

LA COMBUSTIONE

ENERGIA, ARIA, RUOLO DELL'ARIA NELLA COMBUSTIONE, RESPIRAZIONE

Anna Dallai, Monica Falleri, Carlo Fiorentini, Attilia Greppi,
Antonella Martinucci, Rossana Nencini, Elena Scubla, Sandra Taccetti

Riflessioni sulla combustione

La combustione costituisce un argomento tradizionalmente presente anche nella scuola primaria. In molti sussidiari è illustrato l'esperimento della candela, collocata in una bacinella piena di acqua, che si spegne quando viene messa sotto un recipiente di vetro. Immediatamente vengono ricavate le seguenti conclusioni: 1) la combustione è un fenomeno che avviene per combinazione con l'ossigeno; 2) la candela si spegne perché l'ossigeno si è consumato; 3) ed infine, l'ossigeno è circa 1/5 dell'aria, come si capisce dall'innalzamento dell'acqua.

Ora, alcune di queste affermazioni sono vere, altre sono false, ma tutte non sono ricavabili soltanto dall'osservazione di questo esperimento. Ci troviamo di fronte ad un esempio emblematico di sperimentalismo ingenuo, che in questo come negli altri casi non differisce in nulla dal nozionismo trasmissivo più insignificante. Fare degli esperimenti non serve a nulla se le conclusioni che si ricavano dipendono soltanto dalle conoscenze che l'insegnante ha già e lo studente non ha.

Fenomeni di questo tipo erano conosciuti da millenni: la combustione è infatti uno dei fenomeni chimici più importanti nella storia dell'umanità. E' sufficiente pensare alla scoperta del fuoco ed alla funzione delle fornaci nella scoperta e nel perfezionamento delle tecniche della ceramica e dei metalli. Fin dai tempi dell'antico Egitto fu acquisita la consapevolezza che occorreva soffiare aria nelle fornaci per avere del fuoco più potente e capace di fondere il rame ed il ferro. Tuttavia le conoscenze significative rimasero soltanto di tipo fenomenologico fino a Lavoisier; anzi la rivoluzione chimica ebbe proprio inizio con la più grande scoperta della chimica, cioè con l'ipotesi lavoisieriana che il fenomeno della combustione consista in una combinazione chimica tra combustibile ed aria; furono poi necessari alcuni anni per capire che soltanto una parte dell'aria è attiva; questa venne chiamata ossigeno, un termine che alcuni anni dopo si rilevò errato, in quanto significa "generatore degli acidi", cioè la causa dell'acidità.

La rivoluzione chimica lavoisieriana costituiva una confutazione totale della teoria del flogisto¹, teoria che durante il Settecento era stata considerata una grande teoria scientifica, capace di spiegare

1 Fra le numerose ipotesi esplicative del fenomeno della combustione avanzate nel corso dei secoli, è importante prendere in considerazione la teoria del flogisto (dal greco «incendiare»). La concezione del flogisto, elaborata dal medico tedesco E. Stahl (1660-1734), venne considerata, per circa un secolo, dalla quasi totalità degli scienziati settecenteschi una grande teoria scientifica, capace di fornire una spiegazione adeguata di molteplici fenomeni chimici. Il fenomeno della combustione come veniva spiegato? Alcune sostanze, i combustibili, benché dall'aspetto siano molto

molti fenomeni chimici. Questa teoria considerava, per esempio, la combustione e la calcinazione dei metalli due fenomeni chimici simili, nonostante la diversa apparenza fenomenica. Questa importante conoscenza si basava comunque su una spiegazione sbagliata: la teoria del flogisto affermava, infatti, che in ambedue i fenomeni vi era, invece che combinazione con aria, emissione di flogisto. Furono necessari 20-30 anni per l'affermazione della teoria di Lavoisier. Molti chimici affermati non l'accettarono mai; è emblematico il caso del geniale chimico sperimentalista Priestley che fino alla morte considerò vera la teoria del flogisto, nonostante che fosse stato lui ad effettuare per primo molti esperimenti che vennero poi utilizzati da Lavoisier per confermare ed approfondire la sua teoria.

I chimici ormai affermati dovevano effettuare una specie di conversione: erano in gioco due visioni del mondo totalmente opposte. Sono rivelatrici di queste immani difficoltà epistemologiche e psicologiche le seguenti considerazioni che il grande chimico francese Macquer effettuò nella seconda edizione del suo "Dizionario di Chimica" nel 1778: "Se ciò fosse vero, verrebbe distrutta tutta la teoria del flogisto, cioè del fuoco combinato. A tal idea non ha però almeno finora acconsentito questo valente fisico (Lavoisier), che sopra un punto così delicato vuole ancora sospendere il suo giudizio. Questa cautela è certamente lodevole, essendo appunto quella che forma il carattere d'un vero chimico, di cui fregiati non sono que' fisici, i quali non conoscendo il pregio di questa bella scienza, si credono capaci di realmente rovesciarla, e colla scorta d'un sol fatto, che essi suppongono bastantemente comprovato, presumono di oscurare in un momento tutto lo splendore di una delle più grandi teorie, a cui siasi innalzato il genio della chimica: d'una teoria appoggiata ad un numero sorprendente di convincenti esperienze, alla forza delle quali non possono resistere neppure i talenti più illuminati".

Apparentemente l'esperimento della candela è estremamente semplice, è sul piano pratico facilmente eseguibile, la sua complessità è infatti concettuale. Se l'esperimento venisse effettuato negli ultimi anni della scuola primaria, potrebbe capitare che siano gli alunni stessi a prospettare la nozione dell'ossigeno, senza però avere minimamente la capacità di raccorderla a ciò che hanno osservato.

