

From Faraday's candle to today's STEM: some suggestions for teachers

Pietro Cerreta¹

¹Associazione ScienzaViva, Calitri (Av), p.cerreta13@gmail.com.

Abstract: According to Faraday, there was nothing more instructive than a burning candle for the juvenile audience of his time. This topic can still be educational for our pupils if we actualize some of its phenomena. First, let us expose the flame of a candle to the rays of the sun, or put it in front of the light of a video projector: we will show that on a screen made of a white sheet of paper not only the trace of the convective motions of the air heated by the flame will appear, but also something curiously opaque at the tip of the flame itself: the black smoke that radiates the light. Moreover, let us cut the flame horizontally at different heights employing a thin wire gauze: we shall see that the flame is hollow and that during combustion a white vapor of melted wax comes out from its interior, while higher up we would get black smoke. Of equal interest in the meantime will be noting the automatic cooling of the outer edges of the candle, the separation of the melted wax from the flame, the necessity of a plaited wick for it to feed by capillarity by drawing from the cup below, the water vapor and carbon dioxide as products of combustion, and the similarity of this to human respiration. Topics that interconnect physics, chemistry, technology, and biology as Faraday wanted are suitable for teachers who prefer STEM teaching.

Keywords: Faraday, Candle, STEM, Teachers

1. Un intreccio tra teoria e pratica

Da una ventina d'anni a questa parte, parlando di didattica delle scienze, anche noi in Italia abbiamo cominciato a porre l'attenzione sulle cosiddette discipline STEM, un acronimo coniato negli Stati Uniti che invita a considerare nell'insieme, quasi come un tutt'uno, Scienze, Tecnologia, Ingegneria e Matematica, piuttosto che vederle ancora separate come eravamo da sempre abituati. La necessità di questo nuovo approccio, dice il Ministero dell'Istruzione in una recente circolare, deriva:

dal presupposto che le sfide di una modernità sempre più complessa e in costante mutamento non possono essere affrontate che con una prospettiva interdisciplinare, che consente di integrare e contaminare abilità provenienti da discipline diverse (scienza e matematica con tecnologia e ingegneria) intrecciando teoria e pratica per lo sviluppo di nuove competenze, anche trasversali. ([Ministero dell'Istruzione e del Merito, 2023](#), p.2)

In termini più elementari, l'atteggiamento auspicato dalla nota ministeriale propone anche in Italia, come avviene in tanti Paesi che hanno accettato tali novità, un sapere scientifico arricchito dal ben saper fare, sia con le mani che con le apparecchiature di ogni tipo.

È interessante osservare che, nel prosieguo del testo ora citato, i dirigenti del Ministero propongono addirittura un'estensione di tale prospettiva e aggiungono che:

la storia della scienza, le civiltà classiche, la grammatica latina, possono... contribuire allo sviluppo delle conoscenze matematiche, scientifiche, tecnologiche nonché delle competenze attese dalle discipline STEM, in una visione armonica della formazione dei giovani e in un orizzonte di unitarietà della cultura. Per questo si è passati dal paradigma STEM a quello olistico di STEAM. ([Ministero dell'Istruzione e del Merito, 2023](#), p.2)

Un segno palese che tale approccio - interdisciplinare nonché tecnicamente esperienziale - è diventato ormai comune anche nel nostro continente è, ad esempio, il fatto che al Festival Europeo di *Science on Stage* i docenti di materie scientifiche possono presentare solo progetti coerenti con esso. Lo mostra, appunto, la specifica indicazione STEM o STEAM in ciascuno dei temi-guida predisposti dagli organizzatori per la selezione internazionale dei concorrenti a tale manifestazione, che si è svolta qualche mese fa a Turku, in Finlandia.

Nel prendere atto del progressivo affermarsi di questa nuova tendenza educativa, mi è venuto in mente l'atteggiamento pedagogico analogo, proposto da Faraday nelle sue sei lezioni-spettacolo sulla "Storia chimica di una candela" da lui svolte per il pubblico giovanile nella Royal Institution di Londra, durante il periodo natalizio tra il 1860 e 1861.

