

Utilizzo di Analogie nell’Insegnamento del Concetto di Equilibrio

***Riccardo Pettinari, Claudio Pettinari, Augusto Cingolani,
Corrado Di Nicola, Fabio Marchetti.**

*Università degli Studi di Camerino, Dipartimento di Scienze Chimiche,
Via S. Agostino n 1, 62032 Camerino (MC)
E-mail:riccardo.pettinari@unicam.it*

Riassunto

Il ricorso alle analogie viene spesso utilizzato nelle materie scientifiche. Sia gli scienziati che i docenti si avvalgono di questa tecnica che, se impiegata in modo corretto, facilita la comprensione dei concetti teorici. L'equilibrio chimico ha un alto contenuto formale e da recenti studi è risultato essere uno degli argomenti più difficili da apprendere, ed uno dei più difficili da insegnare. La piena comprensione dell'equilibrio facilita sicuramente l'apprendimento di temi come il comportamento degli acidi e delle basi, le reazioni di ossido riduzione e la solubilità. In questo articolo viene proposta una sequenza didattica costruita su un gioco che ha come obiettivo quello di aiutare gli allievi a familiarizzare con il concetto di equilibrio dinamico, eliminare alcune frequenti misconcezioni, stimolare l'interesse verso la chimica e sviluppare la creatività nell'affrontare i problemi scientifici.

Abstract

Analogies are widely used in science; they have been used by both scientists and teachers to help them in understanding theoretical concepts. The equilibrium concept is highly formal and recent studies demonstrate it rated as the most difficult one for students and one of the more difficult topics to teach. The full comprehension of equilibrium concepts facilitates the students in understanding topics like the acids and bases behaviour, redox reactions and solubility. In this article a didactic sequence, using games and analogies, has been proposed in order to help students to familiarize with dynamic equilibrium concept, to remove some frequent misconceptions, and to stimulate interest towards chemistry and creativity in facing scientific problems.

Introduzione

L'equilibrio chimico e gli argomenti ad esso correlati sono concetti di fondamentale importanza in chimica. Per introdurre il concetto di equilibrio vengono spesso utilizzate analogie che impiegano esperienze fisiche, diagrammi, simulazione di esperimenti oppure attività di elaborazione al computer.[1] Alcune ricerche hanno anche evidenziato che il ricorso alle analogie risulta più efficace nei confronti degli studenti con una bassa capacità di ragionamento formale rispetto a studenti più dotati. Wilson[2] ed altri autori[3] hanno utilizzato alcune analogie per aiutare gli studenti ad esplorare il concetto di equilibrio chimico ed è risultato evidente che le difficoltà degli allievi, nella piena comprensione di questo argomento, sono spesso le stesse che avevano gli scienziati del XIX secolo[4] [5] e possono così essere riassunte:

- difficoltà nel distinguere reazioni che procedono fino a completezza (totale scomparsa dei reagenti) e reazioni reversibili,
- difficoltà nel comprendere la differenza tra equilibrio dinamico ed equilibrio statico,
- difficoltà nel comprendere la differenza tra la velocità con cui si raggiunge l'equilibrio (la velocità con cui avviene una reazione, concetto legato alla cinetica chimica) e il grado di avanzamento della reazione all'equilibrio (quanto una reazione è spostata verso la formazione dei prodotti o dei reagenti, concetto legato alla costante di equilibrio termodinamica).

Alcune tipiche concezioni difforme, molto diffuse tra gli allievi, sono:

- concepire l'equilibrio chimico come un qualcosa che oscilla da una posizione ad un'altra,
- considerare che la massa delle sostanze e la concentrazione delle sostanze abbiano lo stesso ruolo in un sistema chimico all'equilibrio,
- considerare che all'equilibrio di un sistema chimico le concentrazioni dei reagenti e dei prodotti abbiano lo stesso valore.

La proposta didattica che presentiamo costituisce un ampliamento di quella riportata da Wilson ed altri² e le attività sviluppate ed approfondite in questo articolo richiedono un coinvolgimento attivo degli allievi attraverso un gioco che li aiuti a prendere confidenza con il concetto di equilibrio dinamico. Possono essere utilizzate carte da ramino (ne sono richieste almeno 96) oppure altri piccoli oggetti come monete, pezzetti di pasta, spille, chiodi, ecc.

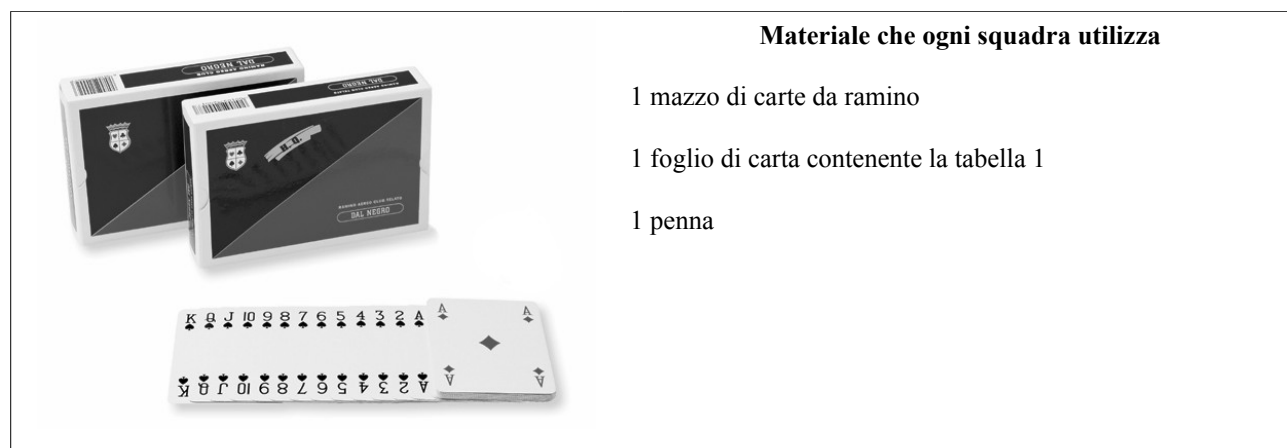


Figura 1

Gli studenti vengono divisi in piccoli gruppi di 4 o 6 persone ed ogni gruppo viene ulteriormente suddiviso in una squadra dei reagenti (R) e una squadra dei prodotti (P). Ogni squadra ha a disposizione una matita, un foglio di carta e la tabella 1 fornita dall'insegnante.

