentrazione  $\text{SO}_2$  e diminuisce la concentrazione  $\text{SO}_3$
- e) nessuna variazione della concentrazione  $\text{SO}_2$  della concentrazione  $\text{SO}_3$



**Figura 49.** 110 studenti hanno scelto la risposta corretta

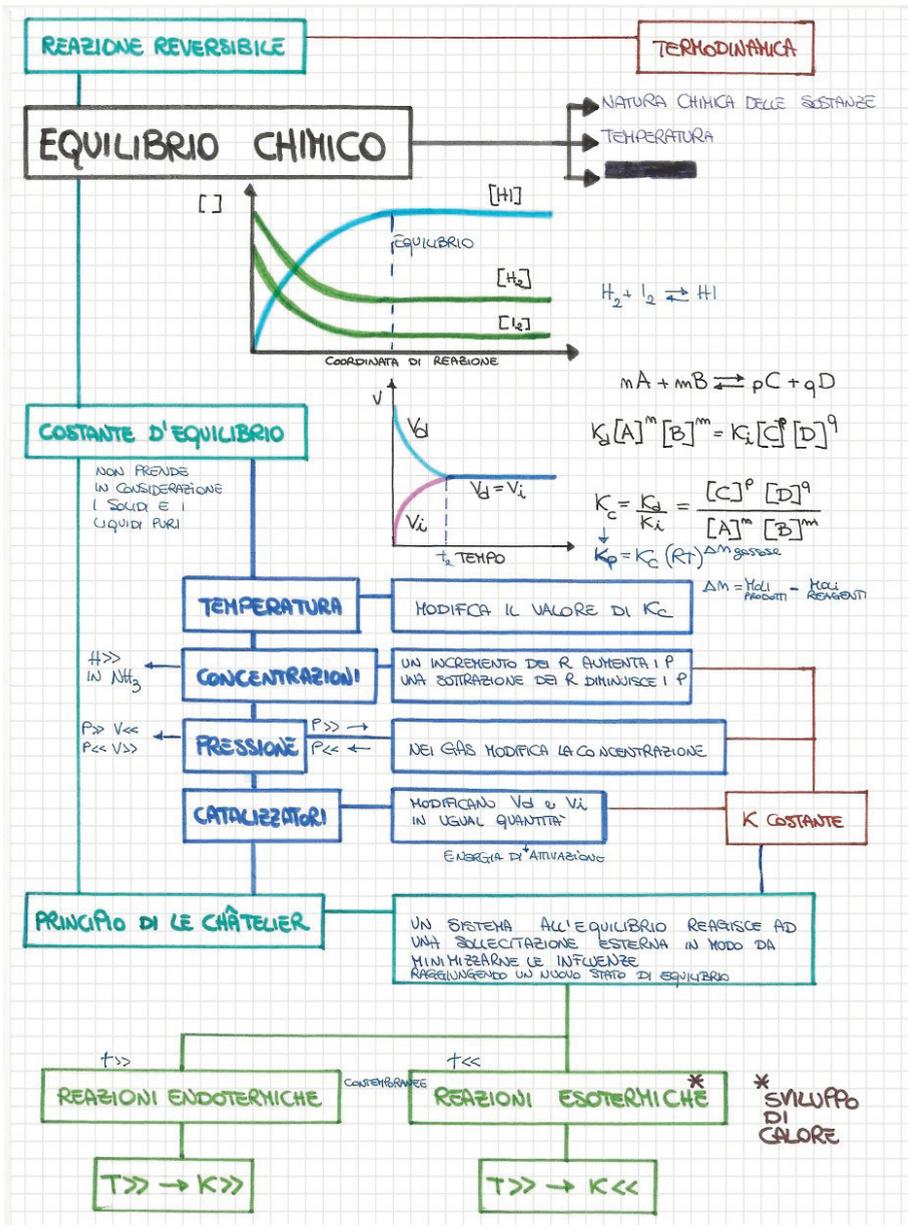
**Per rispondere alle 10 domande, ho trovato la mappa concettuale**

Inutile       Molto utile



**Figura 50.** 110 studenti hanno ritenuto in vario modo utile la mappa 'eccellente'.

Dai risultati si può affermare che l'uso della mappa 'eccellente' ha avuto un moderato impatto sui risultati. Ciò che ha fatto la differenza è stata la preparazione degli studenti e in diversi si sono corretti ed hanno spiegato e argomentato sulle ragioni per le quali la risposta era sbagliata.



**Figura 51.** Mappa concettuale sull'equilibrio chimico di notevole efficacia, nonostante la presenza di un piccolo errore. Se confrontata con la Figura 46, questa mappa risulta molto più ricca di collegamenti. Ma con quali evidenze si potrebbe affermare che l'autore dell'altra mappa non sia in grado di conoscere i concetti qui riportati e fare questi collegamenti?

La mappa di Figura 51 permette ancora qualche ulteriore breve considerazione sul processo di valutazione. In molti casi, specie negli argomenti complessi, l'insegnante non è in grado di stabilire dall'analisi della mappa quanto siano significativi i collegamenti riportati o quanto considerare gravi i collegamenti mancanti. Nonostante la moltitudine di studi sull'uso delle mappe e sulla loro valutazione, mai è stato considerato il peso da dare alla presenza di errori nelle mappe.

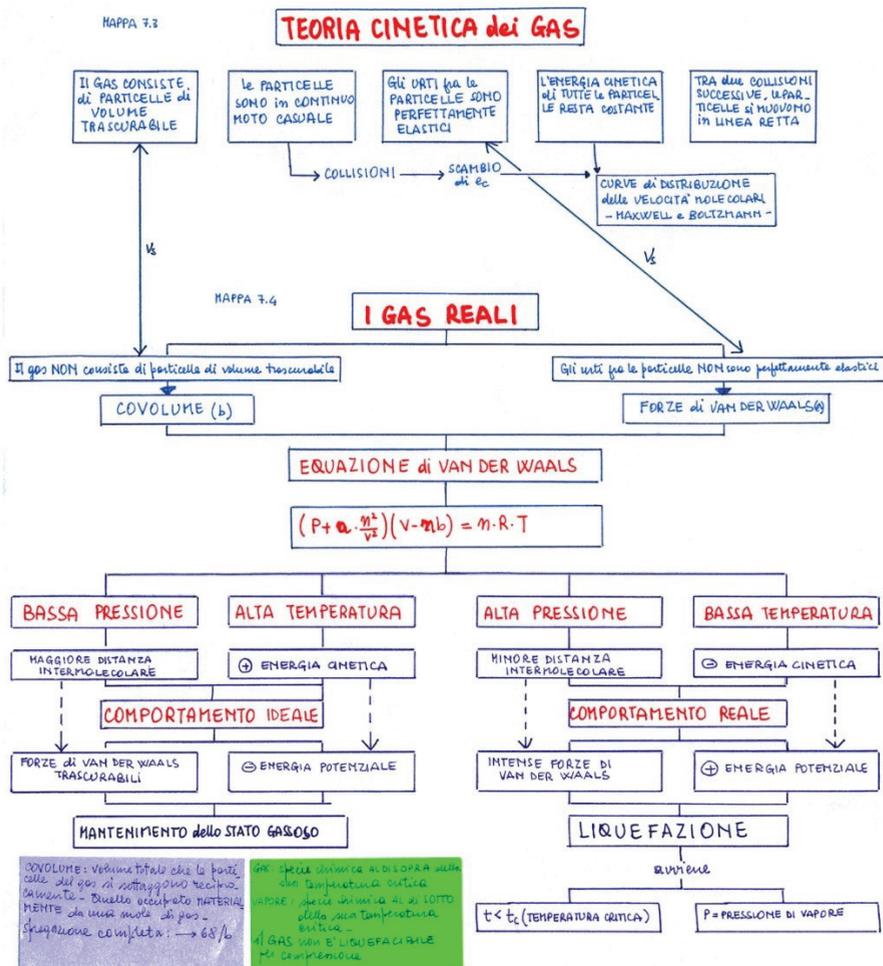


Figura 52. Mappa concettuale sui gas (terza e quarta), che evidenzia concetti diversi dalle precedenti riportate. Con l'aumento della conoscenza, alcuni studenti portano modifiche. Si noti l'analogo 'stile' della Figura 31.