Secondo il celebre chimico-fisico inglese, la candela che arde, benché ovvia nella sua semplicità, costituiva in realtà uno strumento didattico eccezionale per le seguenti ragioni:

Non c'è una sola legge, secondo la quale sia governata una qualsiasi parte di questo universo, che non entri in gioco e sia coinvolta in tali fenomeni¹. Non esiste una porta migliore e più ampia, attraverso la quale potete entrare nello studio della filosofia naturale², di quella che porta a considerare i fenomeni fisici che avvengono in una candela. (Faraday, 2009, p. 5)

Mi chiedo, allora, se non sia il caso di suggerire ai moderni insegnanti STEM di ricorrere proprio ai vari espedienti strumentali di cui Faraday decise di servirsi più di centosessanta anni fa al fine di stimolare la meraviglia e la curiosità scientifica nei ragazzi londinesi. Stratagemmi che i docenti di oggi potrebbero adoperare esattamente allo stesso modo per introdurli nell'intreccio delle diverse leggi naturali vigenti nei pochi centimetri cubici che circondano la candela e che la rendono tanto singolare e bella. D'altra parte, i materiali di cui si serviva Faraday, quasi tutti di facile reperibilità, messi nelle mani degli alunni odierni, addestrerebbero questi ultimi all'uso progressivo dell'ingegno pratico a cui s'ispira la filosofia STEM, cioè al saper fare usando opportune attrezzature, recuperando la manualità che purtroppo è diventata spesso estranea alle loro abitudini quotidiane. Adottare lo stile di Faraday, dunque, consentirebbe agli studenti di imparare come costringere la natura a rivelare ogni singola legge che regola i suoi fenomeni. Nello stesso tempo costituirebbe un utile ponte armonico con la storia della scienza, come raccomanda tra l'altro il Ministero dell'Istruzione.

Rivisitando alcune delle lezioni più affascinanti della "Storia chimica di una candela" (Cerreta, 2024), mi auguro di dimostrare qui di seguito in che modo ciò potrebbe essere attuato.

2. Il bordo, la cosa più bella in una candela

Tra i primi argomenti affrontati da Faraday nelle sue conferenze c'è quello dell'alimentazione della fiamma. Dopo che con un fiammifero si dà fuoco allo stoppino di cotone, a mantenere viva la fiamma è la cera da questa stessa disciolta. Non appena fusa, la cera scorre in una piccola concavità che si crea in modo spontaneo intorno allo stoppino: una sorta di ciotola capace di raccoglierla, mancando la quale, essa colerebbe in basso per gravità, senza giungere, in alto, al luogo della combustione. È sorprendente che la cera fusa abbia modo di salire, per capillarità, attraverso lo stoppino che regge la fiamma, proprio grazie alla spontanea formazione di questa ciotola.

È dunque l'automatismo della ciotola, per fortuna, a venirci incontro. Vediamo meglio come.

Non appena si accende la candela, l'aria che circonda la fiamma si riscalda e comincia a salire verso l'alto, per convezione, richiamando così aria fresca dal basso. Quest'aria

¹ La complessità dei fenomeni.

² L'interdisciplinarietà delle materie di studio.

fresca, mentre ascende lungo la superficie cilindrica della candela, ne raffredda il bordo superiore e lo irrigidisce, rendendolo cioè più resistente al calore: sicché - ad una certa distanza dal lucignolo - in modo progressivo prende forma una barriera circolare di contenimento, spesso qualche millimetro, in cui va a fermarsi il combustibile che è in via di liquefazione.