Tabella 1

Round Trasferimenti	Numero carte Squadra R	Numero carte Squadra P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round				
1° trasferimento				
2° Round				
2° trasferimento				
3° Round				
3° trasferimento				
4° Round				
4° trasferimento				
5° Round				
5° trasferimento				
6°Round				
6° trasferimento				
7°Round				
7° trasferimento				
8° Round				
8° trasferimento				
9°Round				
9° Trasferimento				
10°Round				
10° Trasferimento				
11° Round				
11° trasferimento				
12° Round				
12° trasferimento				

Al gioco sono correlate attività di raccolta ed elaborazione dei dati sperimentali ottenuti e la scelta delle rappresentazioni grafiche più idonee per mostrare l'andamento di tali dati. Gli aspetti che potranno emergere dalle attività sono i seguenti:

- all'equilibrio la concentrazione dei reagenti e dei prodotti rimane costante,
- all'equilibrio la velocità della reazione diretta è uguale alla velocità della reazione inversa,
- l'equilibrio può essere ottenuto partendo da differenti situazioni iniziali,
- il valore della costante di equilibrio cambia al variare della temperatura,

- quando si conosce il valore della costante di equilibrio è possibile prevedere, in base alle condizioni iniziali del sistema (il quoziente di reazione Q), come si comporterà il sistema per raggiungere una situazione di equilibrio,
- un sistema all'equilibrio reagisce ad una perturbazione apportata dall'esterno (l'aggiunta o la sottrazione di un reagente o un prodotto provoca una variazione di Q),
- il ruolo e l'effetto del catalizzatore.

Il gioco è simile ad una partita di carte con regole iniziali fornite dall'insegnante che possono ad esempio essere le seguenti: *la squadra R dovrà sempre cedere 1/4 delle proprie carte alla squadra P (questa operazione può essere schematizzata con Reagenti → Prodotti), mentre la squadra P dovrà cedere 1/8 delle proprie carte alla squadra R (Prodotti → Reagenti).*

Prima di ciascun round gli alunni di ciascuna squadra dovranno riportare il numero di carte possedute nella riga contrassegnata con "round" e nella colonna "numero carte squadra".

Alla fine di ogni round gli alunni dovranno:

1. riportare il numero delle carte iniziali meno il numero delle carte cedute più il numero di carte acquisite dopo il round nella riga contrassegnata con "trasferimento" e nella colonna "numero di carte possedute"
2. riportare il numero di carte trasferite durante il round nella riga contrassegnata con "trasferimento" e nella colonna "numero di carte trasferite"

E' bene ricordare che, quando ciascuna squadra deve calcolare il numero di carte che debbono essere trasferite, si possono ottenere numeri non interi. In questi casi i numeri ottenuti si approssimano sempre per eccesso, ad esempio 7.3 diventerà 8.

Attività 1: l'equilibrio dinamico

In questa attività si vuole evidenziare la natura dinamica dell'equilibrio. L'insegnante consegna 96 carte tutte alla squadra R mentre inizialmente la squadra P non riceve nessuna carta. L'insegnante stabilisce che, in ciascun round, la squadra R deve consegnare 1/4 delle proprie carte alla squadra P (Reagenti $\rightarrow$ 1/4 $\rightarrow$ Prodotti), mentre la squadra P deve trasferire 1/8 delle proprie carte alla squadra R (Prodotti $\rightarrow$ 1/8 $\rightarrow$ Reagenti). Nel primo round, date le condizioni iniziali, la squadra P non può trasferire nulla e può quindi soltanto ricevere carte dalla squadra R. Ogni squadra dovrà quindi calcolare il numero di carte da cedere all'altra ed annotare queste variazioni nella tabella 2. Dopo alcuni round si verificherà una situazione di equilibrio dinamico in cui il numero di carte possedute da ciascuna squadra non varia più. L'insegnante non deve comunicare agli studenti tale previsione, e lasciare ad essi la possibilità di accorgersi che, dopo alcuni round, si è instaurata una situazione di equilibrio dinamico. Quando una squadra si renderà conto che è stata raggiunta una situazione di equilibrio, dovrà fermarsi ed effettuare il seguente calcolo: il numero di carte possedute dalla squadra P deve essere diviso per il numero delle carte possedute dalla squadra R. In figura 1 sono riportati i dati ottenuti in questa prima attività, per la quale, date le regole iniziali, la situazione di equilibrio si raggiunge all'undicesimo round, quando il numero delle carte possedute da ciascuna squadra rimane invariato, pur continuando ad effettuare successivi round (R avrà sempre 32 carte e P 64 carte).

Gli studenti con tale attività concretizzeranno il significato del concetto di equilibrio dinamico ed in particolare dovranno essere evidenziati i seguenti aspetti:

1. all'equilibrio le carte vengono continuamente scambiate tra una squadra e l'altra, tuttavia il numero totale di carte che ogni squadra possiede rimane costante (32 e 64),
2. la situazione di equilibrio dinamico non implica che il numero di carte della squadra R sia uguale al numero di carte della squadra P,
3. all'equilibrio il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}} = \frac{64}{32} = 2$$

I risultati ottenuti possono essere diagrammati in differenti modi per evidenziare importanti aspetti dell'equilibrio. Nel grafico in figura 2 in ordinata viene riportato il numero di carte possedute da ciascuna squadra prima di ogni round (dati riportati nelle righe contrassegnate come "round" nella tabella 2) mentre in ascissa vengono riportati i round. Nel grafico in figura 3 viene riportato invece il numero di carte mosse da ciascuna squadra (dati riportati nelle righe contrassegnate come "trasferimento" in tabella di tabella 2) e in ascissa i trasferimenti.

