

La fiamma: una fucina di idee

Riccardo Carlini^{1,2}, Maria Maddalena Carnasciali^{1,2}

1 Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale – Via Dodecaneso 31 - 16146 Genova
2 INSTM : Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali
carlini@chimica.unige.it

Riassunto

L'acquisizione della conoscenza procede attraverso un passaggio obbligatorio: l'osservazione sperimentale. Questo lavoro si occupa di concetti chimico-fisici relativi alla fiamma tramite lo sviluppo di attività teoriche e pratiche che riguardano l'interazione luce-materia e lo scambio di calore.

Il target era costituito da una classe seconda del Liceo Scientifico Tecnologico: sono stati proposti questionari introduttivi, applicazioni pratiche, discussioni collettive e lavori di gruppo.

Nella valutazione si è tenuto conto dell'abilità di osservazione, della capacità di estrapolazione delle leggi e dell'elaborazione dei risultati.

Abstract

The acquisition of knowledge proceeds through a forced passage: the experimental observation. This work deals with physical-chemical concepts related to the flame through the development of practical and theoretical activities concerning the light-matter interaction and the heat exchanges. The target is constituted by a second class of a Technological Scientific High School: introductory questionnaires, practical applications, open discussions and group projects are proposed.

Power of observation, laws extrapolation ability, experimental results elaboration are evaluated.

Il fuoco è il prodotto di una reazione chimica — detta combustione — che corrisponde all'ossidazione di carbonio o dei suoi composti allo stato gassoso ad opera dell'ossigeno contenuto nell'aria. La fiamma è la particolare porzione di spazio dove questo avviene. Poiché la reazione di ossidazione è fortemente esotermica, nella zona della fiamma viene raggiunta una temperatura molto alta. L'emissione di luce è associata alla ricombinazione di elettroni che si riportano alle condizioni di equilibrio all'interno degli atomi del gas, emettendo luce. In altre parole, parte dell'energia prodotta nella reazione chimica viene restituita, oltre che sotto forma di fotoni della gamma termica (infrarosso), anche sotto forma di fotoni della gamma visibile. Le reazioni della combustione avvengono in una zona ristretta della fiamma, il *fronte*, spesso diversi millesimi di millimetro. La temperatura della fiamma dipende dalla concentrazione locale dei reagenti e dal modo e dal rapporto in cui combustibile e comburente vengono mescolati prima di arrivare alla fiamma. La quantità di calore che viene sviluppato dipende dal combustibile, mentre la temperatura della fiamma dipende dall'equilibrio fra l'energia termica sviluppata dalle reazioni e quella dispersa dal fronte della fiamma nell'ambiente circostante [1, 2].

La fiamma

Nella fiamma ossidante si distinguono due parti essenziali il cono interno e il mantello esterno:

- il **cono interno** è più freddo (~300°C) perché contiene gas non combusto mescolato a circa il 60-70% d'aria.
- il **mantello esterno**: la regione dove la combustione del gas è completa. A circa un terzo dell'altezza della fiamma si raggiunge la temperatura più alta (1800–2000°C). La forma conica è dovuta alla differenza di peso specifico tra aria fredda e aria calda: in assenza di gravità la differenza di peso scompare, l'ascensione dell'aria calda non ha più luogo e la fiamma diventa sferica. [3]



Figura 1: Fiamme in presenza di gravità (a sinistra) e in assenza di gravità (a destra).

La fiamma: una fucina di idee

PERCORSO DIDATTICO

L'intervento didattico [4, 5] è stato svolto in una classe seconda di un liceo scientifico tecnologico con 26 studenti. Dopo discussione preliminare si è appurato che gli studenti fossero in possesso delle conoscenze disciplinari necessarie per il percorso:

- Conservazione dell'energia in sistemi conservativi
- Introduzione alla relazione $Q = m C_s \Delta T$ e definizione del C_s
- Primo principio della termodinamica

Le abilità trasversali emerse dalla discussione sono state in generale:

- Capacità di osservazione, elaborazione e sintesi
- Capacità di astrazione
- Capacità di realizzare grafici lineari
- Utilizzo di software compilativi e grafici