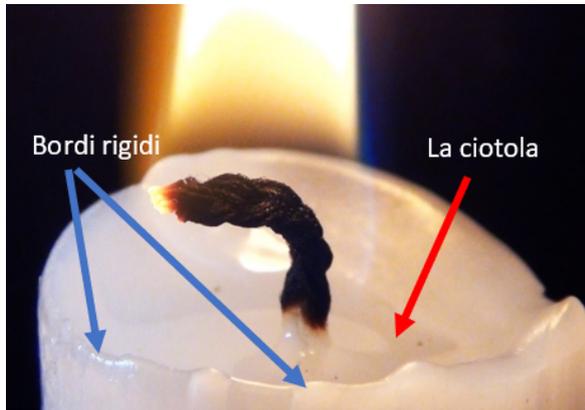


Fig. 1: Nella candela si producono bordi rigidi che consentono la formazione della ciotola, in cui lo stoppino intrecciato pesca la cera fusa, cioè il liquido destinato ad alimentare la fiamma.

Da quest'ultimo la fiamma attinge quell'alimento ad essa necessaria per mantenersi in vita. Lo fa, come s'è detto, per capillarità, magari attraverso uno stoppino appositamente intrecciato (Fig. 1) che favorisce ancor più l'ascesa del liquido verso l'alto, mentre, via via nel frattempo, la cera solida circostante continua a sciogliersi al calore che la fiamma stessa sviluppa. Insomma, la ciotola (Fig. 1) di una candela si forma grazie al naturale raffreddamento del bordo di quest'ultima, per cui c'è una netta differenza strutturale tra essa e il contenitore solido appositamente predisposto per il funzionamento di una lampada ad olio. Ciò che meraviglia Faraday, e che in definitiva vuole che gli astanti apprendano dal suo discorso, è che le

fiamme delle candele:

rimangono confinate sopra il liquido sottostante e non invadono la concavità ai bordi. Non posso immaginare un esempio più bello di capacità di adattamento, di quello in base al quale una candela mette una parte a disposizione dell'altra fino alla fine della sua attività. Un combustibile come questo, che brucia lentamente senza mai disturbare la fiamma, è uno spettacolo molto bello, soprattutto quando arrivate a imparare che cosa potente è una fiamma, quale forza ha di consumare la cera quando la lambisce e di cambiarne la forma se sola le si avvicina troppo. (Faraday, 2009, p. 23)

Ecco perché lo scienziato, affascinato da questo concorso di adattamenti, armonici e spontanei, fornito da agenti vari nella produzione della fiamma, giunge infine ad affermare che il bordo, per lui, è "la cosa più bella in una candela". Lo spiega così ai suoi giovani ascoltatori: "Spero che adesso comprenderete che la perfezione di un processo, consistente nella sua utilità, rappresenta il suo aspetto più bello. Non è la cosa più bella da vedere, ma è quella che funziona meglio, che per noi è la più conveniente" (Faraday, 2009, p. 23). Su quella cosa che, per lui, "funziona meglio", a parer mio oggi può essere interessante soffermarsi in una prospettiva didattica STEM.

3. L'ombra della fiamma

La candela illumina: ma come è fatta la sua fiamma e perché è luminosa?

Per cominciare a dare un'idea ai ragazzi di ciò che c'è dentro la fiamma e non si vede ad occhio nudo, Faraday mostra innanzitutto un disegno realizzato da Hooke³ (Fig. 2) e, benché questo si riferisca al funzionamento di una lampada ad olio, egli non ha scrupolo ad utilizzando poiché lo "si può applicare anche alla fiamma di una candela" (Faraday, 2009, p. 23). Tra le parti dell'atmosfera che in questo disegno avvolgono la fiamma, a Faraday preme segnalare senz'altro la corrente ascendente dei moti convettivi lì rappresentata con linee fittissime: è essa che fa stendere la sua punta verso l'alto. Ma, più di ogni altra cosa, gli preme sottolineare la

³ Nel testo di Faraday, per la precisione, il nome che compare è Hooker. Studi successivi hanno però provato che si trattò di un errore originario di trascrizione: in realtà, l'autore a cui egli si riferisce è Robert Hooke (1635-1703) e l'immagine da lui mostrata è quella pubblicata nel libro di questi dal titolo *Lampas* del 1677 (James, 2011, p. xxvii) qui riportata in Fig. 2.

presenza al centro della figura di una forma scura, affusolata, che circonda il lucignolo (Fig. 2).