Durante la combustione della candela si consuma ossigeno, ma vengono prodotti anche altri gas, quali l'anidride carbonica e il vapore acqueo, per cui affermare che la diminuzione di volume dell'aria all'interno del recipiente è dovuta unicamente alla "scomparsa" dell'ossigeno è una

diversi fra loro, possono bruciare perché contengono una sostanza particolare (chiamata flogisto) che ha la capacità, quando esce dal combustibile che si sta consumando, di trasformarsi in fuoco. La teoria del flogisto è in grado di fornire una spiegazione anche della indispensabilità dell'aria nella combustione. Secondo la teoria di Stahl, il fuoco è dovuto al passaggio del flogisto dal combustibile all'aria e l'aria è concepita come lo strumento fisico essenziale della combustione, ma l'aria non ha nessuna funzione chimica, non si combina con il combustibile. La teoria del flogisto è in grado anche di spiegare perché la combustione non può durare a lungo in recipienti chiusi: la candela, racchiusa sotto una campana, si spegne perché l'aria può contenere soltanto una certa quantità di flogisto; conseguentemente, un campione d'aria, quando è saturo di flogisto, non può accoglierne più e quindi si interrompe il passaggio del flogisto dal combustibile all'aria, cioè cessa la combustione.

deduzione, non solo superficiale, ma sostanzialmente scorretta. Il fenomeno è più complesso. Innanzitutto, quando il recipiente viene capovolto sulla candela accesa, esso racchiude al suo interno aria calda, quindi più rarefatta rispetto a quella esterna, per cui, quando la candela si spegne, l'aria rimasta si raffredda e si contrae; poi il vapore acqueo venendo a contatto con le pareti più fredde del recipiente in parte si condensa; infine, l'anidride carbonica, che è più solubile dell'ossigeno, si discioglie parzialmente nell'acqua. Questi fenomeni, nel loro insieme, determinano una depressione all'interno del contenitore e di conseguenza la contrazione dell' "aria" rimasta, che, per le ragioni suddette, può anche essere maggiore del volume di ossigeno effettivamente presente nel recipiente.

La nozione dell'ossigeno costituisce in questo caso un pre-concetto, nell'accezione deweiana del termine, che impedisce al bambino di utilizzare la propria mente per investigare il problema: "Pensieri siffatti sono *pregiudizi*; cioè giudizi prematuri, non conclusioni raggiunte come risultato di una personale attività mentale quale l'osservare, il raccogliere ed esaminare i dati. Anche quando accade che tali giudizi siano corretti, la correttezza è una faccenda accidentale, almeno per quello che concerne la persona che li accoglie".

Vi sono molti termini scientifici, come il termine "ossigeno" che fanno ormai parte del senso comune; essi sono tuttavia carichi di teoria e funzionano quindi anche per molti adulti sul piano cognitivo come pre-giudizi. Essi non possono essere evidentemente esorcizzati: se si effettuasse, per esempio, l'esperimento con la candela con l'obiettivo effettivamente accessibile sulla base della sola osservazione di comprendere che l'aria ha un ruolo, e venisse prospettata dai bambini la nozione del consumo di ossigeno, essa non dovrebbe essere rifiutata da parte dell'insegnante, ma sarebbe sbagliato nella scuola primaria concentrare l'attività didattica su questo aspetto. Spesso gli insegnanti confondono la **conoscenza da parte degli studenti di termini scientifici con la conoscenza del loro significato**. Ora anche molti adulti conoscono termini specialistici, soprattutto grazie ai mas-media, senza avere la minima idea del loro significato. Già Dewey aveva evidenziato l'assurdità pedagogica di questo atteggiamento: "Inoltre vi è la tendenza ad ammettere che ovunque vi sia una definita parola o forma linguistica, via sia anche un'idea definita; mentre, in realtà, sia gli adulti che i fanciulli possono adoperare formule verbalmente precise, avendo solo la più vaga e confusa idea di ciò che esse significano. E' più proficua la genuina ignoranza perché è facilmente accompagnata da umiltà, curiosità ed apertura mentale; mentre l'abilità a ripetere frasi fatte, termini convenzionali, proposizioni familiari, crea la presunzione del sapere e spalma la mente di una vernice impenetrabile alle nuove idee".

La conclusione che si deve ricavare da queste riflessioni è allora quella che della combustione è meglio non parlare nella scuola primaria? Tutt'altro, la conclusione è che ci si deve limitare ad un approccio fenomenologico e rimandare alla scuola secondaria superiore la trattazione teorica del problema.

La combustione è sicuramente già conosciuta dagli alunni della scuola primaria: nella vita quotidiana più volte è loro capitato di assistere a fenomeni di combustione, quali l'accensione di un fiammifero, dei fornelli di una cucina a gas, o di un braciere con carbone o legna. Ma la conoscenza spontanea di questa fenomenologia, come in generale di tutte le fenomenologie, è *irriflessiva, inconsapevole, asistemica*, in quanto si verifica soltanto, utilizzando una terminologia bruneriana, attraverso i sistemi della rappresentazione attiva e soprattutto iconica. Raramente nella vita quotidiana, ad eccezione di chi svolge mansioni o mestieri particolari, vi è l'esigenza di attivare in riferimento a fenomenologie di carattere scientifico il sistema di rappresentazione simbolica.

L'approccio fenomenologico deve porsi come obiettivo principale quello dell'attivazione del sistema *simbolico*, perché se ci si limitasse ai sistemi *attivo* ed *iconico* si farebbero pochi passi in avanti rispetto alla conoscenza di senso comune. In particolare poi se la fenomenologia facesse già parte dell'esperienza quotidiana, l'attività didattica sarebbe sostanzialmente inutile. La fase della rappresentazione attiva ed iconica non vanno evidentemente saltate, ma non ci si può fermare ad esse.

J. Dewey, *Come pensiamo*, La Nuova Italia, Firenze, 1961, pp. 66, 333.

PROPOSTA DIDATTICA PER LA CLASSE TERZA

LA COMBUSTIONE

Effettueremo alcune esperienze di combustione, con la carta, l'alcol, legnetti, carbonella, sasso. Le modalità didattiche saranno molto differenziate. Mentre sarà necessario per le prime due esperienze un tempo molto ampio (dalle otto alle dieci ore), per le altre tre, un tempo molto limitato (3-4 ore). La comprensione-descrizione della trasformazione si realizza nella prima esperienza. Nelle altre si consolida la comprensione e si generalizza la definizione.