Tabella 2

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	96	0		
1° trasferimento	(96-24)	(0+24)	24	0
2° Round	72	24		
2° trasferimento	(72-18+3)	(24-3+18)	18	3
3° Round	57	39		
3° trasferimento	(57-15+5)	(39-5+15)	14.2 → 15	4.8 → 5
4° Round	47	49		
4° trasferimento	(47-12+7)	(49-7+12)	11.7 → 12	6.1 → 7
5 Round	42	54		
5° trasferimento	(42-11+7)	(54-7+11)	10.5 → 11	6.7 → 7
6°Round	38	58		
6° Trasferimento	(38-10+8)	(58-8+10)	9.5 → 10	7.2 → 8
7°Round	36	60		
7° Trasferimento	(36-9+8)	(60-8+9)	9	7.5 → 8
8°Round	35	61		
8° Trasferimento	(35-9+8)	(61-8+9)	8.7 → 9	7.6 → 8
9°Round	34	62		
9° Trasferimento	(34-9+8)	(62-8+9)	8.5 → 9	7.7 → 8
10°Round	33	63		
10° Trasferimento	(33-9+8)	(63-8+9)	8.2 → 9	7.8 → 8
11°Round	32	64		
11° Trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8
12°Round	32	64		
12° Trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8

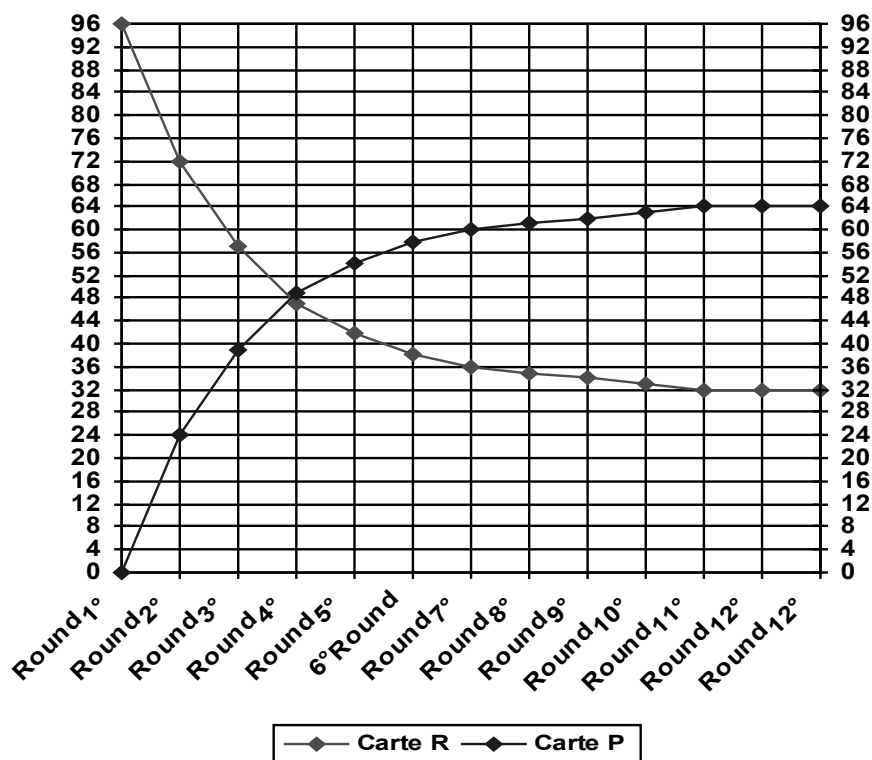


Figura 2

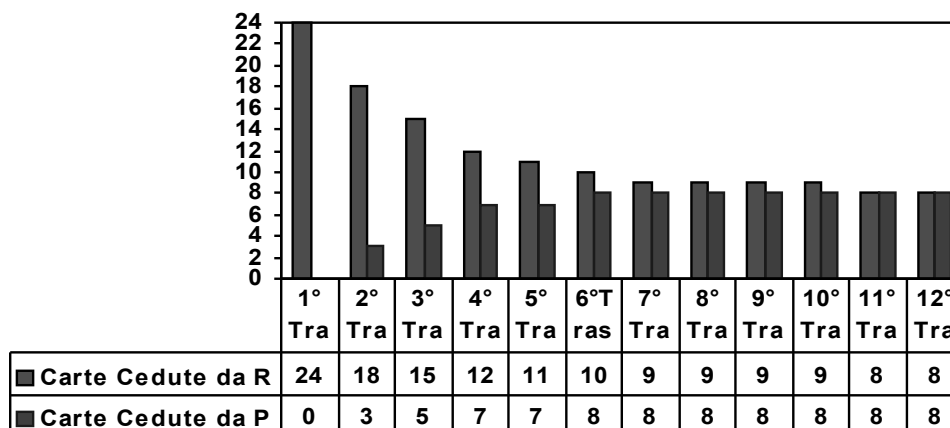


Figura 3

Attività 2: dai reagenti ai prodotti e viceversa

In questa attività si vuole mettere in evidenza che una stessa situazione di equilibrio può essere raggiunta da condizioni iniziali differenti. L'insegnante fornisce tutte le 96 carte alla squadra P e nessuna alla squadra R (situazione diametralmente opposta a quella nell'attività 1). L'insegnante deve mettere bene in evidenza che il numero iniziale di carte è lo stesso ma sono tutte possedute dalla squadra P, e che le regole di trasferimento sono rimaste le stesse dell'attività 1 (in ciascun round, R consegna 1/4 delle proprie carte a P, mentre P consegna 1/8 delle proprie carte a R). In questo caso (Tabella 3) si raggiunge una situazione di equilibrio dinamico al nono Round e il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}} = \frac{64}{32} = 2$$

è lo stesso di quello ottenuto nell'attività 1. Attraverso questa seconda attività gli studenti si renderanno conto, pur partendo da una situazione iniziale opposta alla precedente, che il numero di carte che ogni gruppo arriverà a possedere sarà uguale al numero posseduto al termine dell'attività 1 e che anche il rapporto tra

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

rimarrà invariato. Anche alla fine di questa attività gli studenti dovranno costruire due grafici analoghi a quelli riportati nelle figure 2 e 3 (figure 4 e 5).