Per le varie considerazioni già fatte, una mappa non può essere lo strumento migliore per valutare la conoscenza scolastica; per questo scopo è più efficace l'interrogazione: "While interviewing students to assess understanding of chemical concepts is not feasible for routine evaluation in chemistry classes, interviews are revealing of strengths and weaknesses in a student's understanding." (Pendley, Bretz, Novak, 1994, p. 15)

Le mappe, come pure i riassunti, sono una produzione soggettiva fatta in un certo momento nel processo di apprendimento e non necessariamente riportano tutta la conoscenza posseduta dallo studente. Infatti, nel momento che produce la mappa lo studente non sa se 'possiede tutta la conoscenza' rispetto ad un certo argomento. Alcuni studenti correggono e/o arricchiscono la mappa durante questo processo, con nuovi collegamenti, concetti o spiegazioni come risulta nella Figura 52. In genere, ma non sempre, questi studenti risultano tra i migliori del corso.

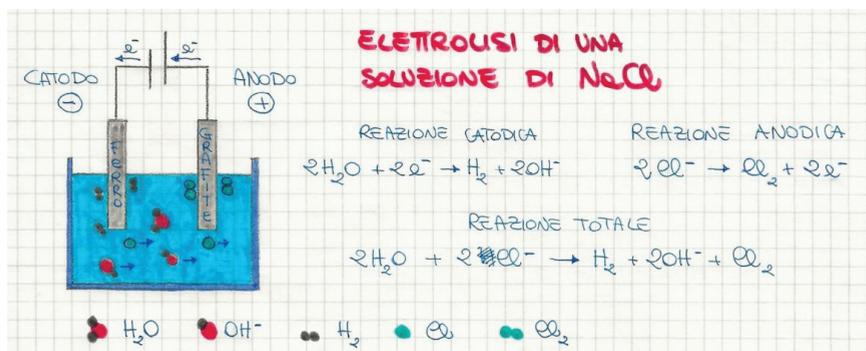
### **Le qualità dell'apprendimento significativo**

L'apprendimento significativo è un processo complesso che richiede una interazione positiva tra chi apprende e tra chi insegna. Che l'insegnante sia professionalmente preparato, che provi piacere per il proprio lavoro, conosca profondamente ciò che insegna e posseda la conoscenza pedagogica necessaria è condizione necessaria, ma spesso non sufficiente. Infatti, "regardless of how conceptually complete the material presented to the student is, the instruction alone does not convey understanding. The students must take an active role in the learning process by learning meaningfully rather than by rote." (Pendley, Bretz, Novak, 1994, p. 15)

Molte persone sono in grado di ripensare a qualche insegnante che abbia influenzato in modo eccezionale la propria esperienza scolastica. Varie e differenti sono le qualità di questi insegnanti, "but chances are that these are not the reasons why this teacher made such a difference. Chances are that this teacher's exceptionality lies with how he or she interacted with students. ... The way that teachers interact with their students is a prominent factor in differentiating one from the next in terms of impact." (Englehart, 2009, p. 711) Questo per evidenziare come il percorso scolastico sia un processo profondamente umano.

Lo studente deve essere attivamente coinvolto in questo processo attraverso l'ascolto, il prestare attenzione in classe e lo studio fuori della classe, ma il coinvolgimento attivo è una scelta dello studente. "Our first aspect of engagement means students are *actively thinking* and involved in their learning in ways that go beyond merely paying attention, listening, and/or reading. ... Although instructors have a role to play, engagement is a decision of the student, not the instructor. There is an old saying that you can lead a horse to water, but you cannot make it drink. Likewise, from the

perspective of teaching and learning, you can lead students to knowledge but you cannot make them think.” (Gardner, 2018, p. 2)



**Figura 53.** Mappa concettuale sull'elettrolisi di una soluzione acquosa di NaCl. Il processo viene spiegato attraverso rappresentazioni e reazioni.

Le mappe, i riassunti e altri tipi di rappresentazioni sono uno strumento utile per rendere significativo l'apprendimento, ma spesso non sufficiente, perché anche con le mappe gli studenti possono mandare a memoria dei concetti senza la necessaria riflessione che permette di collegare e ristrutturare la nuova conoscenza a quanto già si conosce. Rapidamente questa conoscenza scompare perché non è ritrovabile nella memoria. (Pendley, Bretz, Novak, 1994, p. 15)

L'apprendimento significativo ha alcune caratteristiche importanti; permette di dare un senso ai nuovi concetti, integrandoli nella propria conoscenza, e possono essere utilizzati in contesti e situazioni differenti, sviluppando le abilità nel problem solving, il pensiero critico, l'interesse per la materia. In questo modo, la nuova conoscenza derivata da una ristrutturazione cognitiva diviene utilizzabile e persiste nel tempo.

Grande importanza riveste la motivazione e gli studiosi indicano alcuni aspetti psicologici come l'autostima e le convinzioni rispetto alle proprie capacità, che possono fare molta differenza quando si devono affrontare dei fallimenti scolastici. “the attributions students make after a setback have profound effects on the patterns of coping they display. ... low ability attributions after failure tend to produce a pattern of negative self-evaluation, negative affect, and helplessness. In the face of failure, these students feel depressed, have lowered self-regard, and show low persistence and impaired performance.” (Grant, Dweck, 2001, p. 204)

Nelle varie discipline scolastiche ci sono diversi processi cognitivi e particolari ragionamenti caratteristici della disciplina in cui la mente dello studente viene coinvolta. Gli ideatori del ragionamento visibile hanno identifi-

cato sei tipi di operazioni cognitive e abilità del pensiero ad alto effetto, che sono essenziali per aiutare la comprensione di nuove idee e acquisire le abilità necessarie a padroneggiarle: (Ritchhart, Church, Morrison, 2011, p. 11)

1. Observing closely and describing what's there
2. Building explanations and interpretations
3. Reasoning with evidence
4. Making connections
5. Considering different viewpoints and perspectives
6. Capturing the heart and forming conclusions

Spiegare, argomentare, interpretare, trarre conclusioni e soprattutto fare connessioni tra concetti e argomenti (punto 4) sono alcune delle abilità importanti riconosciute alla figura dell'esperto. L'argomentazione non fa parte del bagaglio formativo di molti studenti: per stimolare questo aspetto veniva chiesto di spiegare i passaggi nella soluzione dei problemi e di supportare con dati e richiami della teoria le affermazioni riportate nelle mappe e nei riassunti. Ad esempio, nella mappa di Figura 54 (a) sono stati riportati a matita i valori di  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  e  $\Delta G$ , anche se non sono molto visibili.

Secondo Richard Mayer, per diventare conoscenza significativa, è necessario che nel processo di apprendimento siano attivate delle procedure cognitive: "Learning depends on the learner's cognitive processing during learning and includes (a) selecting-attending to the relevant incoming material; (b) organizing-organizing the incoming material into a coherent mental representation; and (c) integrating-relating the incoming material with existing knowledge from long-term memory." (Mayer, 2008, p. 761) Infine, per essere significativo il nuovo apprendimento deve apportare dei cambiamenti nella memoria a lungo termine: "The purpose of instruction is to increase the store of knowledge in long-term memory. If nothing has changed in long-term memory, nothing has been learned." (Sweller, Ayres, Kalyuga, 2011, p. 24)

Un attributo fondamentale dell'apprendimento significativo è la ritenzione dei concetti imparati nel tempo. Stimolare l'auto-spiegazione aiuta l'integrazione e la comprensione profonda dei concetti e delle procedure nel problem solving: "Eliciting self-explanations clearly enhances learning and understanding of a coherent body of new knowledge, whether one compares the amount learned by the prompted and the unprompted students, or whether one compares the amount learned by the high and low explainers." (Chi et al., 1994, p. 469) ... "self-explanation has three important characteristics that may contribute to its effectiveness as a learning skill. Many alternative activities, such as diagram drawing, summarizing, generating complete theory-based explanations, may be more limited as *learning skills* because each of them lacks all of the characteristics of self-explanations." (Chi et al., 1994, p. 474)