1. 1ª ESPERIENZA- La combustione della carta

Strumenti e materiale occorrente:

fogli di carta, fiammiferi, piatto di coccio

Occorre operare in modo che non ci sia nessun pericolo per gli alunni. In particolare, quando si utilizza l'alcol, l'insegnante ne versa una piccola quantità (un cucchiaino) in un piccolo contenitore, quale ad esempio un cucchiaino, già appoggiato su una base di metallo (una

piccola padella di alluminio o di acciaio, ecc.). Poi, prima di accendere con un fiammifero da cucina l'alcol che si trova nel cucchiaino, **colloca la bottiglia contenente l'alcol lontano dal tavolo dove si sta svolgendo l'attività**, per sicurezza e anche per enfatizzare con gli alunni la pericolosità dell'alcol. Questa procedura deve essere seguita anche quando si utilizza l'alcol per provare ad innescare un sasso: si versa sul sasso un cucchiaino di alcol, **si chiude la bottiglia e la si colloca lontano**. Quest'accorgimento ci offre l'opportunità di sottolineare la pericolosità dell'alcol nella vita quotidiana e al contempo di **educare gli alunni alla sicurezza**. Difatti, fuori della scuola, a casa o all'aperto, quando ad esempio si cucina la carne alla brace, non bisogna avvicinare una bottiglia di alcol aperta ad una fiamma o a fonti di calore, quali una cucina a gas, perché potrebbe prendere fuoco la bottiglia dell'alcol per un ritorno di fiamma.

a) Organizziamo il laboratorio di scienze o l'aula in modo che gli alunni possano osservare bene la trasformazione. L'esperienza è eseguita dall'insegnante, agli alunni viene data la consegna di osservare con attenzione. Poniamo un foglio di carta appallottolato sul piatto e inneschiamo con un fiammifero; ripetiamo, eventualmente, l'esperimento al buio per poter osservare meglio la produzione di luce; al termine invitiamo gli alunni a toccare il piatto per permettere loro di sentire il calore prodotto dalla combustione.

b) Chiediamo agli alunni di rispondere individualmente per scritto alla seguente richiesta: "descrivete la trasformazione che avete osservato". Se necessario, riformuliamo la domanda in modo tale che sia chiara a tutti, ad esempio, chiedendo: "raccontate ciò che avete osservato, la combustione della carta" Inoltre, mentre gli alunni scrivono, possiamo ripetere di nuovo l'esperimento.

Introduciamo, utilizzandoli fin dalla prima esperienza, i termini *combustione* e *innesco* in modo che gli alunni inizino a familiarizzarsi con queste nuove parole. Può essere opportuno utilizzare anche un vocabolario per chiarire il significato della parola innesco.

c) Raccogliamo tutte le verbalizzazioni scritte dei alunni. Ciò ha una duplice funzione. La prima è quella di raccogliere le produzioni individuali di tutti gli alunni nel caso della richiesta della descrizione di un fenomeno complesso, quale quello della combustione. Sarà così possibile avere una testimonianza della prestazione di ciascun alunno rispetto allo sviluppo di una competenza fondamentale, quale quella della descrizione di fenomeni, e potere così, nell'arco dei mesi e degli anni successivi, constatarne lo sviluppo. La seconda funzione è quella di realizzare con una modalità diversa il confronto per arrivare ad una descrizione condivisa: si riportano sulla LIM o sulla lavagna alcune (2-3) verbalizzazioni che siano ciascuna non esauriente, ma che assieme contengano la maggior parte degli aspetti importanti. Questi 2-3 testi possono anche essere realizzati prendendo parti delle descrizioni di più alunni. Si chiede agli alunni, dopo averle lette, confrontate e discusse, di realizzare una

descrizione condivisa, scegliendo le formulazioni ritenute più adeguate.

d) Se non emergesse in modo chiaro, poniamo loro la seguente domanda: “E’ importante o no indicare gli aspetti importanti della trasformazione rispettando la successione temporale? E’ la stessa cosa descrivere una trasformazione o un oggetto?” E’ **fondamentale** che questa differenza tra i due tipi di descrizione sia alla fine della discussione compresa da tutti gli alunni e venga riportata nel loro quaderno.

e) Realizziamo, infine, una scheda con una sintesi di ciò che è stato fatto e con la descrizione condivisa della trasformazione osservata, la combustione della carta. Utilizzando questa metodologia, tutti gli alunni arrivano da soli a comprendere gli aspetti fondamentali dei fenomeni indagati, ma ovviamente le rappresentazioni realizzate non sono tutte dello stesso livello. E’ quindi importante che tutti abbiano nel quaderno delle verbalizzazioni corrette anche dal punto di vista linguistico, che saranno importanti anche per lo studio individuale. E’ una metodologia che permette effettivamente di realizzare l’individualizzazione, che permette effettivamente, cioè, a tutti gli alunni di essere coinvolti nel processo di insegnamento-apprendimento e di concettualizzare gli aspetti fondamentali. Ciò non significa, d’altra parte, che tutti comprendano e concettualizzino nello stesso modo, questo sarebbe irrealistico e non augurabile. Anche gli alunni con difficoltà dei vari tipi (alunni diversamente abili, migrantes da poco tempo arrivati in Italia, ecc.) sono totalmente coinvolti in attività di questo tipo, e sono, in certi casi, capaci di cogliere aspetti importanti dell’osservazione che sfuggono agli altri alunni.

2. 2^a ESPERIENZA - La combustione dell’alcol

Strumenti e materiale occorrente:

alcol puro, fiammiferi, piatto di coccio

f) ripetiamo le attività già indicate per la combustione della carta - dal punto a) al punto c) -, realizzando anche in questo caso, una scheda condivisa della descrizione della combustione dell’alcol.

Potrebbe capitare, in questo caso, che gli alunni non utilizzino il termine *trasformazione*. Potrebbero, infatti, pensare che *trasformazione* si riferisca al passaggio da qualcosa a qualcos’altro (come nel primo caso, da carta a cenere), e non da qualcosa all’apparente nulla (l’alcol si consuma completamente). E’ importante far comprendere che anche in questo caso vi è un cambiamento, una trasformazione.

g) Facciamo confrontare le due descrizioni, quella della combustione della carta e quella della combustione dell’alcol e costruiamo un cartellone che faciliti il confronto: quali differenze? quali somiglianze?

Gli alunni noteranno facilmente che le somiglianze fra i due fenomeni sono molte. Si può quindi elaborare una prima definizione valida per entrambe le combustioni. Si inizia in questo modo a costruire il concetto operativo di combustione.

Realizziamo con le migliori produzioni degli alunni, anche da un punto di vista linguistico, una scheda che, indicando gli aspetti significativi, definisca il fenomeno della combustione della carta e dell'alcol. Nelle scheda ci dovrebbe essere una definizione di questo tipo:

La combustione della carta e dell'alcol è quella trasformazione che si verifica quando, innescati con un fiammifero, si consumano con la produzione di luce e calore. Le differenze consistono nel presenza del fumo e nel consumo parziale o totale del materiale.

3. 3^a e 4^a ESPERIENZA - Combustione di legnetti e combustione di carbonella.