Tabella 3

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	0	96		
1° trasferimento	(0+12)	(96-12)	0	12
2° Round	12	84		
2° trasferimento	(12-3+11)	(84-11+3)	3	10.5 → 11
3° Round	20	76		
3° trasferimento	(20-5+10)	(76-10+5)	5	9.5 → 10
4° Round	25	71		
4° trasferimento	(25-7+9)	(71-9+7)	6.2 → 7	8.8 → 9
5° Round	27	69		
5° trasferimento	(27-7+9)	(69-9+7)	6.7 → 7	8.6 → 9
6° Round	29	67		
6° trasferimento	(29-8+9)	(67-9+8)	7.2 → 8	8.3 → 9
7° Round	30	66		
7° trasferimento	(30-8+9)	(66-9+8)	7.5 → 8	8.2 → 9
8° Round	31	65		
8° trasferimento	(31-8+9)	(65-9+8)	7.7 → 8	8.1 → 9
9° Round	32	64		
9° trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8
10° Round	32	64		
10° trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8
11° Round	32	64		
11° Trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8

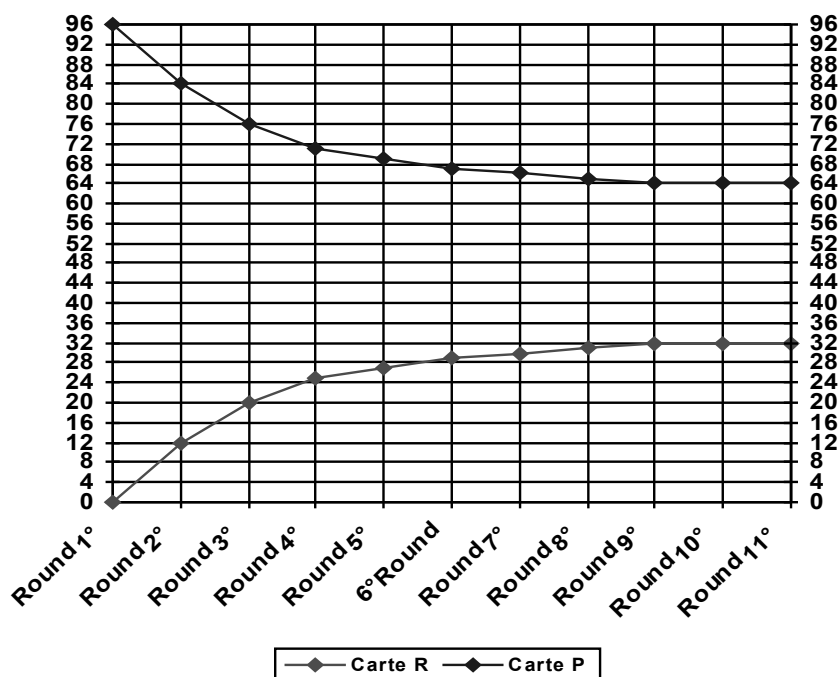


Figura 4

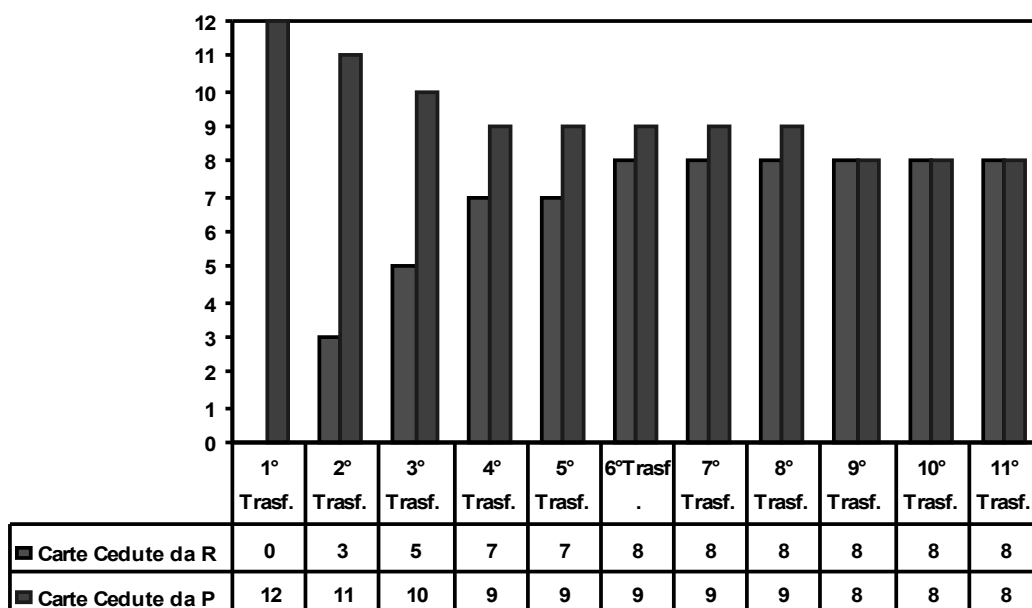


Figura 5

Attività 3: la costante di equilibrio

L'attività consentirà di definire il significato di "costante di equilibrio". La squadra R possiede inizialmente 104 carte e la squadra P 40 carte. Il numero delle carte iniziali è quindi cambiato rispetto alle prime due attività, ma le regole di trasferimento rimangono invariate ($R \rightarrow P \frac{1}{4}$, $P \rightarrow R \frac{1}{8}$). In tabella 4 sono riportati i risultati ottenuti: all'equilibrio il numero delle carte trasferite in ciascun round diventa uguale per le due squadre, anche se maggiore (12 carte) rispetto alle prime due attività (8 carte). Il numero finale delle carte possedute da R è 48 mentre quelle possedute da P è 96. Anche se questi numeri sono diversi da quelli ottenuti nelle prime due attività, calcolando il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

otteniamo ancora $96/48=2$, siamo quindi in presenza di una COSTANTE che chiameremo costante di equilibrio, K_{eq} .

