



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^{esimo} 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:

ΔS_{totale} , (cioè ΔS del sistema + ΔS dell'ambiente) > 0 , tenendo presente che **sotto il "travestimento" di una ΔH di una trasformazione fisica o chimica "si nasconde" una ΔS 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

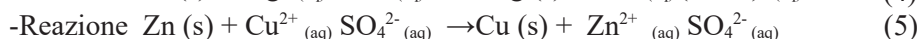
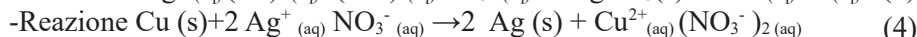
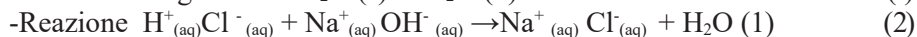
Come detto sopra, nei corsi di chimica di base, per introdurre sperimentale l'argomento relativo agli effetti energetici delle trasformazioni fisiche e chimiche, hanno particolare rilievo alcuni semplici esperimenti relativi alla misura di ΔH .

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 ΔH 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	ΔH teorica (kJ)*	ΔH sperimentale (kJ)**	$\Delta S_{\text{ambiente}} =$ $= -\Delta H_{\text{sp.}} / 298 \text{ K}$ (J K ⁻¹)
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 ΔH 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 $\Delta S_{\text{del sistema}} < 0$, 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 ΔH 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 ΔS 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 libro¹ 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”². 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'energia³, l'autore sostiene che l'intero fabbisogno energetico per la decarbonizzazione debba avere al centro l'idrogeno attraverso l'impiego diffuso di celle a combustibile⁴.

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.

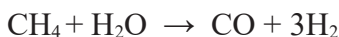
4. Dal libro già citato: “Idrogeno come risorsa collettiva, pp. 266-271.

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-Germania⁵ 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 (CH₄) 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 nota⁶.

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 vantaggioso⁷, 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 H₂ 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'H₂, 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 benzina⁸.

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 O₂ e H₂ 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 H₂ nella lega metallica

Processo endo/esotermico

Pressione: fino a 100 bar

Temperatura: da ambiente a 500°C

H₂: 2-7% in peso (0.6-2.3 kWh/kg)

Pro: sicuro, alta densità energia

Contro: peso, costo, ciclo di vita

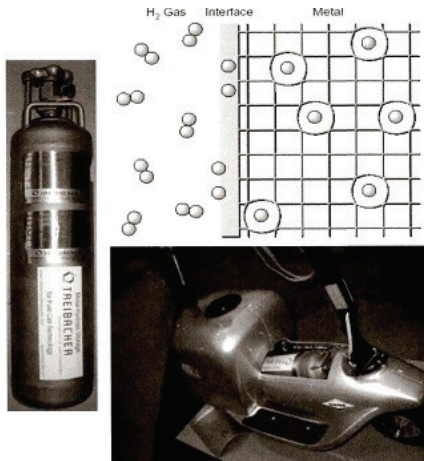


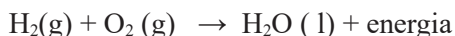
Figura 1. Tratta da M. Santarelli- Idrogeno e celle a combustibile, Dip. Energia - Politecnico di Torino

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,