Strumenti e materiale occorrente:

legnetti molto fini e secchi, carbonella molto fine e secca, fiammiferi, piatti di coccio, alcol (servirà per innescare; i fiammiferi da soli, infatti, non sono sufficienti)

h) prima di iniziare ciascuna esperienza, diciamo agli alunni che questa volta **non dovranno descrivere il fenomeno**, ma dovranno, innanzitutto, verificare se la definizione di combustione ricavata precedentemente, dal confronto tra la combustione della carta e dell'alcol, vada ancora bene o vada modificata. In secondo luogo, potranno mettere in evidenza eventuali differenze molto evidenti.

i) eseguiamo le due esperienze l'una dopo l'altra, nello spazio orario di una lezione. La consegna che verrà data agli alunni sarà sempre quella di osservare con la massima attenzione lo svolgersi dei fenomeni.

Se gli alunni non lo evidenzieranno, facciamo in modo che colgano la maggiore difficoltà di INNESCO di legnetti e carbonella rispetto ad alcol e carta, così come i tempi più lunghi di combustione dei due nuovi materiali.

Facciamo inoltre notare la mancanza generalmente di fiamma durante la combustione della carbonella.

4. 5^a ESPERIENZA - La combustione e un sasso

Strumenti e materiale occorrente:

un sasso o alcuni sassi, fiammiferi, alcool, piatto di coccio.

i) Proviamo ad innescare il sasso con un fiammifero e successivamente con l'aiuto di una piccola quantità di alcol. Può darsi che ciò crei qualche perplessità e che vi siano alunni che insistano

nell'attribuire la fiamma alla combustione del sasso; in questo caso ripetiamo l'esperienza con un altro sasso preoccupandoci di pesarlo prima e dopo la combustione, in modo da evidenziare che non c'è stato nessun consumo di materiale. E' importante che tutti siano pienamente consapevoli che il sasso, nonostante che si sia cercato di innescarlo anche in modo energetico, non ha dato origine al fenomeno della combustione.

1) Solo a questo punto del lavoro sulla combustione, chiediamo individualmente agli alunni di rispondere per scritto alla seguente richiesta: "DEFINISCI LA COMBUSTIONE".

Confrontando le definizioni prodotte da ognuno, si arriva facilmente ad elaborare una definizione operativa di questo tipo: *LA COMBUSTIONE E' QUELLA TRASFORMAZIONE CHE SI VERIFICA QUANDO UN MATERIALE, INNESCATO, si consuma, EMANANDO CALORE e PRODUCENDO UNA FIAMMA che diffonde la LUCE.*

I materiali che si comportano in questo modo si chiamano **COMBUSTIBILI**, che come si è constatato, sono anche molto diversi l'uno d'altro, sia nell'aspetto iniziale, che durante il fenomeno della combustione. Ciò che li accomuna sono gli aspetti presenti nella definizione, ciò che li differenzia sono, ad esempio, il tipo di innesco, la durata della combustione, il calore sprigionato, il colore e la consistenza della fiamma, la presenza di un residuo, ecc. E' a questo punto necessario controllare in più vocabolari come sono definite le parole *combustione* e *combustibile*.

5. L'ARIA E LA COMBUSTIONE

Ci si propone ora di approfondire il ruolo dell'aria nel fenomeno della combustione. Negli esperimenti precedenti si è iniziato, probabilmente, a ipotizzare che l'aria abbia un ruolo, già durante la combustione delle carta; si ha, infatti, in questo caso, un decorso della combustione diverso se il foglio di carta viene tenuto in mano per mezzo di una pinzetta o se è appoggiato sul piatto, più o meno appallottolato. Successivamente la combustione dei legnetti e della carbonella è risultata più difficile, e quasi sicuramente si è constatato che l'innesco e la combustione sono facilitati, sia semplicemente soffiando (con la bocca o meglio con un mantice) od utilizzando qualcosa che permetta di smuovere l'aria (un ventaglio, un piccolo cartone).

6. L'ARIA OCCUPA TUTTI GLI SPAZI VUOTI UNA DETERMINATA QUANTITA' DI ARIA HA UNO SPECIFICO VOLUME

Questa parte del percorso potrebbe essere collocata altrove, in particolare nel percorso *Solidi, liquidi, gas*. Ma, poiché nella nostra proposta curricolare esso è collocato nella classe quinta,

questa parte, che andrà poi richiamata, ci sembra importante collocarla in questo contesto, costituendo un prerequisito al ruolo dell'aria nella combustione.

Generalmente, benché anche i bambini piccoli conoscano la parola *aria*, non ci si rende conto dell'esistenza dell'aria; l'aria è in un certo senso un'entità metafisica; l'aria diventa evidente nella sua materialità, come negli esperimenti appena indicati, quando viene messa in movimento rispetto alla situazione di equilibrio; l'aria è così associata al vento, alla sensazione che si ha andando in motocicletta o in auto con i finestrini aperti, ecc.

In situazioni statiche, in equilibrio, l'aria non si percepisce, e ci comportiamo come se non esistesse. Sono ovvie, ma anche emblematiche, le affermazioni che facciamo di fronte a recipienti di vario tipo (bicchieri, bottiglie, becher, ecc.) non contenenti nessun liquido: "sono vuoti". In realtà contengono l'aria, ma non ce ne rendiamo conto.

Sono tuttavia sufficienti alcuni semplici esperimenti per rendersi conto che l'aria esiste sempre ed occupa tutti gli spazi *vuoti*, cioè non contenenti liquidi e solidi. Ci si rende conto che **una determinata quantità di aria**, come i solidi e i liquidi, **occupa un determinato spazio**.

Strumenti e materiale occorrente:

- bacinella, bottiglie, recipienti di diverso volume, acqua

Prendiamo una bottiglia ed una bacinella sufficientemente grande da poter muovere in ogni direzione la bottiglia. Capovolgiamo e spingiamo verso il fondo la bottiglia *vuota* dentro la bacinella piena di acqua (eventualmente colorata); operiamo in modo tale che tutti gli alunni possano constatare la resistenza incontrata spingendo la bottiglia; chiediamo loro, con una verbalizzazione scritta individuale, che cosa osservano e quale spiegazione danno del fatto che l'acqua non entra nella bottiglia.