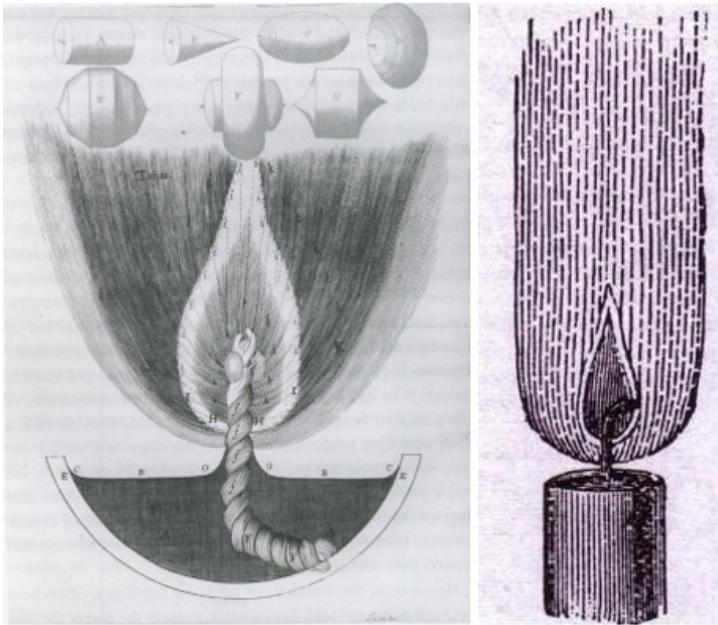


Fig. 2: (a) L'immagine disegnata da Hooke. (b) quella simile, rielaborata dal grafico che assisteva alle lezioni e poi riprodotta nel libro di Faraday

Per osservare direttamente quest'ultima, Faraday suggerisce subito ai ragazzi cosa fare: una volta a casa “potete vederla prendendo una candela accesa e mettendola al sole, in modo da proiettare la sua ombra su un foglio di carta” (Faraday, 2009, p. 33)⁴. Ma prima che tornino a casa, poiché in un ambiente chiuso, com'è quello in cui sta svolgendo la lezione, non può entrare la luce del sole, il conferenziere cerca di non deludere la loro attesa. Ha già preparato per loro, lì presenti, una elegante dimostrazione pratica: “Adesso imiterò la luce solare collegando la batteria voltaica alla lampada elettrica” (Faraday, 2009, p. 33) con una lampada ad arco. Faraday, a questo punto, dopo aver eseguito l'esperimento che conferma

le sue ipotesi sulle macchioline scure al centro della fiamma, non trattiene l'emozione e rivela tutta la sua meraviglia al riguardo, pronunciando la seguente frase, in seguito diventata famosa:

È sorprendente notare che una cosa sufficientemente luminosa da produrre le ombre di altri oggetti, è in grado di proiettare la propria ombra su un pezzo di carta bianca, di modo che potete realmente vedere fluire intorno alla fiamma qualcosa che non è parte della fiamma, ma che è ascendente e trascina la fiamma verso l'alto (Faraday, 2009, p. 33).

Si badi che la lampada elettrica usata da Faraday non è ancora quella ad incandescenza di Edison. Verosimilmente, per la potenza chiamata ad erogare, si tratta di una lampada ad arco voltaico adattata con una lente di Fresnel a mo' di proiettore (Fig. 3), come nei fari (Faraday, 1860, p.168). La lampada ad arco voltaico era stata realizzata all'inizio dell'ottocento da Humphry Davy (1778-1829), lo scienziato che aiutò Faraday a diventare protagonista della scienza sperimentale.