Il nostro obiettivo si è focalizzato sull'acquisizione dei seguenti concetti:

- Disomogeneità della fiamma
- Dipendenza della temperatura dalla trasformazione chimica
- Dipendenza dell'energia termica dalla quantità di materia trasformata

L'intero intervento è stato concepito in modo tale da fornire agli studenti un metodo per acquisire nuove conoscenze su alcune proprietà chimico-fisiche della fiamma, sulla termodinamica che sta alla base dei fenomeni associati e sui processi chimici coinvolti. Dopo la distribuzione di un questionario sull'incandescenza, è stato iniziato il percorso di laboratorio costituito da tre attività con due postazioni ciascuna per gruppi di 5 persone. Ogni postazione prevedeva alcune pagine numerate contenenti ciascuna una domanda a cui rispondere in rigorosa successione.

ATTIVITÀ 1

Scopo: valutazione delle conoscenze riguardo l'interconnessione tra temperatura e incandescenza

Procedimento: sono state proposte delle domande mirate alle quali gli studenti dovevano rispondere individualmente a casa, senza conoscere nulla riguardo all'intera attività:

- ◆ Da che cosa riconosci un metallo incandescente?
- ◆ Come si fa a rendere incandescente un metallo?
- ◆ Si possono vedere diverse tonalità nell'incandescenza?
- ◆ In base a che cosa varia l'intensità dell'incandescenza?
- ◆ Come varia l'intensità dell'incandescenza?

Formazione: individuale

Tempo necessario: 60 min

Grado di difficoltà: medio - basso

Dall'analisi delle risposte sono state fatte le seguenti considerazioni:

- ◆ Il concetto di incandescenza ha un significato che deve essere negoziato con l'intera partecipazione della classe, poiché emerge la mancanza di una definizione condivisa a riguardo. Un'opinione ricorrente è quella per cui un oggetto è tanto più incandescente quanto più diventa rosso: è difficile comprendere la differenza che c'è tra variazione dell'intensità luminosa e variazione della colorazione. Sebbene si riescano a discriminare abbastanza agevolmente le tonalità, è più difficile comprendere come a questa variazione sia associata anche un incremento della luminosità.
- ◆ In alcuni casi si ritiene che all'aumento della temperatura, la colorazione del metallo diventi più scuro.
- ◆ Una concezioni diffuse ricorrente è quella di ritenere che l'incandescenza interessi solo la parte superficiale esposta alla fonte di calore.

Dopo negoziazione collettiva si è arrivati quindi a definire l'incandescenza come *“la proprietà di alcuni corpi di emettere luce se sottoposti ad alta temperatura”*

ATTIVITÀ 2

Scopo: osservazione e caratterizzazione di una fiamma

Concetto strutturante: la fiamma non è uniforme

Procedimento: dopo aver acceso la candela, il bunsen e la torcia, gli studenti hanno osservato le fiamme scrivendo successivamente le osservazioni effettuate.

Conclusioni: la fiamma della candela è divisa in una zona esterna più luminosa e colorata di giallo-arancio ed una più interna colorata in azzurro, vicino allo stoppino (da ricercare con attenzione perché non sempre ben visibile).

Per le altre due fiamme, le considerazioni sono simili.

Tempo necessario: 60 min

Grado di difficoltà: medio-basso, legato esclusivamente alla capacità di osservazione.

Rischi: medio-alti, dipendenti dalla cura con cui si maneggiano le fiamme libere, soprattutto nel momento dell'accensione e durante l'osservazione (pericolo ovviabile con l'intervento dell'insegnante)

Domande in postazione:

Osserva attentamente le fiamme che hai di fronte e rispondi alle seguenti domande:

- ◆ Quali caratteristiche sono presenti nella fiamma della candela? Ed in quella del bunsen? E in quella della torcia?
- ◆ Esiste qualche differenza tra una fiamma e l'altra?
- ◆ La fiamma è visivamente uniforme? Giustifica la risposta

ATTIVITÀ 3

Scopo: valutare qualitativamente la differenza di temperatura all'interno della fiamma del bunsen

Concetti strutturanti: la fiamma interna blu è più fredda di quella esterna giallo-arancione

Materiali usati: candela, filo di platino

Procedimento: si è passato un filo di platino sulla punta della fiamma e lo si è lasciato lì per circa 10 secondi. Si è preso nota di tutte le osservazioni. Si è posto il filo nel centro della fiamma, procedendo come prima.