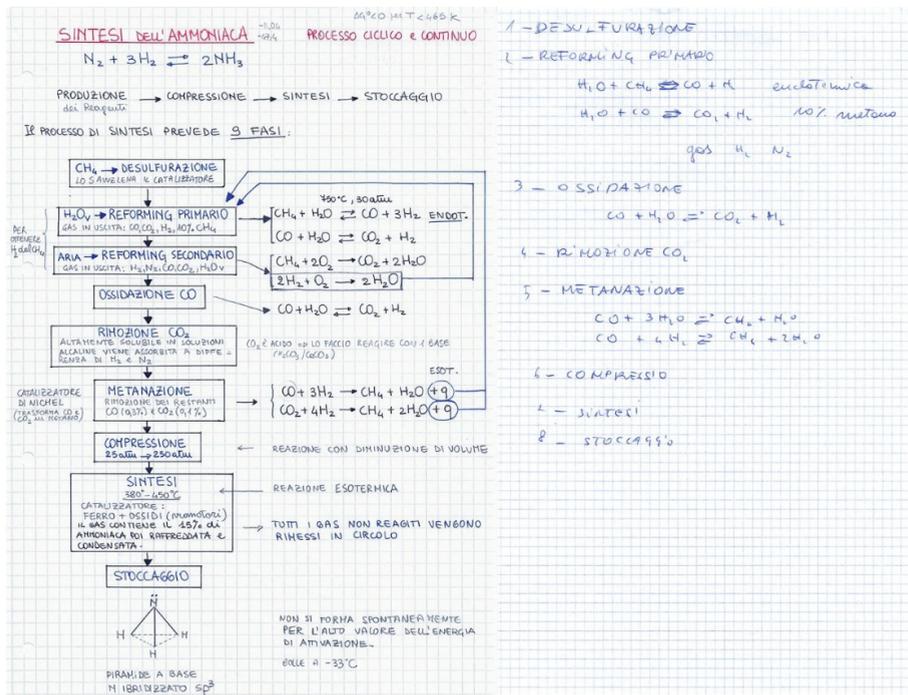


Figura 54 a, b. Mappe concettuali sulla sintesi industriale dell'ammoniaca. Se paragonata con la mappa di sinistra (a), ricca di informazioni, non si direbbe che quella di destra (b) sia la mappa di una tra le menti migliori tra tutti gli studenti di ingegneria. Una dimostrazione che con poche 'chiavi' si possono aprire molte 'porte'.

Riguardo alla ritenzione, molti studi evidenziano i vantaggi dell'apprendimento basato sul ritrovamento delle informazioni nella propria mente. La psicologia cognitiva propone delle tecniche efficaci supportate da evidenze empiriche, che sono in gran parte ignorate nel mondo della scuola. (Rohrer, Pashler, 2010; Dunlosky et al., 2013) Sono stati identificati tre principi molto promettenti che migliorano notevolmente l'apprendimento e la ritenzione delle informazioni: "(1) distribution (spacing and interleaving) of practice in learning facts and skills; (2) retrieval practice (via self testing) for durable learning; and (3) explanatory questioning (elaborative interrogation and self-explanation) as a study strategy." (Roediger III, Pyc, 2012, p. 242)

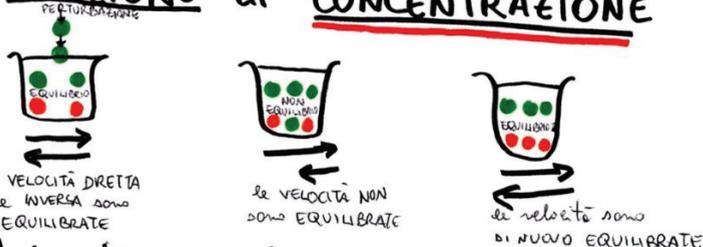
La strategia di apprendimento basata sul recupero delle informazioni è importante perché tutte le espressioni della conoscenza implicano il ritrovamento di informazioni; inoltre produce apprendimento significativo e a lungo termine. (Karpicke, Grimaldi, 2012) "Retrieval is the key to promo-



## IL PRINCIPIO di LE CHÂTELIER

Un sistema all'equilibrio, perturbato da un'azione esterna, reagisce in modo da ridurre o annullarne l'effetto, ristabilendo l'equilibrio.

### VARIAZIONE di CONCENTRAZIONE



Aggiungendo un reagente ad un sistema all'equilibrio, l'equilibrio si sposta nella direzione che consente la scomparsa di una PARTE del REAGENTE aggiunto e la FORMAZIONE del prodotto (VALE il VICEVERSA se si aggiunge un prodotto)

### VARIAZIONE PRESSIONE o DEL VOLUME di componenti in fase gassosa

AUMENTO MOL + DIM PRESS. = EQUIL →  
 DIMINUIZIO MOL + DIM PRESS. = EQUIL ←  
 DIMINUIZIO MOL + AUM PRESS. = EQUIL →  
 AUM PRESS. = EQUIL ←

L'aumento di pressione di un sistema gassoso all'equilibrio comporta lo spostamento dell'equilibrio verso la FORMAZIONE delle sostanze che occupano MINOR VOLUME.

Se si aumenta il VOLUME → FORMAZIONE SOSTANZE A VOLUME MAGGIORE

Figura 56. Mappa concettuale sull'equilibrio chimico. L'autore ha avuto grandi difficoltà con la comprensione della chimica e per facilitarla la preparazione ha realizzato 106 mappe.

Si può affermare che la pratica del 'retrieval' è efficace in tutti i contesti, con molto profitto per gli studenti, perché "when presented as an adjunct intervention to normal classroom instruction, retrieval practice can increase student performance in an undergraduate physiology course. While a significant increase in grade by the retrieval practice group was only observed for

one of the four module exams, the retrieval practice group exam average was higher than that of the control or concept mapping groups for all of the module exams as well as the final grade.” (Burdo, O’Dwyer, 2015, p. 337)

In molte maniere è possibile incorporare queste strategie nell’insegnamento nella classe: ad esempio all’inizio della lezione si potrebbe chiedere agli studenti di scrivere i (dieci) concetti trattati nella lezione precedente, e alla fine della lezione di scrivere i (dieci) nuovi concetti appresi e poi di usarli a casa per disegnare la mappa concettuale. Molto efficace a questo fine sarebbe il rifare la mappa concettuale in gruppo; “la fase più stimolante e creativa è stata la rielaborazione delle mappe, nella quale gli studenti, confrontandosi e discutendo tra loro, imparano a socializzare le conoscenze, creando una mappa in cui ognuno si sente protagonista.” (Mei, 2000, p. 97) L’unico inconveniente è il tempo necessario; usata all’università, questa tecnica ha suscitato disappunto negli studenti perché diminuiva le spiegazioni della teoria.

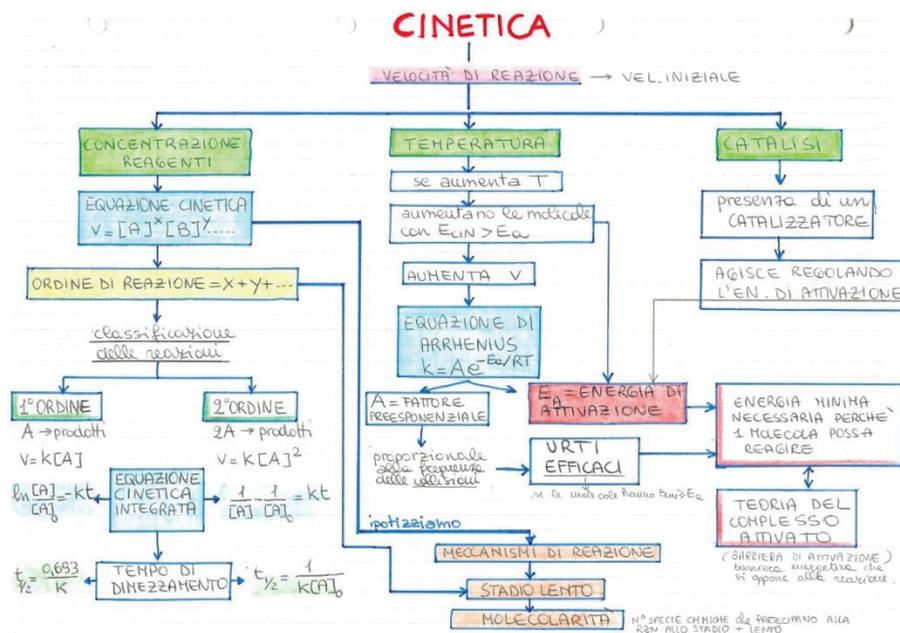


Figura 57. Mappa concettuale sulla cinetica chimica. Anche in questa mappa sono state aggiunte spiegazioni.

### Conclusioni

Le mappe concettuali possono essere utilmente utilizzate in molti contesti educativi. (Novak, 1990) Le mappe concettuali adattate alla maniera di ragionare degli studenti, riassunti argomentati e brevi spiegazioni dei concetti

sono utili strumenti per riflettere, dare un senso al materiale da apprendere e favorirne la strutturazione nella mente. Nella costruzione delle mappe gli studenti rielaborano e approfondiscono quanto appreso nello studio e durante le spiegazioni e magari hanno la possibilità di studiare di nuovo gli argomenti relativi quando non comprendono le relazioni tra le parole che rappresentano dei concetti.

Alle elementari e ancor di più necessario l'intervento degli insegnanti. Gli allievi possono disegnare mappe personali e a scuola, magari dopo la spiegazione della maestra preparare delle mappe di gruppo con concetti mobili. L'insegnante può controllare e discutere con gli studenti eventuali spostamenti dei concetti, e poi gli allievi inseriscono le spiegazioni. In questo modo la mappa risulta un aiuto per la comprensione significativa.