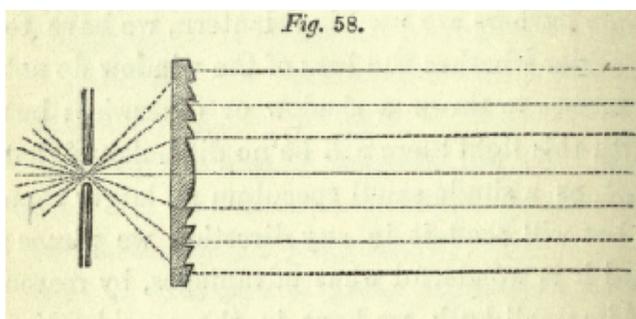


Fig. 3: Lo schema del proiettore di Faraday costituito da una lampada ad arco e una lente di Fresnel.

Qui di seguito vengono presentate due fotografie dell'ombra della fiamma prodotta da una candela: a sinistra, quella ottenuta con la luce diretta del sole e a destra quella che si acquisisce orientando sulla fiamma il fascio luminoso di un moderno videoproiettore, in un luogo chiuso, secondo la modalità adottata da Faraday nel corso della sua lezione.

Nella Fig. 4a, la candela accesa è illuminata dal sole ed è posta a breve distanza da uno schermo sul quale si distingue molto bene l'ombra della sua fiamma nonché l'ovale

⁴ Dal Codice Atlantico, sappiamo che Leonardo usò la stessa tecnica (Cerreta, 2012, p. 69), ma per Faraday non si tratta di plagio.

scuro allungato verso l'alto dalla corrente di aria calda circostante descritta sia da Hooke che da Faraday il quale dice: "qualcosa che non è parte della fiamma, ma che è ascendente e trascina la fiamma verso l'alto", come abbiamo visto in precedenza.