N.B. Per avere un'idea della differenza di temperatura tra le due zone della fiamma, è possibile posizionare uno stuzzicadenti perpendicolarmente all'asse della fiamma in modo che attraversi la parte centrale della zona fredda. Per pochi secondi si nota la carbonizzazione delle parti di legno esposte al cono esterno e l'integrità, pressoché totale, della parte interna.

Conclusioni: il filo di Pt è più incandescente se posto sulla parte più esterna della fiamma: la parte più esterna è più calda di quella interna.

Possibili concezioni difformi:

L'interno blu della fiamma è a temperatura ambiente perché non c'è incandescenza

Tempo necessario: 60 min

Grado di difficoltà: medio-basso legato alle capacità di osservazione ed al corretto posizionamento del filo sulla fiamma

Rischi: relativi alla manipolazione e all'uso di fiamme libere (pericolo ovviabile con l'intervento dell'insegnante)

Domande in postazione:

Osserva attentamente che cosa succede al filo di platino e rispondi alle seguenti domande:

- 1) Il filo di Pt diventa sempre incandescente? La luminosità è la stessa nelle diverse porzioni della fiamma?
- 2) In quale parte della fiamma percepisci la luminosità maggiore del filo di platino incandescente? Dove invece la luminosità è minore? Avanza alcune ipotesi in merito
- 3) Disegna le fiamme che hai osservato

ATTIVITÀ 4

Scopo: vedere che fiamme di grandezza simile, ma di natura diversa, danno diverse incandescenze

Concetto strutturante: dipendenza della temperatura di combustione dalla quantità di energia sottoforma di calore

Procedimento: dopo aver acceso la candela si è acceso il bunsen regolando la fiamma in modo che fosse il più possibile simile a quella della candela. Quindi si è posto il filo di Pt in prossimità della punta osservando l'incandescenza.

Conclusioni: l'incandescenza è più marcata sulla fiamma del bunsen quindi è più calda

Possibili concezioni difformi:

è lo stoppino, e non la cera, che brucia

La fiamma di candela è più fredda perché c'è lo stoppino che sottrae calore

Tempo necessario: 60 min

Grado di difficoltà: medio, legato alla sensibilità di osservazione ed alla capacità di regolazione della fiamma

Rischi: fiamme libere (vedi sopra)

Domande in postazione:

- ◆ La luminosità del filo incandescente è la stessa per le due fiamme?
- ◆ Da che cosa dipende, secondo te, la differenza nella luminosità dell'incandescenza?

La fiamma: una fucina di idee

ATTIVITÀ 5

Scopo: vedere che a parità di combustibile fiamme di diversa grandezza portano alla stessa incandescenza

Concetto strutturante: la temperatura della fiamma è indipendente dalla quantità di materia che si trasforma

Procedimento: tre bunsen sono stati accesi regolandoli in modo che le fiamme fossero simili. I due bunsen sono stati inclinati per ottenere una fiamma unica. Quindi si è posto il filo di Pt in prossimità della punta delle due fiamme ottenute, quella grossa e quella piccola. Dopo 15 secondi si è osservata l'incandescenza dei due fili.

Conclusioni: l'incandescenza osservata è identica: la temperatura non si somma.

Tempo necessario: 60 min

Grado di difficoltà: medio

Rischi: presenza di fiamme libere (vedi sopra)

Domande in postazione:

- ◆ L'intensità dell'incandescenza osservata è uguale nei due casi?
- ◆ La velocità con cui si raggiunge la massima incandescenza è uguale in entrambi i casi?
- ◆ Che cosa determina le eventuali differenze che hai riscontrato?