La costante di equilibrio non dipende quindi dal numero delle carte disponibili all'inizio del gioco ma dipende soltanto dalla percentuale di carte che ciascuna squadra deve scambiare in ogni round (negli esempi suddetti, 1/4 di carte da R a P e 1/8 di carte da P a R).

Tabella 4

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	104	40		
1° trasferimento	(104-26+5)	(40+26-5)	26	5
2° Round	83	61		
2° trasferimento	(83-21+8)	(61-8+21)	20.7 → 21	7.6 → 8
3° Round	70	74		
3° trasferimento	(70-18+10)	(74-10+18)	17.5 → 18	9.2 → 10
4° Round	62	82		
4° trasferimento	(62-16+11)	(82-11+16)	15.5 → 16	10.2 → 11
5° Round	57	87		
5° trasferimento	(57-15+11)	(87-11+15)	14.2 → 15	10.8 → 11
6° Round	53	91		
6° Trasferimento	(53-14+12)	(91-12+14)	13.2 → 14	11.3 → 12
7° Round	51	93		
7° Trasferimento	(51-13+12)	(93-12+13)	12.7 → 13	11.6 → 12
8° Round	50	94		
8° Trasferimento	(50-13+12)	(94-12+13)	12.5 → 13	11.7 → 12
9° Round	49	95		
9° Trasferimento	(49-13+12)	(95-12+13)	12.2 → 13	11.8 → 12
10° Round	48	96		
10° Trasferimento	(48-12+12)	(96-12+12)	12	12
11° Round	48	96		
11° Trasferimento	(48-12+12)	(96-12+12)	12	12
12° Round	48	96		
12° Trasferimento	(48-12+12)	(96-12+12)	12	12

Anche in questo caso gli studenti possono diagrammare i risultati della tabella 4 ed ottenere i grafici in figura 6 e figura 7.

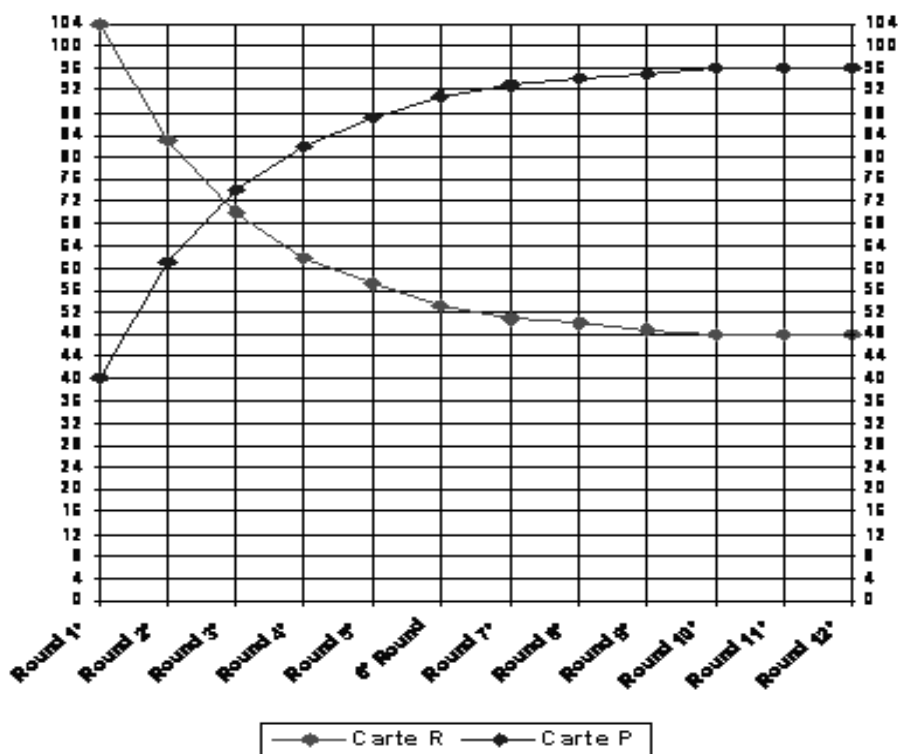


Figura 6

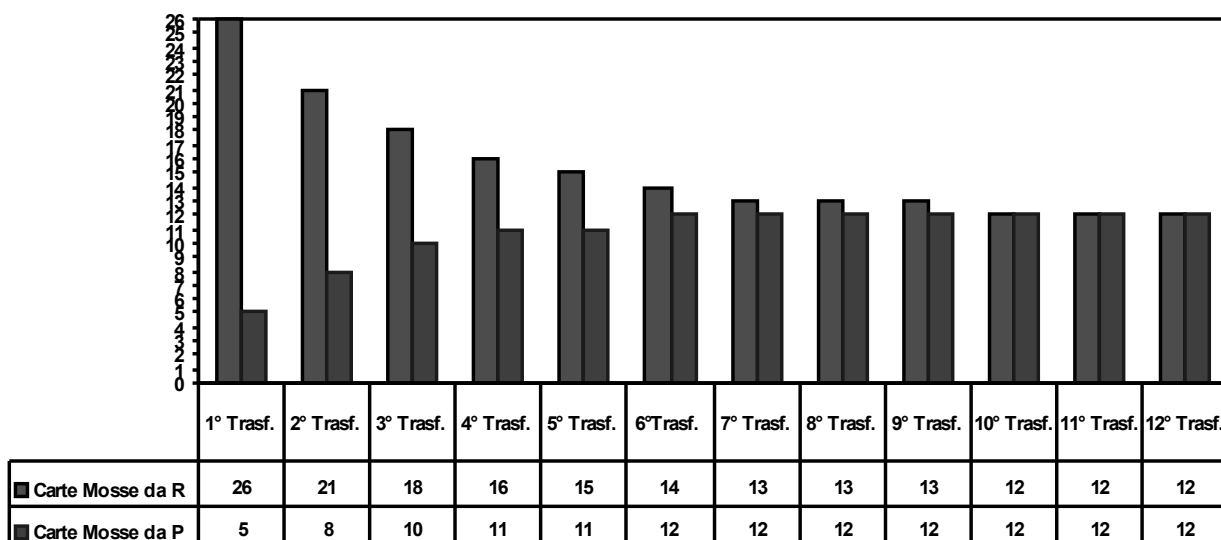


Figura 7

A questo punto l'insegnante deve chiedere agli studenti di riflettere su quanto fatto finora, in particolare su tre aspetti principali:

- 1) indipendentemente dal numero di carte possedute all'inizio da ciascuna squadra, dopo un certo numero di round si raggiunge una situazione di equilibrio, in cui il numero di carte possedute non varierà più.
- 2) l'evidenza (1) dipende dall'eguaglianza, nella situazione di equilibrio, del numero di carte scambiate vicendevolmente (l'equilibrio è dinamico).
- 3) a parità di regole di scambio iniziali, si ottiene sempre lo stesso rapporto finale

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

Queste attività costituiscono una potente analogia del comportamento dei sistemi fisici e chimici che pervengono spontaneamente ad una situazione di equilibrio dinamico. In particolare, debbono essere ben chiare (soprattutto al docente) le seguenti analogie:

- 1) il numero di carte possedute da ciascuna squadra può essere assimilato alla concentrazione di una sostanza (sia esso reagente o prodotto di una trasformazione chimica).
- 2) la regola di trasferimento di carte da R a P costituisce la costante cinetica della reazione diretta, k_d , mentre la regola di trasferimento di carte da P a R rappresenta la costante cinetica della reazione inversa, k_i . Tali regole vengono imposte inizialmente dal docente e l'analogia è con la temperatura del sistema chimico: modificare le regole iniziali di trasferimento equivale a modificare la temperatura del sistema (vedi in seguito l'attività 5).
- 3) il numero di carte trasferito in ciascun round da ciascuna squadra non è altro che la velocità istantanea di reazione (es. $v_d = k_d \times c_R$, dove c_R è la concentrazione istantanea di R), e si può ottenere anche dai seguenti prodotti:
- 4) $n. \text{ Carte Squadra R} \times 1/4 = n. \text{ carte trasferite da R a P}$
 $n. \text{ Carte Squadra R} \times 1/8 = n. \text{ carte trasferite da P a R}$
- 5) all'equilibrio le velocità di trasferimento da R a P e da P ad R diventano uguali, cioè le velocità istantanee delle reazioni diretta ed inversa si eguagliano.
- 6) il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

all'equilibrio resta sempre costante, indipendentemente dalle condizioni iniziali (n. carte possedute dalle squadre) e assume sempre lo stesso valore, a parità di regole di trasferimento iniziali (cioè a parità di temperatura).

7) il valore del rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

cioè della costante di equilibrio K_{eq} , determina i numeri relativi di carte che rimangono a ciascuna squadra all'equilibrio: per valori > 1 la squadra P avrà più carte della squadra R, mentre per valori < 1 avremo la situazione opposta.

Attività 4: il quoziente di reazione Q

Con questa attività viene definito il “quoziente di reazione Q”. Si pone agli studenti il seguente quesito: date le stesse regole di trasferimento iniziali (1/4 da R a P e 1/8 da P a R) se in un dato momento la squadra R possiede 72 carte e la squadra P 24 carte, ci troviamo o no in una situazione di equilibrio? Cosa succede al nostro sistema? Possiamo prevedere il comportamento del nostro sistema? La costante di equilibrio K_{eq} , ad una data temperatura ha un valore numerico ben preciso (nel nostro caso 2). Utilizzando questo valore è possibile prevedere se ci troviamo o meno in una situazione di equilibrio quando il nostro sistema ha un determinato numero di carte. Per rispondere a queste domande gli studenti debbono calcolare il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

che verrà chiamato quoziente di reazione, Q. Il quoziente di reazione ha la stessa espressione della K_{eq} ma nel suo calcolo si utilizza il numero di carte possedute nel momento in esame. Nel nostro caso il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}} = \frac{72}{24} = 3$$

Come possiamo vedere, Q è maggiore di K_{eq} e quindi il sistema non si trova all'equilibrio, e tenderà a raggiungere l'equilibrio (a diventare = 2) diminuendo il numero di carte di P e aumentando quello di R.

La conoscenza del quoziente di reazione è utile per due motivi:

- 1) permette di valutare se un sistema si trova in una situazione di equilibrio ($K_{eq} = Q$) oppure no ($K_{eq} \neq Q$).
- 2) consente di prevedere, dal confronto tra Q e K_{eq} , in quale direzione evolverà il sistema per raggiungere l'equilibrio.

Attività 5: effetto della temperatura sul valore della costante

Per comprendere in maniera significativa questa attività sono necessari i seguenti prerequisiti: conoscere la differenza tra reazioni esotermiche e reazioni endotermiche e possedere alcuni concetti fondamentali come il calore e la temperatura.

In questa attività R possiede 96 carte e trasferirà 3/4 delle proprie carte a P (Reagenti $\rightarrow$ 3/4 $\rightarrow$ Prodotti), mentre P inizialmente non ha nessuna carta, e dovrà trasferire 1/4 delle proprie carte ad R (Prodotti $\rightarrow$ 1/4 $\rightarrow$ Reagenti). Anche in questa nova situazione dopo alcuni round si raggiungerà una situazione di equilibrio dinamico (tabella 5). Calcolando il rapporto finale

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

si ottiene $72/24 = 3 = K_{eq}$. Il valore della K_{eq} con queste nuove regole di trasferimento risulta maggiore del valore della K_{eq} ottenuta nelle attività precedenti. E' chiaro che per ottenere questo nuovo valore deve essere aumentato il numero di carte di P (numeratore) rispetto alle carte di R (denominatore).