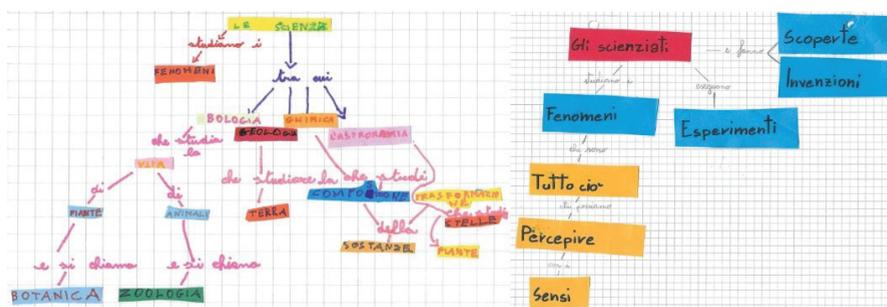


Figura 58. Mappe concettuali sulle scienze e sugli scienziati.

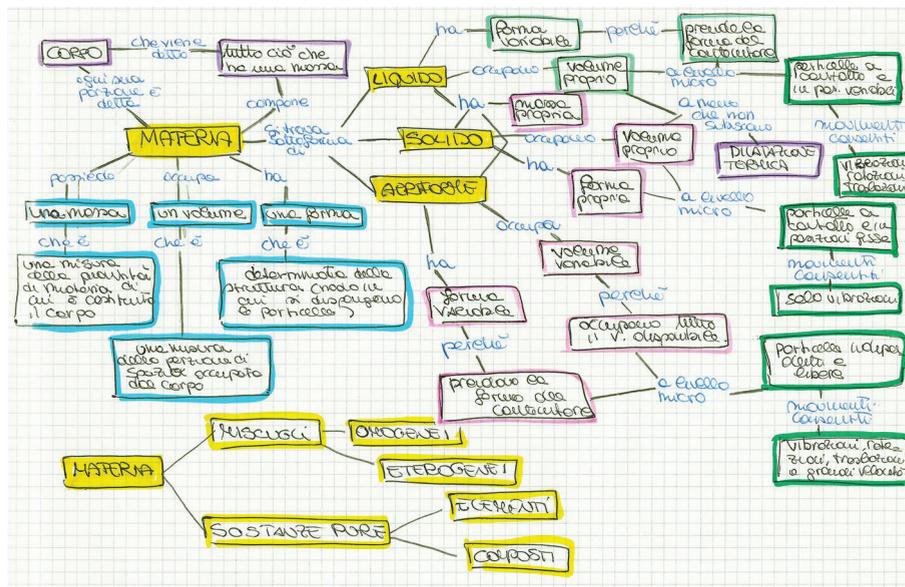
La discussione favorisce l'approfondimento del significato scientifico; l'intervento dell'insegnante è utile per stimolare il riferimento ad esempi e la richiesta di evidenze per supportare le affermazioni. L'analisi della discussione nei gruppi rileva la mancanza dell'argomentazione: "no reference was made to experience of the physical world. The question 'What evidence do we have for this?' did not arise. ... the concept mapping activities clearly did not normally encourage explicit linking of theory to empirical data." (Sizmur, Osborne, 1997, p. 1133)

Come risulta dalle mappe riportate, gli studenti le realizzano in modo molto vario, secondo personali inclinazioni; obbligarli ad uno schema unico sarebbe andare contro all'idea fondante dello strumento rappresentativo della personale conoscenza. Inoltre, alcuni studenti avrebbero delle difficoltà a riportare le relazioni tra i concetti utilizzando una o poche parole. La ricerca ha individuato specifiche debolezze negli studenti che rendono le mappe poco utili: "we did not find an advantage for learners with low verbal abilities. On the contrary, we found that the cluster group with the lowest learning outcome had significantly worse verbal abilities than learners in the cluster with the best learning outcome." (Hilbert, Renkl, 2008, p. 69) Anche

le abilità spaziali hanno un ruolo nella preparazione delle mappe e favoriscono gli studenti migliori, che raggiungono un apprendimento elevato. L'uso delle mappe non è sufficiente a fare la differenza nei risultati scolastici degli studenti considerati perché "the differences in the learning outcomes are not a result of the different concept-mapping strategies but of ability in general." (Hilbert, Renkl, 2008, p. 70)

Queste ultime considerazioni rafforzano la necessità di escludere l'uso delle mappe come strumento di valutazione affidabile. Alla differente organizzazione e qualità delle mappe si addice la spiegazione fornita da Johnstone: "Some of our recent research, ... shows that the best students have the simplest maps and the weakest often have the most elaborate maps. Presumably the best students have their understanding so well chunked that a simple map is all that is needed to unlock a range of associations which they hold in mind as interrelated chunks. They do not need to make them explicit on paper. The poorer students pour all that they know on paper as a map of words without necessarily understanding it." (Johnstone, 2002) Le molte mappe riportate, in particolare quelle di Figura 54 a, b e Figura 51 e l'esperienza accumulata in oltre 20 anni di utilizzo (con un accumulo tra mappe e riassunti di oltre 25.000 oggetti) in generale confermano e supportano questa affermazione.

Come si è visto, per fare le mappe è necessaria una preparazione adeguata e il processo richiede parecchio tempo e riflessione per realizzare dei manufatti che risultino utili all'autore e forse per questo motivo non sono amate da una parte degli studenti. Molti le disegnano in quanto si sentono in qualche modo obbligati. "Throughout the course those students who were required to complete concept maps did so, but where students were given a choice by other tutors they almost immediately and totally avoided them. ... A further objective, ... was that students would find the mapping strategy to be of value in the long term, and in other subjects. There is no evidence that this occurred." (Santhanam, Leach, Dawson, 1998, p. 325) Nel tentativo di rendere interessante un articolo, alle volte ci si arrampica sugli specchi per spiegare le ragioni per cui le mappe non sono molto usate. "Could it be that the teachers, ... were in practice preventing concept mapping from being adopted in biology departments? This could be because the philosophy underlying the use of concept mapping, Human Constructivism conflicted with their traditional beliefs in the scientific paradigm. Alternatively, anxieties may arise because they know that concept mapping could highlight inadequacies in their teaching or failings in schemes of work." (Kinchin, 2001, p. 1263) Gli studenti scoprirebbero l'inadeguatezza delle lezioni dei propri insegnanti!? Una ragione più semplice potrebbe essere che gli studenti non trovino molto utili le mappe concettuali per il loro studio.



**Figura 59.** Mappa concettuale sulla materia. Questa mappa riceverebbe una valutazione molto superiore a quella riportata in Figura 3: sarebbe però una valutazione ingiusta, in quanto l'autrice della Figura 3 è stata una tra le migliori studentesse.

La notevole diversità degli ‘stili’ delle mappe riportate è dovuta alla diversità tra gli studenti e alle loro differenti attitudini e valutazioni di ciò che è utile riportare nelle mappe. L’attitudine è un costrutto da considerare anche rispetto all’insegnamento della chimica: se gli studenti avvertono curiosità e interesse, studiare la materia sarà molto più semplice. “The term *aptitude* signifies some aspect of the present state of an individual that is propaedeutic to some future achievement in some particular situation. As such, it incorporates conative and affective as well as cognitive attributes of persons that predict success in specified endeavors. It includes also prior achievement differences among persons that serve as such predictors.” (Corno, Snow, 1986, p. 605)

Rispetto ai diversi stili di apprendimento sono state individuate quattro preferenze che sono alla radice della motivazione e otto diverse caratteristiche maniere rispetto ai diversi stili per aumentare negli studenti l’impegno verso l’apprendimento. (Silver, Perini, 2010, pp. 325-330)

Il loro uso, come l’impiego dei riassunti argomentati e altri strumenti che richiedono il richiamo nella mente e la rielaborazione di quanto si conosce facilita e aiuta gli studenti nel delicato lavoro di acquisire abilità e competenze. Ma ciò che risiede nelle mente è certamente molto più complesso e

articolato di quanto queste rappresentazioni possono mostrare: “The richest semantic network provides, at best, a rudimentary approximation of one’s knowledge about a topic.” (Fisher, 1990, p. 1016) Questa considerazione, in aggiunta a quanto già osservato dovrebbe consigliare molta cautela nel loro impiego come strumenti di verifica.