ATTIVITÀ 6

Scopo: verificare la dipendenza tra quantità di energia termica somministrata e velocità di riscaldamento tramite l'elaborazione di grafici sperimentali di T vs. t

Procedimento: sotto un treppiede che sostiene una reticella è stato posizionato un numero di candele diverso per ogni gruppo. Quattro becker da 250 ml sono stati riempiti con 100 ml di acqua ponendovi sopra le reticelle; con il termometro si è misurata la temperatura dell'acqua. Le candele sono state accese e sono state poste sotto ogni reticella gruppi da, 1,2,3,4 candele. Ogni 10 secondi è stata rilevata la temperatura e raccogliendo i valori in una tabella T vs. t

Risultati: si costruisce un grafico per gruppo con T (°C) in ordinate e t (s) in ascisse. Si confrontano i 4 grafici

Tempo necessario: 60 min

Grado di difficoltà: alto, a causa delle difficoltà esecutive dell'attività e nella misurazione simultanea di due grandezze

Rischi: presenza di fiamme libere

Conclusioni:

- ◆ Le curve hanno tutte un andamento rettilineo
- ◆ È possibile determinare la velocità di riscaldamento per ogni postazione
- ◆ La velocità di riscaldamento varia a seconda del numero di candele usate
- ◆ La velocità di riscaldamento è direttamente proporzionale al numero di candele usate
- ◆ Le anomalie riscontrate a livello sperimentale (rallentamento del riscaldamento) sono riscontrabili sul grafico come sensibili deviazioni all'andamento della retta estrapolata.

Intervento dell'insegnante: tramite procedimento matematico si verifica la relazione trovata sperimentalmente.

$Q = mC_s\Delta T$: Relazione tra calore e temperatura (1)

dove Q = calore di reazione

m = massa d'acqua

C_s = calore specifico dell'acqua

ΔT = variazione di temperatura

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta t_1} = v_1, \quad \frac{\Delta T_2}{\Delta t_2} = v_2 \quad \text{Velocità di riscaldamento determinata sperimentalmente durante il riscaldamento con un numero differente di candele}$$

Dividendo (1) per Δt si ha in particolare

$$\frac{Q_1}{\Delta t_1} = m_1 C_{s1} \frac{\Delta T_1}{\Delta t_1} \quad \text{e} \quad \frac{Q_2}{\Delta t_2} = m_2 C_{s2} \frac{\Delta T_2}{\Delta t_2}$$

considerando costante la massa dell'acqua si ottiene:

$$\frac{Q_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta T_1}{\Delta t_1} \quad \text{e} \quad \frac{Q_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta T_2}{\Delta t_2}$$

Considerando $\Delta t_1 = \Delta t_2$ si ha $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{v_2}{v_1}$ dove v_1 è la velocità minore.

Si è trovato sperimentalmente che questi rapporti sono numeri interi e corrispondono al numero di candele usate.

Possibili concezioni difformi: *l'acqua bolle ad una temperatura superiore a 100°C a pressione atmosferica.* L'osservazione nasce dal fatto che il termometro, posizionato troppo vicino al fondo del becker, misura effettivamente una temperatura superiore a quella dell'acqua. Si ovvia a questo problema agitando debolmente la soluzione e posizionando il termometro ad un'altezza corretta.

ATTIVITÀ 7 - VERIFICA SOMMATIVA

È stato sottoposto agli studenti un questionario composto da 7 domande aperte, di cui quattro identiche a quelle formulate nell'attività 1 e le altre più strettamente inerenti alle attività pratiche. Sono state concesse due ore di tempo per elaborare le risposte; gli studenti erano liberi di usare gli appunti presi durante le attività.

ATTIVITÀ 8 – DISCUSSIONE QUESTIONARI

Si è proceduto alla consegna dei questionari dell'attività 1 e della verifica sommativa, debitamente corretti e valutati. Il docente ha affrontato le concezioni difformi emerse dai questionari lasciando ampio spazio alla discussione tra gli studenti. Al termine ha dato risposta ad alcuni dubbi sorte durante il percorso, come ad esempio la relazione tra fusione ed incandescenza.

ATTIVITÀ 9

Scopo: ricapitolare autonomamente i concetti

Procedimento: redazione di una presentazione multimediale o di un poster nei quali sono stati illustrati i concetti fondamentali e le concezioni difformi a cui si è data una risposta negoziata.