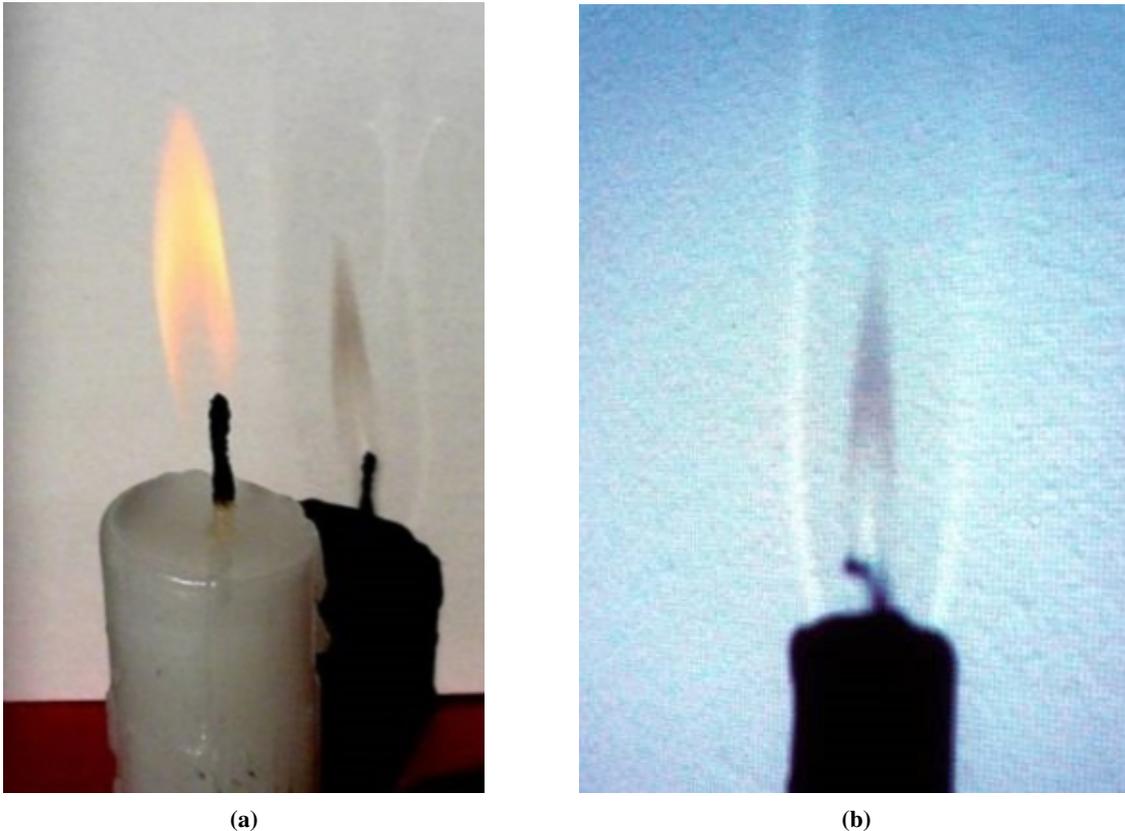


Fig. 4: (a) La fiamma messa al sole: la sua ombra proiettata su un foglio di carta. (b) Ombra della fiamma ottenuta quando essa è esposta alla luce di un videoproiettore. Si notino le due striscioline chiare e simmetriche, emergenti come un calice, ai lati dell'ombra.

Nella Fig. 4b, si vede invece l'immagine dell'ombra della fiamma ottenuta sulla parete di una stanza chiusa dopo aver illuminato la candela con la lampada di un videoproiettore. Sicché qui, ora, oltre alla forma affusolata dell'ombra centrale, risaltano due striscioline chiare, simmetriche, risultanti dalla rifrazione della luce attraverso i filetti fluidi della suddetta aria fresca proveniente dal basso e che scorre verso l'alto. Filetti che qui si comportano con la luce che l'attraversa come lenti convergenti, perciò appaiono più chiari, a causa della loro maggiore densità rispetto all'aria calda prossima alla fiamma.

4. Cosa c'è dentro la fiamma?

Un ulteriore passo sperimentale, compiuto da Faraday davanti al suo pubblico, fu quello teso ad indagare il perché la fiamma, di per sé così brillante, si mostrava poi opaca alla luce del sole o di un proiettore. Per esplorarne il contenuto, egli pensò che fosse il caso di tagliarla a diversi livelli con una reticella metallica, per vedere cosa ne usciva fuori. Ebbe, così, l'ulteriore sorpresa di veder emergere dal suo interno un sottile flusso di fuliggine, fatta di granellini piccolissimi di carbone capaci di sporcare il palmo della mano, se fatto passare proprio sulla punta della fiamma. Se oggi, seguendo l'esempio dello scienziato, tagliamo la fiamma con un comune "spargifiamma", possiamo verificare noi stessi, direttamente, cosa si presentò agli occhi del suo pubblico (fig. 5a).

Quel che vediamo è, insomma, una colonnina di fumo nero, tecnicamente detto nerofumo. Esso