A questo punto l'insegnante deve chiedere agli studenti di riflettere su quanto fatto finora, ed aiutare loro ad identificare eventuali analogie con sistemi reali all'equilibrio ai quali viene fornita o sottratta una certa quantità di calore (attraverso un aumento o una diminuzione di temperatura). Nei sistemi reali la temperatura influisce sul valore della costante di equilibrio; ipotizziamo che, ad esempio, la reazione diretta $R \rightarrow P$ sia endotermica:



essa sarà quindi favorita da un aumento di temperatura, che produrrà un incremento della costante di velocità per la reazione diretta. Nel nostro gioco la costante di velocità è rappresentata dalla regola di trasferimento delle carte, quindi un aumento del suo valore (es. da 1/4 a 3/4) è analogo ad un aumento della costante di velocità della reazione diretta (si ricorda che un aumento della temperatura incrementa, pur se in misura minore, anche la reazione inversa $P \rightarrow R$).

Utilizzo di analogie nell'insegnamento del concetto di equilibrio

Possiamo perciò mettere in relazione l'incremento da 1/4 a 3/4 della velocità di trasferimento $R \rightarrow P$ con un aumento della temperatura. L'aumento della temperatura ha quindi spinto il sistema verso un nuovo stato di equilibrio, corrispondente alla formazione di una maggiore quantità di prodotti. Il valore della costante di equilibrio è maggiore a questa nuova temperatura (più elevata rispetto alla "temperatura" riferibile alle precedenti attività) come, analogamente, aumenta nei sistemi reali quando la reazione diretta è endotermica.

Alla fine dell'attività gli studenti dovrebbero avere appreso che:

- 1) un aumento di temperatura favorisce la reazione *endotermica*, mentre una diminuzione favorisce quella *esotermica*.
- 2) di conseguenza, il nuovo equilibrio sarà caratterizzato da un differente valore della costante di equilibrio K_{eq} .
- 3) un aumento di temperatura aumenta la costante di velocità della reazione diretta e di quella inversa, ma in misura maggiore nel caso della reazione endotermica.

Tabella 5

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	96	0	72	0
1° trasferimento	(96-72)	(0+72)		
2° Round	24	72	18	18
2° trasferimento	(24-18+18)	(72-18+18)		
3° Round	24	72	18	18
3° trasferimento	(24-18+18)	(72-18+18)		

Attività 6: effetto dell'aggiunta di un prodotto

Con questa ulteriore attività gli studenti verificano come un sistema inizialmente all'equilibrio reagisce ad una perturbazione apportata dall'esterno come l'aggiunta (o la rimozione) di un reagente o di un prodotto.

La situazione iniziale corrisponde all'equilibrio raggiunto nell'attività 1. L'insegnante perturba questa situazione di equilibrio fornendo alla squadra P ulteriori 32 carte. Il gioco deve continuare con le stesse regole dettate nell'attività 1. Dopo alcuni round si raggiunge una nuova situazione di equilibrio. Il sistema, perturbato dal cambiamento del numero delle carte, che equivale al cambiamento della concentrazione dei prodotti, si muove verso una nuova situazione di equilibrio in cui le velocità diretta ed inversa sono maggiori rispetto a quelle della prima situazione di equilibrio, ma la costante di equilibrio rimane sempre la stessa. Il numero di carte trasferite dalla squadra P alla squadra R aumenterà fino a raggiungere la nuova condizione di equilibrio, in cui il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

è 44/22, cioè ancora uguale a 2 (stesso valore della K_{eq}) (tabella 6).

Tabella 6

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
equilibrio attività 1	32	64	8	8
Perturbazione		+36		
1°Round	32	100		
1° trasferimento	(32-8+13)	(100-13+8)	8	12.5 → 13
2°Round	37	95		
2° trasferimento	(37-10+12)	(95-12+10)	9.2 → 10	11.8 → 12
3°Round	39	93		
3° trasferimento	(39-10+12)	(93-12+10)	9.7 → 10	11.6 → 12
4°Round	41	91		
4° trasferimento	(41-11+12)	(91-12+11)	10.2 → 11	11.3 → 12
5°Round	42	90		
5° trasferimento	(42-11+12)	(90-12+11)	10.5 → 11	11.2 → 12
6°Round	43	89		
6° trasferimento	(43-11+12)	(89-12+11)	10.7 → 11	11.1 → 12
7°Round	44	88		
7° trasferimento	(44-11+11)	(88-11+11)	11	11
8°Round	44	88		
8° Trasferimento	(44-11+11)	(88-11+11)	11	11

Gli studenti possono affrontare questa nuova situazione anche calcolando il quoziente di reazione Q , introdotto nell'attività 4, con le carte possedute dopo la perturbazione dovuta all'aggiunta di 36 carte alla squadra P. Dai dati a disposizione

$$\left(Q = \frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}} = \frac{100}{32} = 3.1 \right)$$

sarà $Q > K_{eq}$, pertanto Q dovrà diminuire, aumentando il numero di carte di R a scapito di quelle di P. Alla fine dell'attività si potranno ancora una volta costruire un grafico come quello riportato in figura 8.