Formazione: collettiva

Tempo necessario: 60 min + 150 min. lavoro a casa

Grado di difficoltà: basso

Rischi: nessuno

VALUTAZIONE

La valutazione della verifica scritta ha avuto un peso del 50% sulla valutazione totale.

Nell'analisi delle risposte si è tenuto presente:

- la conformità e l'approfondimento della risposta
- la capacità di osservazione e di rielaborazione delle osservazioni
- la capacità di astrarre le leggi teoriche relative ai fenomeni osservati
- il linguaggio scientifico adeguato

La valutazione della presentazione PowerPoint e/o poster ha avuto un peso del 35% sul voto finale. Nella valutazione si è tenuto presente:

- la rielaborazione delle osservazioni
- la corretta organizzazione ed omogeneità degli argomenti riportati
- la forma grafica ed il linguaggio adottato
- la capacità di sintesi e di selezione degli argomenti sviluppati

La valutazione delle attività pratiche in laboratorio ha avuto un peso del 15% sul totale. A causa dell'alto numero di studenti in uno spazio ristretto, si è dovuto attribuire una percentuale bassa all'attività pratica per tenere conto delle difficoltà aggiuntive che gli studenti hanno dovuto affrontare. È da considerare, tuttavia, che all'area delle attività laboratoriali debba essere riservato un maggior peso, data la sua fondamentale importanza nella formazione disciplinare degli studenti.

Si è tenuto conto :

- del comportamento adottato in laboratorio
- dell'atteggiamento più o meno costruttivo verso le attività svolte
- del corretto utilizzo dei presidi di sicurezza, degli strumenti e dell'attrezzatura
- dell'autonomia nell'organizzare ogni singola attività

L'intervallo di valutazione complessivo variava da 10 a 2 punti.

Nel caso da noi studiato, l'interesse è stato significativamente alto, infatti, gran parte della classe ha partecipato attivamente con domande pertinenti.

La fiamma: una fucina di idee

Nella figura 2 è riportato il punteggio complessivo attribuito ad ogni singolo studente usando i criteri sopra elencati. Dall'analisi dell'istogramma si può notare che la classe ha risposto in maniera soddisfacente raggiungendo un buon livello di conoscenze e di competenze. I punti di forza sono state le attività di gruppo in laboratorio e la realizzazione della presentazione finale.

Dal confronto tra le risposte dell'attività 1 e della verifica sommativa, emerge che la maggior parte degli studenti è stata in grado di correggere le concezioni difformi palesate inizialmente.

In alcuni casi, gli studenti sono riusciti a fornire una visione critica su eventuali incongruenze tra la parte teorica e quella sperimentale, come il comportamento dei metalli basso fondenti (ad esempio: Sn, Bi, Pb, Zn) per i quali la fusione avviene al di sotto di 525°C, limite corrispondente al rosso nascente, prima radiazione visibile: pertanto gli studenti hanno evidenziato che questi metalli fondono senza diventare incandescenti [1].

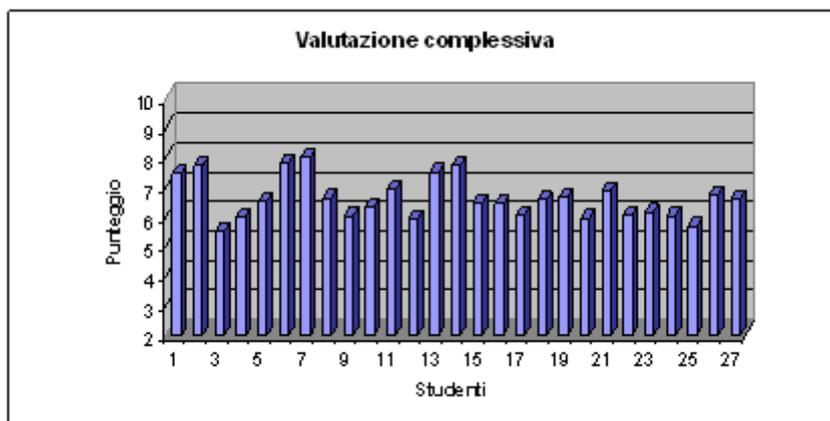


Figura 2: Istogramma dei voti finali attribuiti agli studenti

Per valutare il percorso didattico proposto, è stato somministrato agli studenti un questionario anonimo di gradimento nel quale si è chiesto di attribuire un punteggio da 1 a 5 ai diversi aspetti del progetto: chiarezza delle informazioni fornite, relazione con l'insegnante, coesione del gruppo, utilità del percorso, compiti richiesti e organizzazione delle attività.