Dopo aver raccolto in tabella le risposte individuali, realizziamo un altro esperimento e chiediamo agli alunni se vogliono modificare la loro risposta precedente:

incliniamo la bottiglia in modo tale da far uscire lentamente l'aria; si osserva la formazione di bollicine e si constata contemporaneamente, la salita dell'acqua nella bottiglia corrispondente alla diminuzione di aria. Può capitare che la maggior parte degli alunni comprenda il primo fenomeno solo quando la bottiglia viene inclinata ed escono le bollicine di aria.

Infine chiediamo agli alunni se è possibile travasare l'aria da un recipiente ad un altro nelle condizioni sperimentali precedenti. Possiamo chiedergli di formulare, in piccoli gruppi, delle ipotesi. Effettuiamo poi l'esperimento inclinando la bottiglia piena di aria sotto un altro recipiente anche esso capovolto dentro la bacinella ma pieno di acqua.

Se gli esperimenti precedenti non fossero sufficienti per la comprensione da parte di ogni

alunno che più grande è il recipiente capovolto maggiore è la quantità di aria contenuta, effettuiamo l'esperimento del travasamento di aria utilizzando recipienti di volume diverso. Il volume anche nel caso dei solidi e dei liquidi non è una caratteristica invariante della materia; cambia al variare della temperatura (fenomeno della dilatazione); però nel caso dell'aria, il **volume cambia** non solo **al variare** della temperatura, ma anche della **pressione**, come può essere banalmente constatato con due siringhe tappate, piene una di acqua e l'altra di aria e come forse qualche alunno aveva intuito fin dall'inizio di queste attività sull'aria, quando si spingeva la bottiglia capovolta dentro la bacinella. Abbiamo usato il termine pressione, anche se gli alunni generalmente diranno "fare forza", "spingere", o altre espressioni simili.

7. L'ARIA E' NECESSARIA PER LA COMBUSTIONE

Strumenti e materiale occorrente:

- due candele, fiammiferi, piatto di coccio, becher da 250cc e da 1l.
- due fogli di carta di uguali dimensioni, fiammiferi, pinze metalliche

Effettuiamo il seguente esperimento: mettiamo sopra un piatto una candela e accendiamola; dopo qualche minuto collochiamo sopra la candela una becher di vetro da 1l capovolto. Dopo che gli alunni hanno osservato, chiediamo di fornire una spiegazione di quello che è successo con una verbalizzazione scritta individuale.

Se è necessario, ripetiamo più volte l'esperimento; operiamo inoltre in questo modo: quando la candela è vicina a spengersi, alziamo il becher per osservare che la combustione riprende come all'inizio. Gli alunni potranno alla fine condividere che la combustione della candela, mentre si verifica per poco tempo sotto il becher, dove c'è una quantità limitata di aria, dura a lungo in spazi aperti, fino a quando tutta la candela non si è consumata.

Effettuiamo successivamente il seguente esperimento: mettiamo sopra due piatti due candele e accendiamole; collochiamo poi sopra di esse due becher di vetro capovolti, caratterizzati da volumi diversi, ad esempio uno di 250cc, e l'altro di 1l. Dopo che gli alunni hanno osservato, si chiede innanzitutto se hanno constatato qualche differenza. Se la risposta fosse negativa anche solo per qualche alunno, è necessario ripetere l'esperimento, misurando il tempo di accensione della candela nei due casi.

A questo punto, si chiede loro di rispondere individualmente alla seguente domanda:

"Come mai la combustione della candela dura più a lungo quando il volume del recipiente di vetro capovolto è più grande?"

Le ipotesi degli alunni saranno le più diverse, ed in certi casi anche fantasiose; vi sarà chi parlerà dell'ossigeno che si è consumato, vi sarà che dirà che nel secondo recipiente vi è più

aria, ecc. Dalla discussione sarà ricavabile per tutti gli alunni *l'ipotesi che la combustione della candela avviene facilmente in ambienti aperti, dove vi è un ricambio costante di aria*. In ambienti chiusi, invece, la candela si spegne tanto più velocemente, quanto minore è l'aria a disposizione.

Chiediamo infine agli alunni di rispondere individualmente alla seguente domanda: “la presenza dell'aria, la necessità di spazi aperti è necessaria anche per le altre combustioni?”

Molto probabilmente il problema era già emerso, durante l'osservazione e la discussione degli esperimenti precedenti: ora è il momento di sistematizzare le riflessioni già fatte. Sicuramente si era già constatato che la semplice combustione della carta si verifica con modalità molto diverse, come, d'altra parte, si era constatato la necessità di ricambio dell'aria per l'innesco della carbonella, ecc.

Effettuiamo ora questo esperimento: prendiamo due fogli di carta uguali e appallottoliamo uno; reggendoli con due pinze, inneschiamoli. Risulta evidente che il foglio appallottolato, a differenza di quello disteso, brucia lentamente e ha una maggiore difficoltà di innesco.

Ragionando e discutendo con gli alunni circa questo diverso comportamento, si giunge alla conclusione che una spiegazione plausibile di questo fenomeno risiede nel fatto che il foglio disteso abbia una maggiore superficie esposta all'aria rispetto a quello appallottolato. Da cui si evince che anche il contatto combustibile-aria sia un aspetto da prendere in considerazione.

A questo punto è necessario chiedere agli alunni se la definizione di combustione ricavata precedentemente va modificata oppure no. Sarà facile arrivare a condividere che è necessario completarla in questo modo:

LA COMBUSTIONE E' QUELLA TRASFORMAZIONE CHE SI VERIFICA QUANDO UN MATERIALE, INNESCATO E IN PRESENZA DI ARIA, si consuma EMANANDO CALORE e PRODUCENDO UNA FIAMMA che diffonde la LUCE.

8. L'ARIA E' NECESSARIA PER LA RESPIRAZIONE

Chiediamo agli alunni di ipotizzare con una verbalizzazione scritta individuale che cosa succederebbe se al posto della candela mettessimo un piccolo animale, quale un criceto? Oppure che cosa succederebbe, facendo il bagno al mare, se si rimanesse sotto l'acqua per qualche minuto? Dal confronto dovrebbe essere facile arrivare alla condivisione che la respirazione è una trasformazione simile alla combustione in quanto anche essa avviene solo in presenza di aria.