Le mappe sono uno strumento di riflessione personale nel processo dell’acquisizione della conoscenza che hanno un senso e una utilità soprattutto per l’autore. “They may be analogous to a personal diary with its abbreviations, allusions, selection of the important and memory jogging; rich in meaning for the writer, but easily misconstrued by a reader.” (Johnstone, Otis, 2006, p. 92)

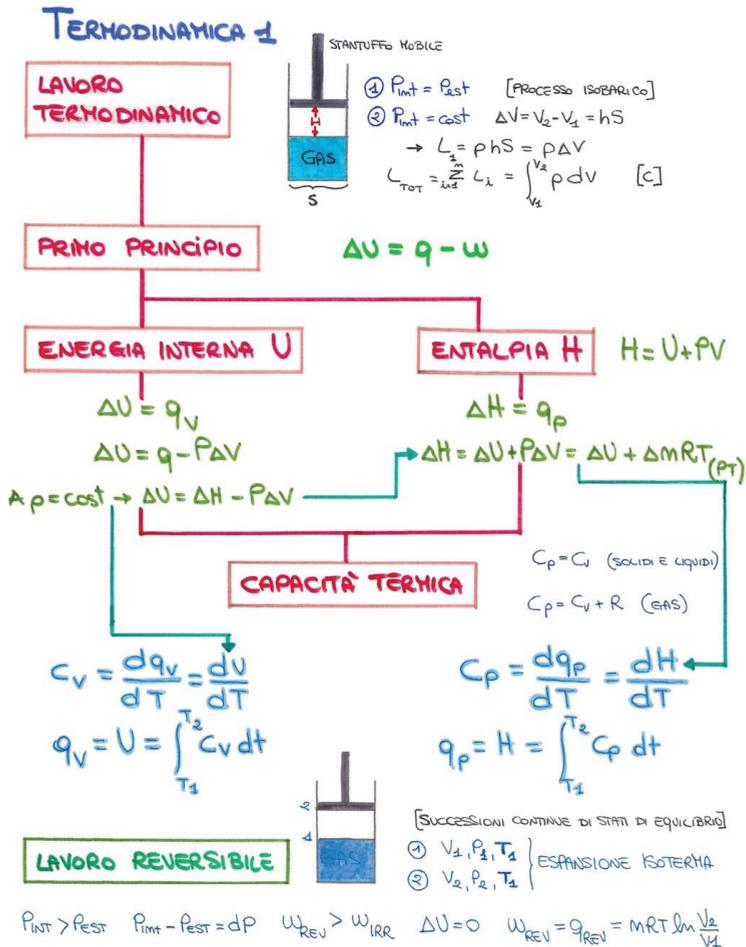


Figura 60. Mappa concettuale sulla termodinamica. In questa mappa sono assenti sia la legge di Hess che l’equazione di Kirchhoff, ma viene meglio spiegata la capacità termica molare.

## Bibliografia

W. H. Acton, P. J. Johnson, T. E. Goldsmith, Structural knowledge assessment: Comparison of referent structures. *Journal of Educational Psychology*, **86** (2), 303-311, 1994.

A. Al-Kunifed, J. Wandersee, One hundred references related to concept mapping. *Journal of Research in Science Teaching*, **27** (10), 1069-75, 1990.

S. A. Ambrose, M. C. Lovett, Prior knowledge is more than content: Skills and beliefs also impact learning. In V. A. Benassi, C. E. Overson, C. M. Hakala, *Applying science of learning in education: Infusing psychological science into the curriculum* (pp. 7-19), 2014. Retrieved from the Society for the Teaching of Psychology web site: <http://teachpsych.org/ebooks/asle2014/index.php>

D. P. Ausubel, *Educational psychology. A cognitive view*. Holt, Rinehart & Winston: New York, 1968.

A. J. Baroody, B. H. Bartels, Using concept maps to link mathematical ideas. *Mathematics Teaching in the Middle School*, **5** (9), 604-609, 2000.

J. Bertin, *Semiology of graphics. Diagrams, networks, maps*. Esri Press: Redlands, CA, 2010.

L. A. Bolte, Using concept maps and interpretive essays for assessment in mathematics. *School Science and Mathematics*, **99** (1), 19-29, 1999.

S. BouJaoude, M. Attieh, The effect of using concept maps as study tools on achievement in chemistry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, **4** (3), 233-246, 2008.

J. Burdo, L. O'Dwyer, The effectiveness of concept mapping and retrieval practice as learning strategies in an undergraduate physiology course. *Advances in Physiology Education*, **39** (4), 335-340, 2015.

N. L. Burrows, S. Reid Mooring, Using concept mapping to uncover students' knowledge structures of chemical bonding concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, **16** (1), 53-66, 2015.

L. Cardellini, La concezione delle mappe concettuali per promuovere l'apprendimento significativo: Una intervista con Joseph D. Novak, *La Chimica nella Scuola*, **28** (2), 71-76, 2006.

L. Cardellini, Acquiring and assessing structural representations of students' knowledge. In M. Valenčič Zuljan, J. Vogrinc (Eds), *Facilitating effective student learning through teacher research and innovation* (pp. 225-251). Faculty of Education, University of Ljubljana: Ljubljana, 2010.

L. Cardellini, *The role of concept maps in the improvement of the teaching and learning process*. Proceedings of the 1st Asian Pacific Conference on Concept Mapping, pp. 86-100. Beijing, 2017.

- L. Cardellini, J. Pascual-Leone, On mentors, cognitive development, education, and constructivism: An interview with Juan Pascual-Leone. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, **4** (2), 199-219, 2004.
- L. Cardellini, S. Monosi, Some doubts on the use of concept maps for assessment. In *8th ECRICE, Book of abstracts*, pp. 128-129, 2006.
- M. T. H. Chi, R. Glaser, E. Rees, Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence. Vol. 1* (pp. 7-75). Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1982.
- M. T. H. Chi, N. de Leeuw, M.-H. Chiu, C. LaVancher, Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, **18** (3), 439-477, 1994.
- M. T. H. Chi, S. Ohlsson, Complex declarative learning. In K. J. Holyoak, R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 371-399). Cambridge University Press: Cambridge, 2005.
- M. T. H. Chi, R. D. Roscoe, J. D. Slotta, M. Roy, C. C. Chase, Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, **36** (1), 1-61, 2012.
- L. Corno, R. E. Snow, Adapting teaching to individual differences among learners. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 605-629). Macmillan Publishing Company: New York, 1986.
- B. J. Daley, S. Morgan, S. Beman Black, Concept maps in nursing education: A historical literature review and research directions. *Journal of Nursing Education*, **55** (11), 631-639, 2016.
- F. J. R. C. Dochy, Assessment of domain-specific and domain-transcending prior knowledge: Entry assessment and the use of profile analysis. In M. Birenbaum, F. J. R. C. Dochy (Eds.), *Alternatives in assessment of achievements, learning processes and prior knowledge* (227-264). Springer Science+Business Media: New York, 1996.
- F. Dochy, C. de Rijdt, W. Dyck, Cognitive prerequisites and learning. How far have we progressed since Bloom? Implications for educational practice and teaching. *Active Learning in Higher Education*, **3** (3), 265-284, 2002.
- J. Dunlosky, K. A. Rawson, E. J. Marsh, M. J. Nathan, D. T. Willingham, Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, **14** (1) 4-58, 2013.
- B. L. Earl, Concept maps for general chemistry. *Journal of Chemical Education*, **84** (11), 1788-1789, 2007.
- J. V. Ebenezer, Making chemistry learning more meaningful. *Journal of Chemical Education*, **69** (6), 464-467, 1992.
- J. M. Englehart, Teacher-student interaction. In L. J. Saha, A. G. Dworkin (Eds.), *International handbook of research on teachers and teaching* (pp. 711-722). Springer Science+Business Media: New York, 2009.