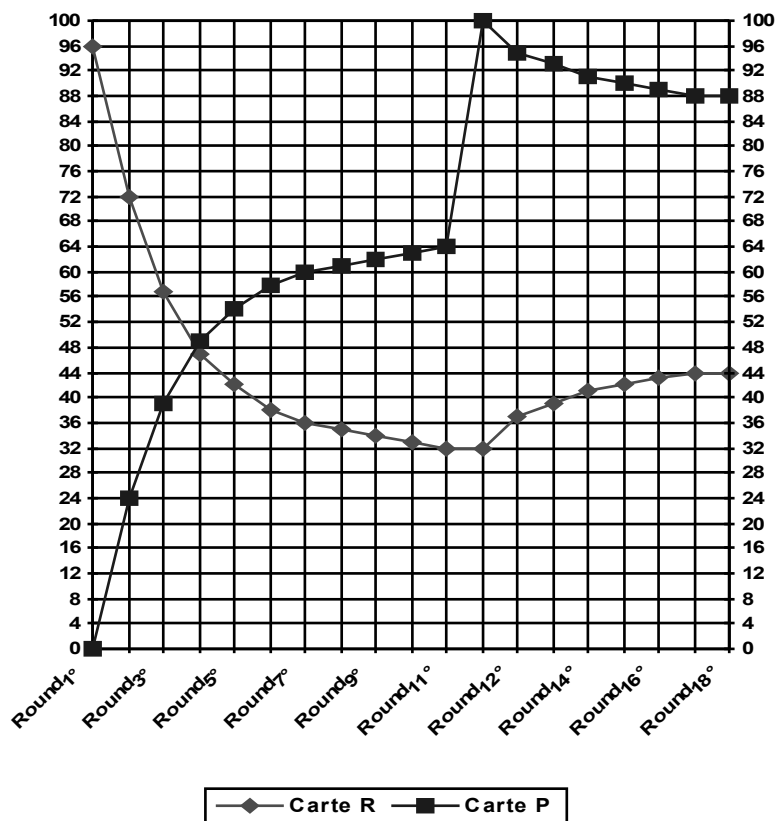


Figura 8

Un importante aspetto da mettere in evidenza è l'incremento del numero di carte trasferite all'equilibrio (11 rispetto alle 8 relative all'iniziale situazione di equilibrio): ciò corrisponde ad un aumento delle carte trasferite in ciascun round (corrispondente alle velocità di reazione diretta ed inversa), dovuto all'aumento del numero di carte di una squadra (cioè un aumento della concentrazione di una delle specie all'equilibrio, che in termini microscopici produce un aumento degli urti efficaci).

Attività 7: la funzione del catalizzatore

Quando abbiamo un sistema che non si trova all'equilibrio, l'aggiunta di un catalizzatore provoca un aumento della velocità sia della reazione diretta che di quella inversa. La situazione di equilibrio viene pertanto raggiunta più velocemente, ma le quantità finali di prodotti e reagenti sono le stesse della situazione di equilibrio raggiunta senza l'utilizzo del catalizzatore. Nella nostra analogia didattica basata sul gioco, l'utilizzo di un catalizzatore può essere messo in relazione con un aumento del numero di carte che la squadra R trasferirà alla squadra P e viceversa. In questa attività R possiede 96 carte e trasferirà $1/2$ delle proprie carte a P (Reagenti $\rightarrow 1/2 \rightarrow$ Prodotti), mentre P, che inizialmente non ha nessuna carta, dovrà trasferire $1/4$ delle proprie carte ad R (Prodotti $\rightarrow 1/4 \rightarrow$ Reagenti). Confrontando i risultati di questa attività (tabella 7) con quelli ottenuti nell'attività 1, i ragazzi prenderanno coscienza che:

Utilizzo di analogie nell'insegnamento del concetto di equilibrio

- 1) l'utilizzo di un catalizzatore permette di raggiungere una situazione di equilibrio dinamico molto più velocemente (5° round contro 11° round), rispetto alla reazione non catalizzata,
- 2) il numero di carte possedute da R e da P nella situazione finale di equilibrio rimane comunque invariato rispetto all'attività 1, e quindi anche il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}} = \frac{64}{32} = 2$$

(la costante di equilibrio K_{eq}) non subisce variazioni,

- 3) il numero di carte che viene trasferito all'equilibrio è però aumentato (da 8 a 16).

Tabella 7

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	96	0		
1° trasferimento	(96-48)	(0+48)	48	0
2° Round	48	48		
2° trasferimento	(48-24+12)	(24-3+18)	24	12
3° Round	36	60		
3° trasferimento	(36-18+15)	(60-15+18)	18	15
4° Round	33	63		
4° trasferimento	(33-17+16)	(63-16+17)	16.5 → 17	15.7 → 16
5° Round	32	64		
5° trasferimento	(32-12+12)	(32-12+12)	16	16
6° Round	32	64		
6° trasferimento	(32-12+12)	(32-12+12)	16	16

Conclusioni

In questo articolo abbiamo proposto alcune attività che possono essere utilizzate come validi supporti didattici nell'insegnamento di concetti di difficile comprensione che riguardano l'equilibrio: essi sono fondamentalmente:

- 1) l'incompletezza delle reazioni chimiche,
- 2) la reversibilità delle reazioni chimiche,
- 3) la natura dinamica dell'equilibrio,
- 4) gli effetti di perturbazioni esterne sullo stato di equilibrio

Oltre agli aspetti riguardanti più propriamente l'equilibrio chimico, con tali attività si introducono anche, in modo significativo e quantitativo, altri aspetti che vengono in genere trattati con la cinetica chimica, ad esempio la velocità di reazione, la costante cinetica di velocità e l'effetto del catalizzatore.

Le attività sono basate su esperienze pratiche che gli allievi sviluppano in classe attraverso un gioco, che non necessita di apparecchiature di laboratorio o reattivi chimici, i quali non sempre sono facilmente reperibili o disponibili negli istituti di istruzione secondaria. Il ruolo dell'insegnante rimane comunque determinante perché ha il difficile compito di mettere in relazione l'analogia del gioco con i concetti chimici relativi a sistemi reali in equilibrio.

Gli autori, da tempo impegnati nell'insegnamento di moduli di didattica nella chimica presso la SSIS Marche, hanno potuto apprezzare un positivo feedback da parte degli specializzandi della classe A060, relativamente alla loro applicazione di tale metodologia didattica nel tirocinio diretto.

Bibliografia

- [1] P. A. Huddle, M. D. White, F. Rodgers, *J. Chem. Ed.* 2000, **77**, 920.
 [2] A. H. Wilson, *J. Chem. Educ.* 1998, **75**, 1176-1177; b) A. H. Wilson, H. J. Audrey, *Chem. Educ.* 2000, **77**, 1410.
 [3] a) T. P. Silverstein, *J. Chem. Educ.* 2000, **77**, 1410; b) J. C. M. Paiva, V. M. S. Gil, A. F. Correia, *J. Chem. Ed.* 2003, **80**, 111.
 [4] a) A. E. Wheeler, H. Kass, *Sci. Educ.* 1978, **62**, 223; b) A. C. Banerjee, *J. Chem. Ed.* 1995, **72**, 879.
 [5] F. Marchetti, R. Pettinari, C. Pettinari, A. Cingolani, C. Di Nicola, *CnS – La Chimica nella Scuola*, 2009, **1**, 18- 29.