Ed effettivamente esperimenti di questo tipo effettuati da vari scienziati alcuni secoli fa permisero di arrivare a questa conclusione. Riportiamo le illuminati riflessioni scritte da Lavoisier nel 1789, il padre della chimica scientifica:

“La respirazione è una delle funzioni più importanti dell’economia animale, e, in generale, essa non può essere sospesa per un certo tempo senza che la morte ne sia una conseguenza inevitabile. Tuttavia, sino a questi ultimi tempi, si è completamente ignorato qual è il suo funzionamento, quali sono i suoi effetti; e tutto ciò che è relativo alla respirazione apparteneva la numero di quei segreti che la natura sembrava essersi riservata. Il ritardo delle nostre conoscenze su un argomento così importante deriva dal fatto che esiste un concatenamento necessario nella sequenza delle nostre idee, un ordine indispensabile nel cammino dello spirito umano ...

Partendo dalle conoscenze acquisite, e riducendole a delle idee semplici, che ciascuno possa facilmente capire, noi diremo dapprima, in generale che la respirazione non è che una combustione lenta del carbone e dell’idrogeno, che è simile a tutte quelle che avvengono in una lampada o in una candela accese, e che, sotto questo punto di vista, gli animali che respirano sono delle vere sostanze combustibili che bruciano e si consumano. Nella respirazione, come nella combustione, c’è l’aria dell’atmosfera ...; ma poiché nella respirazione c’è la sostanza stessa dell’animale, c’è il sangue che fornisce il combustibile, se gli animali non acquistassero abitualmente con gli alimenti ciò che perdono con la respirazione, l’olio mancherebbe ben presto alla lampada e l’animale perirebbe, come una lampada si spegne quando essa manca di alimento

Si dirà che questa analogia che esiste tra la combustione e la respirazione non era minimamente sfuggita ai poeti, o piuttosto ai filosofi dell’antichità, della quale erano gli interpreti. Questo fuoco rubato dal cielo, questa fiaccola di Prometeo, non presenta solamente un’idea ingegnosa e poetica, è la descrizione fedele delle operazioni della natura, per lo meno per gli animali che respirano: si può dunque dire con gli antichi, che la fiaccola della vita si accende nel momento in cui il bambino respira per la prima volta, e che non si spegne che alla sua morte.

Considerando dei rapporti così felici, si sarebbe qualche volta tentati di credere che in effetti gli antichi avevano penetrato nel santuario della conoscenza più profondamente di quanto noi pensiamo, e che la favola non è veramente che un’allegoria, sotto la quale occultavano le grandi verità della medicina e della fisica.” (Lavoisier, Opere, II, pp. 688 – 692).

9. IL COMBUSTIBILE SI CONSUMA?

In tutti gli esperimenti di combustione effettuati si è constatato che il combustibile si consuma più o meno completamente; in alcuni casi, come quello dell’alcol non rimane nulla, in altri rimangono ceneri, o residui ancora più consistenti. Può darsi che il problema sia già emerso precedentemente, ora è il momento di focalizzare l’attenzione degli alunni su questo aspetto, facendo loro la seguente domanda e chiedendo loro un risposta scritta individuale: “Secondo voi, il combustibile che, durante la combustione, si consuma più o meno completamente, si consuma veramente, o semplicemente non è più visibile, si trasforma in qualcos’altro?”

Con questa ultima fase dell'attività non ci proponiamo di approfondire in modo specialistico che cosa in realtà avviene dal punto di vista chimico durante queste trasformazioni, cioè, la combinazione del combustibile con un componente dell'aria, l'ossigeno, con la produzione di altri gas, ed in particolare di anidride carbonica. Quando Lavoisier comprese ciò, fu poi in grado di individuare i concetti fondamentali della chimica, quali il *principio di conservazione della materia* (il peso dei reagenti è uguale al peso dei prodotti di reazione), realizzando così il passaggio dalla fase prescientifica a quella scientifica. Ciò che è importante è raccogliere le loro ipotesi e fare in modo che con la discussione venga problematizzata la parte di definizione di combustibile, dove si afferma che il *combustibile si consuma*, per iniziare ad andare oltre le apparenze.

Gli alunni possono essere aiutati nella loro risposta ricordando gli esperimenti con le candele e i becher. Spesso gli alunni, durante questi esperimenti, osservano la formazione di goccioline sulle pareti del becher. Se necessario ripetiamo gli esperimenti.

Questa **osservazione è importante**. L'esperimento fatto sotto un becher permette di osservare qualcosa che non si osserva (che non è proprio percepibile) quando la combustione avviene all'aperto.

E' possibile quindi fare con gli alunni due considerazioni. La prima: spesso sono gli strumenti, anche semplici, come in questo caso (bacinelle con acqua e recipienti capovolti pieni di acqua, i chimici nei secoli passati li chiamarono bagni pneumatici) che permettono di osservare (di vedere), cose che i sensi di per se non ci permettono di percepire. La seconda: la formazione di goccioline è un indizio importante che ci permette, in questo caso, non solo di andare oltre ciò che si vede, ma di iniziare a comprendere che la definizione di combustione appena ricordata non è sufficiente. Durante la combustione il consumo del combustibile è apparente, in realtà si trasforma in qualcos'altro; abbiamo constatato che si trasforma in acqua e probabilmente in altre sostanze non visibili (gassose).

Chi ritiene, inoltre, necessario che nel quaderno degli alunni ci sia la definizione presente nei libri di chimica, può darla agli alunni, mettendo in evidenza che questa definizione non è stata da loro ricavata in modo operativo ma è una nozione data dall'insegnante o ricavata da libri, da internet, ecc. (vedi ad esempio allegato 2).

LA COMBUSTIONE E' QUELLA TRASFORMAZIONE (UNA REAZIONE CHIMICA) CHE SI VERIFICA QUANDO UN MATERIALE, INNESCATO, SI COMBINA CON L'OSSIGENO E SI TRASFORMA IN SOSTANZE ANCHE GASSOSE (IN PARTICOLARE ANIDRIDE CARBONICA E VAPORE ACQUEO), PRODUCENDO CALORE E SPESSO LUCE, CIOE' LIBERANDO ENERGIA.

10. LA COMBUSTIONE E IL QUOTIDIANO. LA COMBUSTIONE E L'ENERGIA

Le attività proposte in questo paragrafo hanno un carattere diverso dalle precedenti; si tratta di attingere informazioni su importanti problematiche connesse al fenomeno della combustione ma concettualmente complesse, quali ad esempio l'energia. Le attività non hanno quindi l'obiettivo di concettualizzare queste problematiche, ma di avere un primo contatto con esse e di fornire alcune informazioni che dovranno necessariamente essere approfondite nella scuola secondaria superiore. Questa parte informativa non dovrebbe necessariamente, a nostro parere, essere affrontata nel suo insieme alla fine del percorso della combustione, nella classe terza della primaria, ma potrebbe essere distribuita negli anni successivi del primo ciclo.