- K. M. Fisher, Semantic networking: The new kid on the block. *Journal of Research in Science Teaching*, **27** (10), 1001-1018, 1990.
- R. M. Gagné, Reviews: Ausubel, David P. Educational psychology: A cognitive view. *American Educational Research Journal*, **6** (2), 287-290, 1969.
- D. E. Gardner, Strategies for engagement: Enhancing your teaching. In C. M. Teague, D. E. Gardner (Eds.), *Engaging students in physical chemistry* (pp. 1-13). American Chemical Society: Washington, DC, 2018.
- H. Grant, C. S. Dweck, Cross-cultural response to failure. Considering outcome attributions with different goals. In F. Salili, C. Y. Chiu, Y. Y. Hong (Eds.), *Student motivation. The culture and context of learning* (pp. 203-219). Springer Science+Business Media: New York, 2001.
- T. Hailikari, N. Katajavuori, S. Lindblom-Ylänne, The relevance of prior knowledge in learning and instructional design. *American Journal of Pharmaceutical Education*, **72** (5), 1-8, 2008.
- T. Hailikari, A. Nevgi, E. Komulainen, Academic self-beliefs and prior knowledge as predictors of student achievement in mathematics: A structural model. *Educational Psychology: An International Journal of Experimental Educational Psychology*, **28** (1), 59-71, 2008.
- D. B. Hay, Using concept maps to measure deep, surface and non-learning outcomes. *Studies in Higher Education*, **32** (1), 39-57, 2007.
- D. B. Hay, I. M. Kinchin, Using concept maps to reveal conceptual typologies. *Education + Training*, **48**, (2/3), 127-142, 2006.
- D. Hay, I. Kinchin, S. Lygo-Baker, Making learning visible: the role of concept mapping in higher education. *Studies in Higher Education*, **33** (3), 295-311, 2008.
- J. Hiebert, T. P. Carpenter, Learning and teaching with understanding. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 65-97). The National Council of Teachers of Mathematics, Inc.: Reston, VA, 1992.
- T. S. Hilbert, A. Renkl, Concept mapping as a follow-up strategy to learning from texts: what characterizes good and poor mappers? *Instructional Science*, **36** (1), 53-73, 2008.
- P. B. Horton, A. A. McConney, M. Gallo, A. L. Woods, G. J. Senn, D. Hamelin, An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. *Science Education*, **77** (1), 95-111, 1993.
- D. H. Jonassen, K. Beissner, M. Yacci, *Structural knowledge. Techniques for representing, conveying, and acquiring structural knowledge*. Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1993.
- D. H. Jonassen, T. C. Reeves, N. Hong, D. Harvey, K. Peters, Concept mapping as cognitive learning and assessment tools. *Journal of Interactive Learning Research*, **8** (3-4), 289-308, 1997.
- A. H. Johnstone, Comunicazione personale, 11 febbraio 2002.
- A. H. Johnstone, K. H. Otis, Concept mapping in problem based learning: a cautionary tale. *Chemistry Education Research and Practice*, **7** (2), 84-95, 2006.

- J. D. Karpicke, Retrieval-based learning: Active retrieval promotes meaningful learning. *Current Directions in Psychological Science*, **21** (3), 157-163, 2012.
- J. D. Karpicke, J. R. Blunt, Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping. *Science*, **331** (6018), 772-775, 2011a.
- J. D. Karpicke, J. R. Blunt, Response to comment on “Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping”. *Science*, **331** (6055), 453, 2011b.
- J. D. Karpicke, P. J. Grimaldi, Retrieval-based learning: A perspective for enhancing meaningful learning. *Educational Psychology Review*, **24** (3), 401-418, 2012.
- J. D. Karpicke, A. C. Butler, H. L. Roediger III, Metacognitive strategies in student learning: Do students practise retrieval when they study on their own? *Memory*, **17** (4), 471-479, 2009.
- I. M. Kinchin, If concept mapping is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it? *International Journal of Science Education*, **23** (12), 1257-1269, 2001.
- I. M. Kinchin, *Using concept maps to develop theory in educational research*. Proceedings of the 1st Asian Pacific Conference on Concept Mapping, pp. 3-11. Beijing, 2017.
- I. M. Kinchin, D. B. Hay, A. Adams, How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. *Educational Research*, **42** (1), 43-57, 2000.
- D. Kuhn, Foreword. In M. S. Khine (Ed.), *Perspectives on scientific argumentation* (pp. v-vii). Springer Science+Business Media: Dordrecht, Heidelberg, 2012.
- W. Lee, C.-H. Chiang, I.-C. Liao, M.-L. Lee, S.-L. Chen, T. Liang, The longitudinal effect of concept map teaching on critical thinking of nursing students. *Nurse Education Today*, **33** (10) 1219-1223, 2013.
- E. A. Linnenbrink, P. R. Pintrich, Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice. In M. Limón, L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice* (pp. 115-135). Kluwer Academic Publishers: New York, 2002.
- X. Liu, M. Hinchey, The internal consistency of a concept mapping scoring scheme and its effect on prediction validity. *International Journal of Science Education*, **18** (8), 921-937, 1996.
- P. G. Markow, R. A. Lonning, Usefulness of concept maps in college chemistry laboratories: Students' perceptions and effects on achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, **35** (9), 1015-1029, 1998.
- R. E. Mayer, Rote versus meaningful learning. *Theory into Practice*, **41** (4), 226-232, 2002a.
- R. E. Mayer, Understanding conceptual change: A commentary. In M. Limón, L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice* (pp. 101-111). Kluwer Academic Publishers: New York, 2002b.
- R. E. Mayer, Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American Psychologist*, **63** (8), 760-769, 2008.
- J. R. McClure, B. Sonak, H. K. Suen, Concept map assessment of classroom learning: Reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, **36** (4), 475-492, 1999.

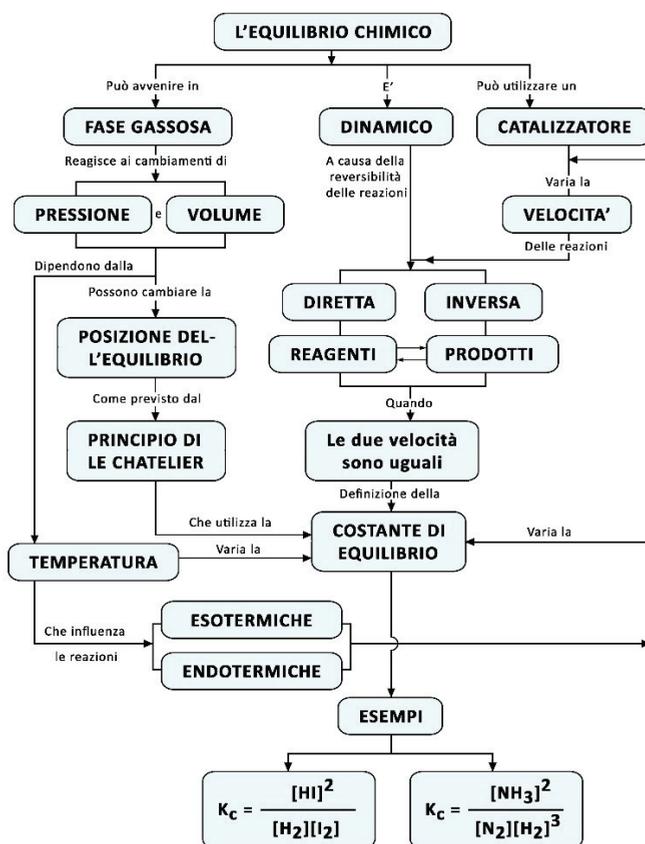
- A. Mei, Costruzioni di mappe concettuali in chimica organica. Stimolazione e controllo dei processi di apprendimento. *La Chimica nella Scuola*, **22** (3), 91-97, 2000.
- M. D. Merrill, First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 2002, **50** (3), 43-59.
- J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, J. D. Novak, Preface. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, J. D. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding. A human constructivist view* (pp. xvii-xx). Elsevier Academic Press: Burlington, MA, 2005.
- J. J. Mintzes, A. Canas, J. Coffey, J. Gorman, L. Gurley, R. Hoffman, S. Y. McGuire, N. Miller, B. Moon, J. Trifone, J. H. Wandersee, Comment on "Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping". *Science*, **334** (6055), 453, 2011.
- J. C. Nesbit, O. O. Adesole, Learning with concept and knowledge maps. A meta-analysis. *Review of Educational Research*, **76** (3), 413-448, 2006.
- J. D. Novak, A Theory of education as a basis for environmental education. In T. S. Bakshi, Z. Naveh (Eds.), *Environmental education. Principles, methods, and applications* (pp. 129-138). Plenum Press: New York, 1980.
- J. D. Novak, Application of advances in learning theory and philosophy of science to the improvement of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, **61** (7), 607-612, 1984.
- J. D. Novak, Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, **27** (10), 937-949, 1990.
- J. D. Novak, D. B. Gowin, *Learning how to learn*. Cambridge University Press: New York, 1984.
- J. D. Novak, A. J. Cañas, The theory underlying concept maps and how to construct and use them. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008, Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008, available at: <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>.
- J. D. Novak, A. J. Cañas, The development and evolution of the concept mapping tool leading to a new model for mathematics education. In K. Afamasaga-Fuata'i (Ed.), *Concept mapping in mathematics. Research into practice* (pp. 3-16). Springer: New York, 2009.
- J. D. Novak, L. Cardellini, Mappe concettuali: fondamenti teorici per l'uso nell'insegnamento, *IS Informatica & Scuola*, **12** (2), 14-17, 2004.
- S. Ohlsson, *Deep learning. How the mind overrides experience*. Cambridge University Press: New York, 2011.
- T. C. Papadopoulos, R. K. Parrila, J. R. Kirby, Retrospect and prospect. In T. C. Papadopoulos, R. K. Parrila, J. R. Kirby (Eds.), *Cognition, intelligence, and achievement. A tribute to J. P. Das* (pp. 443-458). Academic Press: London, 2015.
- B. D. Pendley, R. L. Bretz, J. D. Novak, Concept maps as a tool to assess learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, **71** (1), 9-15, 1994.
- R. Petty, L. Fabrigar, D. Wegener, Emotional factors in attitudes and persuasion. In R. Davidson, K. Scherer, H. Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 752-772). Oxford University Press: Oxford, 2003.