Nella figura 3 sono riportate le valutazioni complessive che ogni studente ha fornito.

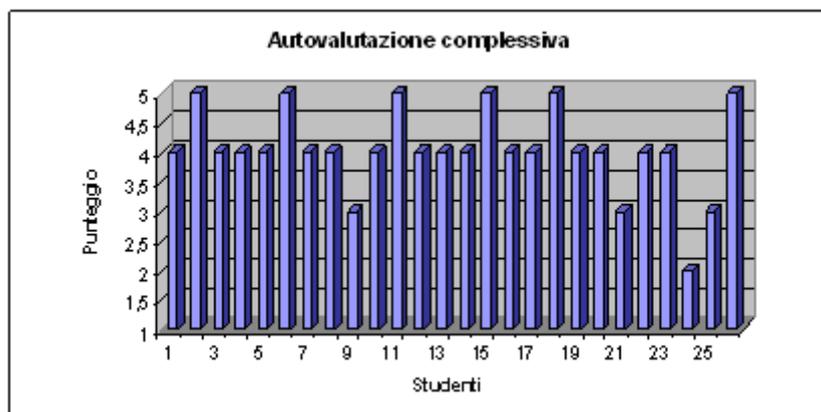


Figura 3: Istogramma della valutazione complessiva attribuita al percorso didattico da parte degli studenti

Dall'analisi delle singole risposte emerge che gli studenti hanno dato una valutazione molto positiva al metodo e agli aspetti contenutistici; una valutazione leggermente inferiore è stata riservata agli aspetti organizzativi e al lavoro di gruppo.

Conclusioni

Seppure questo approccio richieda un numero superiore di ore, le competenze acquisite risultano maggiori e di migliore qualità. Per convivere con la necessità di svolgere i programmi scolastici, riteniamo che sia opportuno dedicare questo metodo ad almeno alcuni argomenti. Per esperienza, si è notato che adottando questo approccio, il tempo richiesto per lo svolgimento dei percorsi diminuisce progressivamente: gli studenti, maggiormente coinvolti, sviluppano una maggiore capacità di apprendimento. A conferma di ciò, l'esito positivo della verifica sommativa ha mostrato che la par-

tecipazione diretta degli studenti durante l'intero percorso porta a migliori risultati rispetto a quelli ottenuti, in altri contesti, con un insegnamento puramente trasmissivo.

Un altro problema che si presenta nell'eseguire questo procedimento, come si è evidenziato nel test di gradimento, sono gli ostacoli logistici che troppo spesso si incontrano nelle scuole durante l'esecuzione di attività pratiche. In alcuni casi potrebbe essere possibile suddividere la classe in due gruppi, portando avanti parallelamente le attività in aula e in laboratorio; oppure organizzare le attività pratiche in strutture dotate di spazi adeguati, come fortemente suggerito dal Piano Nazionale Insegnare Scienze Sperimentali (ISS). La versatilità con cui questi percorsi didattici sono stati concepiti, permetterà di contestualizzarli alle diverse realtà, raggiungendo gli obiettivi prefissati con un miglior gradimento.

Bibliografia

- [1] E. Platone, Chimica generale e inorganica e laboratorio, Ed. CEDAM, 1980, pag 1008.
- [2] B. Lewis, G., Von Elbe , Combustion, flames and explosions of gases. Third edition , Academic Press, 1987.
- [3] G. Amaldi, L'Amaldi 2 – Introduzione alla fisica Ed. Zanichelli, 2004.
- [4] R. Carlini, Percorso didattico sulle proprietà chimico fisiche della fiamma per il biennio delle scuole secondarie superiori, Tesi di specializzazione SSIS, 2009.
- [5] R. Carlini, M. Carnasciali, M. Martinelli, XVI Convegno Nazionale della Divisione di Didattica Chimica, Sorrento, 7- 9 luglio 2009.