E' importante che i ragazzi possano comprendere quanto è frequente, nella nostra vita quotidiana, il fenomeno della combustione; li stimoleremo quindi a riflettere e a raccogliere alcune informazioni essenziali sull'importanza dei combustibili nel rendere disponibile l'energia necessaria sia per produrre calore che per far funzionare le macchine di vario tipo, e sull'impatto nei confronti dell'ambiente, ponendo loro alcuni dei seguenti interrogativi:

- **A cosa servono i combustibili?**
- **Quali combustibili conosci, quali sono i combustibili più usati?**
- **Che relazione c'è tra combustione ed inquinamento?**

E' sempre opportuno, inoltre, sfruttare le possibilità offerte dal territorio (le vecchie carbonaie, le centrali termoelettriche, ecc.) per approfondire la conoscenza del fenomeno osservato, inserendolo nella realtà odierna.

A partire dalle riflessioni degli alunni è inoltre importante evidenziare che la combustione costituisce una delle modalità più importanti per utilizzare l'**energia racchiusa nei combustibili**, sia nel senso di impiego immediato per riscaldarsi, sia per il funzionamento di mezzi di locomozione (automobili, ecc), sia per ottenere altre forme di energia (quali l'energia elettrica attraverso le centrali termoelettriche). Uno strumento didattico molto efficace per constatare come è possibile ottenere energia elettrica è la bicicletta con la dinamo o uno strumento simile. Lo stesso principio è utilizzato sia nelle centrali idroelettriche che nelle centrali termoelettriche. Tutto ciò permette inoltre di evidenziare quanto la nostra vita dipenda dall'energia. Potrebbe anche essere interessante chiedersi se nel passato la dipendenza dell'uomo dall'energia sia stata simile o diversa. Negli ultimi cento anni si è verificato un aumento vertiginoso dei consumi energetici. L'energia che si utilizza per l'illuminazione, per il riscaldamento, per il funzionamento degli elettrodomestici, per le industrie, per le automobili, per i treni, ecc. viene ricavata in prevalenza dalla combustione dei combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale).

Ma i combustibili fossili emettono durante la combustione diversi tipi di sostanze inquinanti, determinando un sempre più preoccupante aumento dell'inquinamento atmosferico. I combustibili fossili sono, inoltre, responsabili dell'effetto serra.

Fonti energetiche alternative ai combustibili esistono da molto tempo (quali l'energia idroelettrica e geotermica); ma, negli ultimi decenni si è cercato di aumentare l'energia ricavata da altre fonti meno inquinanti, quali il vento (energia eolica) il sole (pannelli solari e fotovoltaico), ecc. Queste fonti si chiamano **rinnovabili** perché a differenza dei combustibili, non si esauriscono. Potrebbe essere interessante utilizzare dati, informazioni presenti in quotidiani o in altre fonti di informazione.

Allegato 1 EFFETTO SERRA

Si possono ricavare alcune informazioni sull'effetto serra da siti:

<http://www.ecoage.it/effetto-serra.htm>

Da milioni di anni la terra è costantemente irraggiata dalle radiazioni elettromagnetiche provenienti dal sole, che scaldano il nostro pianeta e danno origine alla vita. Quello che citiamo spesso come "il problema dell'effetto serra" è in realtà un fenomeno naturale da sempre presente sulla terra. Dall'[effetto serra](#) deriva la temperatura terrestre. Senza l'[effetto serra](#) la temperatura del globo sarebbe in media 30 gradi più fredda, ovvero oscillerebbe intorno ad una temperatura di -18° C.

Perché si parla di effetto serra? Il problema è causato dall'eccessiva presenza di questi gas nell'atmosfera tale da causare l'aumento della temperatura terrestre. I principali gas serra sono l'anidride carbonica, il metano e il vapore acqueo. Questi gas svolgono due importanti funzioni:

- Filtrano le radiazioni provenienti dal sole, evitando in tal modo di far giungere fino alla superficie terrestre quelle più nocive per la vita.
- Ostacolano l'uscita delle radiazioni infrarosse. I raggi solari rimbalzano sul suolo terrestre dirigendosi nuovamente verso l'alto. I gas serra presenti nell'atmosfera impediscono la loro completa dispersione nello spazio, facendoli nuovamente cadere verso il basso. Come una gigantesca serra.

Le responsabilità dell'uomo. Le emissioni di anidride carbonica sono il principale nemico da combattere. L'80% delle emissioni di anidride carbonica proviene dalla combustione del petrolio, del metano e del carbone. Un inquinamento cresciuto esponenzialmente con l'industrializzazione delle attività umane. Nel novecento, il livello di anidride carbonica (CO₂) in atmosfera è aumentato del 40% rispetto al secolo precedente come conseguenza dello sviluppo dei trasporti (in particolare l'invenzione dell'automobile come bene di massa).

Il problema dell'[effetto serra](#) si aggrava ulteriormente considerando la terra come "sistema complesso". **La CO₂ ha una durata media in atmosfera di circa 100 anni.** Se pure smettessimo oggi di produrre emissioni di CO₂ non riusciremmo comunque a ridurre in breve tempo la presenza di anidride carbonica nell'atmosfera. Le reazioni dell'ambiente sono quindi discontinue e irreversibili e non mostrano immediatamente i loro reali effetti o conseguenze. Si accentuano i fenomeni meteo estremi come gli uragani, le tempeste e le inondazioni. Nessuno però può dire con certezza quali siano le reali conseguenze a livello planetario. Un motivo in più per affrontare con estrema urgenza il problema.

<http://www.legambiente.it/temi/clima/effetto-serra>

È un fenomeno naturale che consiste in un riscaldamento del pianeta per effetto dell'azione di schermatura ad opera di alcuni gas presenti in atmosfera, i cosiddetti gas a effetto serra. Questi gas agiscono come una vera e propria serra,

trattenendo una parte delle radiazioni solari che una volta entrate in atmosfera rimbalzano sulla superficie terrestre per tornare nello spazio. Un effetto estremamente utile per la Terra in quanto permette di trattenere il calore necessario allo sviluppo delle forme di vita. Senza questo la temperatura media del Pianeta sarebbe di 19°C sotto lo zero.