- P. R. Pintrich, D. A. Smith, T. Garcia, W. J. McKeachie, Reliability and predictive validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, **53** (3), 801-813, 1993.
- A. Pritchard, *Ways of learning. Learning theories and learning styles in the classroom*, 2nd Ed. Routledge: Abingdon, Oxon, 2009.
- A. Regis, P. G. Albertazzi, E. Roletto, Concept maps in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, **73** (11), 1084-1088, 1996.
- N. Reid, Attitude research in science education. In M. S. Khine, *Attitude measurements in science education. Classic and contemporary approaches* (pp. 3-46). Information Age Publishing Inc.: Charlotte, NC, 2015.
- C. M. Reigeluth, In search of a better way to organize instruction: The elaboration theory. *Journal of Instructional Development*, **2** (3), 8-15, 1979.
- C. M. Reigeluth, F. S. Stein, Elaboration theory. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: An overview of their current status* (pp. 335-381). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983.
- D. C. Rice, J. M. Ryan, S. M. Samson, Using concept maps to assess student learning in the science classroom: Must different methods compete? *Journal of Research in Science Teaching*, **35** (10), 1103-1127, (1998).
- R. Ritchhart, T. Turner, L. Hadar, Uncovering students' thinking about thinking using concept maps. *Metacognition and Learning*, **4** (2), 145-159, 2009.
- R. Ritchhart, M. Church, K. Morrison, *Making thinking visible. How to promote engagement, understanding, and independence for all learners*. Jossey-Bass: San Francisco, CA, 2011.
- H. L. Roediger III, M. A. Pyc, Inexpensive techniques to improve education: Applying cognitive psychology to enhance educational practice. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, **1** (4) 242-248, 2012.
- D. Rohrer, H. Pashler, Recent research on human learning challenges conventional instructional strategies. *Educational Researcher*, **39** (5), 406-412, 2010.
- L. A. Rooda, Effects of mind mapping on student achievement in a nursing research course. *Nurse Educator*, **19** (6), 25-27, 1994.
- M. A. Ruiz-Primo, R. J. Shavelson, Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, **33** (6), 569-600, 1996.
- M. A. Ruiz-Primo, S. E. Schultz, M. Li, R. J. Shavelson, Comparison of the reliability and validity of scores from two concept-mapping techniques. *Journal of Research in Science Teaching*, **38** (2), 260-278, 2001a.
- M. A. Ruiz-Primo, R. J. Shavelson, M. Li, S. E. Schultz, On the validity of cognitive interpretations of scores from alternative concept-mapping techniques. *Educational Assessment*, **7** (2), 99-141, 2001b.
- J. A. Rye, P. A. Rubba, An exploration of the concept map as an interview tool to facilitate the externalization of students' understandings about global atmospheric change. *Journal of Research in Science Teaching*, **35** (5), 521-546, (1998).
- E. Santhanam, C. Leach, C. Dawson, Concept mapping: How should it be introduced, and is there evidence for long term benefit? *Higher Education*, **35** (3), 317-328, 1998.

- R. J. Shavelson, Methods for examining representations of a subject-matter structure in a student's memory. *Journal of Research in Science Teaching*, **11** (3), 231-249, 1974.
- R. J. Shavelson, *Measuring college learning responsibility. Accountability in a new era*. Stanford University Press: Stanford, CA, 2010.
- U. Schiefele, The influence of topic interest, prior knowledge, and cognitive capabilities on text comprehension. In J. M. Pieters, K. Breuer, P. R. J. Simons (Eds.), *Learning environments. Contributions from Dutch and German research* (pp. 323-338). Springer-Verlag: Berlin, 1990.
- L. S. Shulman, Taking learning seriously. *Change*, **31** (4), 11-17, 1999.
- H. F. Silver, M. J. Perini, The eight Cs of engagement: How learning styles and instructional design increase student commitment to learning. In R. Marzano (Ed.), *On excellence in teaching* (pp. 319-342). Solution Tree Press: Bloomington, IN, 2010.
- S. Sizmur, J. Osborne, Learning processes and collaborative concept mapping, *International Journal of Science Education*, **19** (10), 1117-1135, 1997.
- M. L. Starr, J. Krajcik, Concept maps as a heuristic for science curriculum development: Toward improvement in process and product. *Journal of Research in Science Teaching*, **27** (10), 987-1000, 1990.
- M. S. Stensvold, J. T. Wilson, The interaction of verbal ability with concept mapping in learning from a chemistry laboratory activity. *Science Education*, **74** (4), 473-480, 1990.
- M. Stensvold, J. T. Wilson, Using concept maps as a tool to apply chemistry concepts to laboratory activities. *Journal of Chemical Education*, **69** (3), 230-232, 1992.
- R. J. Sternberg, *Thinking styles*. Cambridge University Press: New York, 1997.
- H. A. Stuart, Should concept maps be scored numerically? *European Journal of Science Education*, **7** (1), 73-81, 1985.
- M. D. Svinicki, W. J. McKeachie, *McKeachie's teaching tips. Strategies, research, and theory for college and university teachers*, 14th Ed. Wadsworth, Cengage Learning: Belmont, CA, 2014.
- J. Sweller, P. Ayres, S. Kalyuga, *Cognitive load theory*. Springer Science+Business Media: New York, 2011.
- S. Tobias, Interest, prior knowledge, and learning. *Review of Educational Research*, **64** (1), 37-54, 1994.
- N. Turan-Oluk, G. Ekmekci, The effect of concept maps, as an individual learning tool, on the success of learning the concepts related to gravimetric analysis. *Chemistry Education Research and Practice*, **19** (3), 819-833, 2018.
- J. J. G. van Merriënboer, P. A. Kirschner, *Ten steps to complex learning. A systematic approach to four-component instructional design*, 3<sup>rd</sup> Ed. Routledge: New York, 2018.
- M. K. Watson, J. Pelkey, C. R. Noyes, M. O. Rodgers, Assessing conceptual knowledge using three concept map scoring methods. *Journal of Engineering Education*, **105** (1), 118-146, 2016.
- M. Wertheimer, *Productive thinking*. V. Sarris (Ed.). Springer Nature: Switzerland, 2020.

- R. White, R. Gunstone, *Probing Understanding*. The Falmer Press: London, 1992.
- J. M. Wilson, Network representations of knowledge about chemical equilibrium: Variations with achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, **31** (10), 1133-1147, 1994.
- H. A. Witkin, D. R. Goodenough, *Cognitive styles: essence and origins. Field dependence and field independence*. International Universities Press: New York, 1981.
- H. A. Witkin, C. A. Moore, D. R. Goodenough, P. W. Cox, Field-dependent and Field-independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, **47** (1), 1-64, 1977.
- U. Zoller, Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (general and organic). *Journal of Research in Science Teaching*, **27** (10), 1053-1065, 1990.

## APPENDICE



Mapa concettuale 'eccellente' sull'equilibrio chimico.



## **26esimo Rapporto Responsible Care**

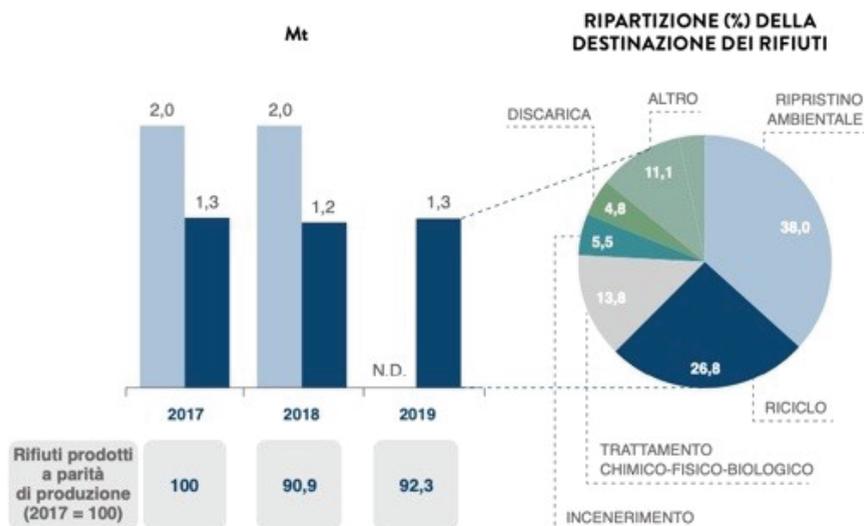
Presentato da Federchimica il 26esimo Rapporto Responsible Care sulle performance dell'industria chimica in termini di salute, sicurezza e ambiente.



I risultati conseguiti dalla chimica italiana in termini di salute, sicurezza e tutela ambientale sono stati illustrati ieri da **Federchimica** con la presentazione del **26esimo Rapporto Responsible Care** ([https://www.federchimica.it/docs/default-source/pubblicazioni/26-rapporto-annuale-responsible-care.pdf?sfvrsn=4cfd4493\\_8](https://www.federchimica.it/docs/default-source/pubblicazioni/26-rapporto-annuale-responsible-care.pdf?sfvrsn=4cfd4493_8)), programma volontario avviato a livello mondiale per misurare le performance in termini di sostenibilità dell'industria chimica.

Risultati che, ha affermato **Paolo Lamberti**, Presidente di Federchimica: “anche quest’anno sono molto positivi e incidono sulle prestazioni, già eccellenti, ottenute nella tutela di salute, sicurezza e ambiente; in tutti questi ambiti, e non solo, ci posizioniamo ai più alti livelli rispetto alla media manifatturiera”.

Sotto il profilo **ambientale**, il settore è già allineato con gli obiettivi UE sui cambiamenti climatici al 2020 e al 2030. Rispetto al 1990, ha ridotto i **gas serra** del 54% e l'**efficienza energetica** è migliorata del 49% rispetto al 2000. Le **emissioni** in atmosfera e gli effluenti negli scarichi idrici si sono drasticamente ridotti del 97% e del 77%.



La quantità di **rifiuti** generati a parità di produzione è diminuita del 7,7% rispetto al 2017 e il riciclo è tra le prime modalità di smaltimento, con una quota del 26,8% (in netto aumento), mentre solo il 4,8% dei rifiuti è conferito in discarica.

Secondo il Rapporto, l'industria chimica si conferma un comparto virtuoso anche nella **sicurezza** e nella **salute** dei dipendenti, con un ridotto numero di infortuni e malattie professionali: rispetto alle ore lavorate, sono diminuiti al ritmo medio annuo, rispettivamente, del 3,7% e del 5,4% a partire dal 2010. L'industria chimica, nel triennio 2017-2019, si conferma tra i settori manifatturieri con un minore indice di **frequenza degli infortuni**, pari a 9,2 per milione di ore lavorate (6,3 nelle imprese aderenti a Responsible Care) contro una media del settore manifatturiero del 14,1.



“Il nostro impegno, comunque, non si ferma - ha spiegato il Presidente di Federchimica (nella foto) -: l’industria chimica continua, oggi e in futuro, a **investire in sostenibilità** per confermarsi infrastruttura tecnologica a favore delle filiere a valle, senza penalizzare, anzi aumentando, la produttività”.

Nel **lockdown** di primavera, l’industria chimica **non ha fermato la produzione** “a riprova – ha sottolineato Lamberti – di quanto i nostri prodotti siano essenziali e, in moltissimi casi, decisivi per affrontare la pandemia: forse, per la prima volta da molto tempo, tutti abbiamo compreso **l’indispensabilità** della **chimica** per la **salute** anzitutto, ma anche per il **benessere** e la **qualità** della nostra vita”. “Questa nuova consapevolezza deve essere valorizzata con una politica industriale strutturata sul medio/lungo periodo, basata su ricerca, sviluppo e innovazione, che tuteli la competitività delle nostre imprese e di tutti i – tantissimi – settori manifatturieri che basano la proprie performance di prodotto sulla qualità innovativa della Chimica”.



## Chimica e Poesia

### La poesia non è il linguaggio per ciò che non può essere detto diversamente.

Poesia dal lat. *poësis*, come suggerisce la sua etimologia risalente al gr. *poiēsis*, der. di *poiēō*, ha il significato originario di 'faccio, produco'. Come tale la poesia è una attività produttiva in relazione diretta con la tecnica dal gr. τέχνη [*téchne*], "arte" (nel senso di "perizia", "saper fare", "saper operare").

Luciano (II sec. d.C.) propone delle descrizioni di opere d'arte tra cui la *Calunnia* tavola allegorica dipinta da Apelle (IV secolo a.C.) dando vita ad un procedimento retorico 'ecfrastico' mediante il quale lo scrittore si misurava nella descrizione di un'opera fino a renderla quasi "visibile a parole". Luciano, nella sua *Calunnia*, si poneva nell'ambito del dibattito sul primato tra parola e immagine, tra poesia e pittura.

Nel pensiero greco, l'abilità, la perizia professionale, la padronanza delle regole di un mestiere, poichè distinte sia dalla pura esperienza pratica che dal *sapere certo*, opposto all'opinione del singolo, sia dalla conoscenza scientifica delle cause che giustificano le regole di un'arte.

La restituzione delle immagini in forma di parole può aiutare ad apprezzare

La poesia condivide l'intelligenza originaria dei saperi scientifici e, come la scienza non tratta solo conoscenze consolidate, al contrario inventa nuovi modelli con cui reinterpretare e godere il mondo, per questo motivo i linguaggi scientifici sono linguaggi poetici. La poesia non è unicamente sentimento e immagini, ma manifesta l'etereogenità delle possibilità del linguaggio fornendo modelli nuovi e originali, strumenti di espressione e modalità, descrizione e visione.

Il poeta crea, arricchisce, manipola il linguaggio utilizzando i **materiali propri della sua tecnica** per costruire oggetti.

**Pasquale Fetto**

## **Roald Hoffmann**

### IL METODO SCIENTIFICO

Le buone teorie  
Sono quelle capaci  
Di essere contraddette, Karl  
Popper sostiene. Come  
Quando io ritorno  
Dopo una settimana,  
Alla stessa ora, mi siedo  
Con il mio caffè  
Proprio esattamente  
Lì  
Dove avevo guardato  
E ti avevo  
Vista,  
Che guardavi verso di me,  
E ti troverò,  
Di nuovo,  
Lì  
E questa volta  
Avrò il coraggio  
Di sorriderti.

## Primo Levi

### Fuga

Roccia e sabbia e non acqua  
Sabbia trapunta dai suoi passi  
Senza numero fino all'orizzonte:  
Era in fuga, e nessuno lo inseguiva.  
Ghiaione trito e spento  
Pietra rosa dal vento  
Scissa dal gelo alterno,  
Vento asciutto e non acqua.  
Acqua niente per lui  
Che solo d'acqua aveva bisogno,  
Acqua per cancellare  
Acqua feroce sogno  
Acqua impossibile per rifarsi mondo.  
Sole plumbeo senza raggi  
Cielo e dune e non acqua  
Acqua ironica finta dai miraggi  
Acqua preziosa drenata in sudore  
E in alto l'inaccessa acqua dei cirri.  
Trovò il pozzo e discese,  
Tuffò le mani e l'acqua si fece rossa.  
Nessuno poté berne mai più.

### Le stelle nere

Nessuno canti più d'amore o di guerra.  
L'ordine donde il cosmo traeva nome è sciolto;  
Le legioni celesti sono un groviglio di mostri;  
L'universo ci assedia cieco, violento e strano.  
Il sereno è cosperso d'orribili soli morti,  
Sedimenti densissimi d'atomi stritolati.  
Da loro non emana che disperata gravezza,  
Non energia, non messaggi, non particelle, non luce;  
La luce stessa ricade, rotta dal proprio peso,  
E tutti noi seme umano viviamo e moriamo per nulla,  
E i cieli si convolgono perpetuamente invano.



AREE SCIENTIFICO–DISCIPLINARI

AREA 01 – Scienze matematiche e informatiche

AREA 02 – Scienze fisiche

AREA 03 – **Scienze chimiche**

AREA 04 – Scienze della terra

AREA 05 – Scienze biologiche

AREA 06 – Scienze mediche

AREA 07 – Scienze agrarie e veterinarie

AREA 08 – Ingegneria civile e architettura

AREA 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione

AREA 10 – Scienze dell'antichità, filologico–letterarie e storico–artistiche

AREA 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

AREA 12 – Scienze giuridiche

AREA 13 – Scienze economiche e statistiche

AREA 14 – Scienze politiche e sociali

AREA 15 – Scienze teologico–religiose

*Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su*

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)

Finito di stampare nel mese di gennaio del 2021  
dalla tipografia «The Factory S.r.l.»  
00156 Roma – via Tiburtina, 912  
per conto della «Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)