Negli ultimi decenni tuttavia l'effetto serra si è notevolmente intensificato a causa delle attività umane che, generando enormi quantità aggiuntive di gas serra, hanno provocato un rapido incremento della temperatura media del globo. L'uso di fonti fossili come carbone, gas e petrolio; le attività industriali e la deforestazione hanno causato un'autentica impennata delle emissioni di gas serra come il metano, il protossido d'azoto, e l'anidride carbonica (CO₂). Quest'ultima in particolare è prodotta in tutti i fenomeni di combustione utilizzati per le attività umane ed è la principale imputata del cosiddetto 'riscaldamento globale. Basti pensare che a inizio secolo la concentrazione di anidride carbonica in atmosfera era di 290 ppm (parti per milione), oggi supera le 380 ppm. Si calcola che nei prossimi 35 anni la temperatura media del Pianeta possa aumentare di oltre due gradi, rispetto ai livelli pre industriali. Una variazione che può provocare enormi problemi: l'estensione delle zone aride verso nord, l'innalzamento del livello del mare dovuto allo scioglimento dei ghiacciai e sconvolgimenti climatici di grande portata.

In assenza di misure efficaci, tra le possibili previsioni per i prossimi decenni sembra inevitabile che:

- tempeste e inondazioni si abatteranno con sempre maggior intensità sulle zone costiere del mondo intero provocando lo spostamento di milioni di persone;
- il riscaldamento del clima modificherà le zone forestali e le zone umide causando danni, a volte irreversibili, all'intero ecosistema;
- il riscaldamento globale provocherà l'innalzamento del livello dei mari mettendo a rischio le popolazioni costiere; le infiltrazioni di acqua salata a livello costiero dovute all'innalzamento del livello dei mari diminuiranno la qualità e disponibilità di acqua dolce e potabile;
- le condizioni climatiche, modificate dal caldo e dall'umido, potranno far insorgere nuove forme patologiche ed accelerare la propagazione di malattie infettive come la malaria e la febbre gialla; a causa delle pratiche agricole non sostenibili e della progressiva avanzata dei deserti,
- numerose aree del nostro pianeta diverranno improduttive ed inospitali a causa delle pratiche agricole non sostenibili e della progressiva avanzata del deserto.

Ciascuno di questi scenari comporterà conseguenze disastrose per il pianeta, conseguenze che potranno essere aggravate da fattori socio-economici e dall'impatto che movimenti di popolazione

<http://www.ambiente.rai.it/dl/portali/site/articolo/ContentItem-360cccab-0059-412e-86a3-fe2df67cefee.html>

Quali sono gli effetti dell'attività umana su questo fenomeno naturale?

Se prima della Rivoluzione industriale l'uomo rilasciava ben pochi gas in atmosfera, oggi fattori come la crescita della popolazione, l'utilizzo dei combustibili fossili e la deforestazione stanno poco a poco modificando la concentrazione dei gas serra nell'aria, determinando un eccesso in qualità e quantità di sostanze come l'anidride carbonica e il gas metano. Il risultato che ne consegue è l'alterazione del delicato equilibrio climatico che regola la temperatura terrestre e il riscaldamento globale del pianeta.

Il cambiamento climatico, già in atto secondo la maggioranza degli studiosi, avrà implicazioni significative sulla salute dell'uomo e sull'integrità dell'ambiente influenzando fortemente l'agricoltura, la disponibilità delle acque, la biodiversità, il fabbisogno di energia (ad esempio per il riscaldamento o il raffreddamento) e la stessa economia. Un primo tentativo di limitare l'alterazione climatica indotta dall'uomo è il Protocollo di Kyōto, il trattato internazionale sottoscritto nel 1997 (ed entrato in vigore nel 2005) da più di 160 paesi per definire misure concrete contro il riscaldamento globale.

Tale Protocollo impegna i Paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione (i Paesi dell'est europeo) a ridurre - nel periodo 2008-2012 - del 5% circa le emissioni antropogeniche di gas capaci di alterare il naturale effetto serra. I gas serra presi in considerazione dal Protocollo sono: anidride carbonica, metano, protossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo.

Purtroppo non tutti gli Stati hanno aderito al Protocollo: gli Stati Uniti, responsabili del 30 per cento circa del totale delle emissioni prodotte dai paesi industrializzati, hanno firmato ma poi rifiutato di ratificare il trattato. Per i paesi di nuova industrializzazione il Protocollo non prevede alcun obiettivo di riduzione. Cina, India e altri paesi in via di sviluppo infatti sono stati esonerati dagli obblighi perché non ritenuti tra i principali responsabili delle emissioni "storiche" di gas serra (cioè quelle che permangono in atmosfera da circa un secolo e che sono all'origine dell'attuale cambiamento climatico). I paesi non aderenti sono responsabili del 40 per cento circa dell'emissione mondiale di gas serra

Avendo consultato alcuni libri e internet abbiamo trovato una definizione di combustione di questo tipo:

LA COMBUSTIONE E' QUELLA TRASFORMAZIONE (UNA REAZIONE CHIMICA) CHE SI VERIFICA QUANDO UN MATERIALE, INNESCATO, SI COMBINA CON L'OSSIGENO E SI TRASFORMA IN SOSTANZE ANCHE GASSOSE (IN PARTICOLARE ANIDRIDE CARBONICA E VAPORE ACQUEO), PRODUCENDO CALORE E SPESSO LUCE, CIOÈ LIBERANDO ENERGIA.

Questa definizione è in parte diversa da quella che avevamo precedentemente ricavato osservando e confrontando alcuni esperimenti di combustione. Anche l'uomo aveva conoscenze simili alle nostre fino a poco tempo fa (fino alla fine del Settecento), nonostante che la combustione sia una delle trasformazioni più importanti per la vita degli uomini da tempi lontanissimi, dalla scoperta del fuoco in poi. Alcuni di noi durante gli esperimenti con le candele avevano detto che le candele si spengono perché l'ossigeno si consuma. Avevano detto ciò non perché avevano visto l'ossigeno, ma perché era una nozione che sapevano. La comprensione completa di questa trasformazione sarà possibile nella scuola secondaria di secondo grado con esperimenti e ragionamenti più complessi.

La comprensione effettiva del ruolo dell'aria nei processi di combustione fu, non solo, una delle più grandi conquiste dell'umanità, ma costituì per la chimica un passaggio cruciale dalla fase prescientifica alla fase scientifica. E tutto questo lo si deve principalmente a un uomo: Lavoisier, il padre della chimica moderna.