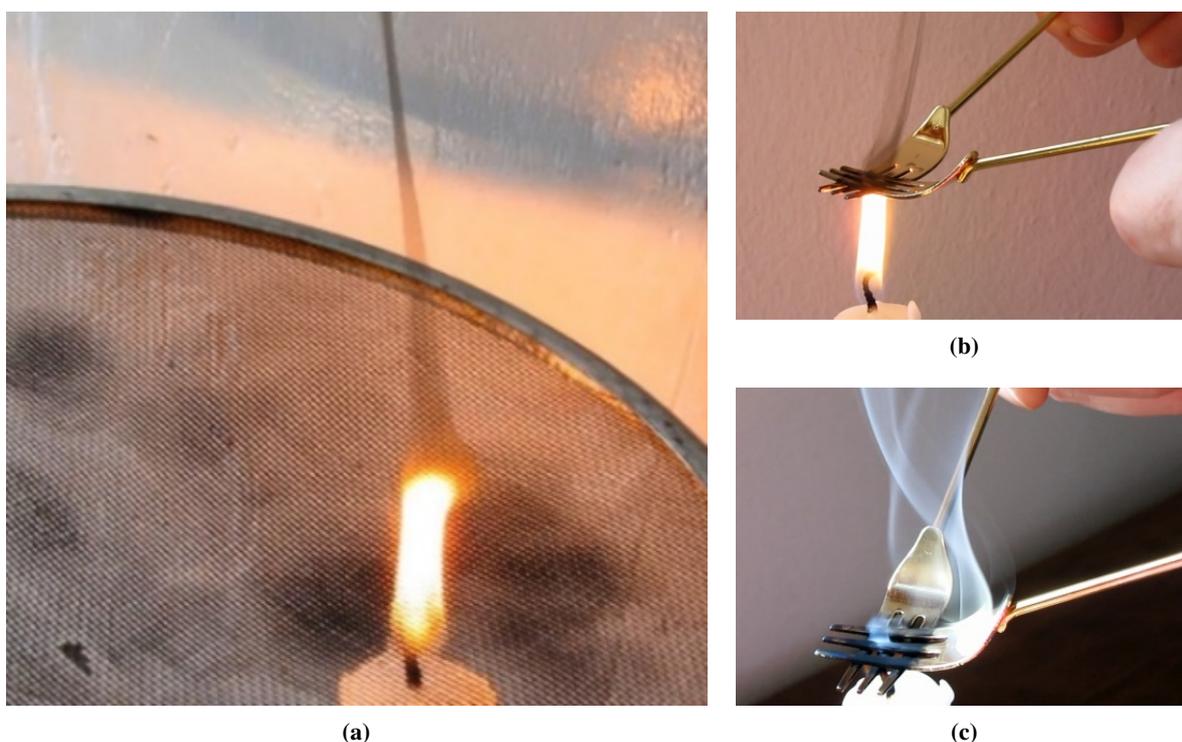


Fig. 5: (a) Nerofumo, o fuliggine, che fuoriesce dalla fiamma, se la si taglia con una reticella. (b,c) Nerofumo e vapore di cera uscenti a diversi livelli dalla fiamma con due forchettine incrociate.

esce fuori dalla fiamma non appena questa viene interrotta dalla reticella inserita in orizzontale al suo interno. Questo oggetto, essendo metallico, “ruba” calore alla fiamma e, a quel livello, interrompe il processo di combustione in atto. Se il taglio avvenisse invece più in basso, all’altezza della punta dello stoppino, ad esempio, vedremmo fuoriuscire un flusso di fumo bianco, cioè di vapore di cera, segno che la combustione vera e propria lì non è ancora cominciata. Per mostrarlo ai ragazzi, volendo, possiamo usare anche due forchettine incrociate (Fig. 5b, 5c).



Fig. 6: Il giallo e il blu della fiamma di una candela.

notiamo: dove c’è il giallo, la candela si comporta come una “lampada ad incandescenza”, mentre dove c’è il blu, essa è come una sorta di “lampada fluorescente” (la luce blu, infatti, proviene da frammenti instabili di molecole di cera e non dalla radiazione di corpo nero). In definitiva, con la candela, gli insegnanti STEM, interessati come sono ad evidenziare nelle materie di studio gli aspetti della complessità e

Faraday, entusiasta, ora si chiede: “Non è magnifico capire cosa stia avvenendo in un tale processo, e in quale modo cose sporche come il carbone possano diventare così incandescenti?” (Faraday, 2009, p.65). È, dunque, il nerofumo prodotto all’interno della fiamma che, diventato incandescente, la fa diventare luminosa. Egli dimostra subito dopo che, tuttavia, non in tutte le fiamme c’è nerofumo. Ad esempio, non ce n’è in una fiamma alimentata ad alcool perché questo contiene poco carbonio. Infatti un batuffolo di cotone impregnato di alcool, una volta acceso, produce una luce molto tenue, quasi invisibile! (Faraday, 2009, p.71)

Osservando da vicino una candela che arde (Fig. 6) oggi potremmo riassumere così ciò che

dell'interdisciplinarietà, potrebbero segnalare in questo caso l'intreccio tra fenomeni luminosi diversi che qui è in atto.

5. Che fine fa la materia di cui è composta una candela?

“La candela - dice Faraday - se brucia correttamente, sparisce senza lasciare traccia di sporcizia nel portacandele e questo è un fatto molto singolare” (Faraday 2009, p. 45).

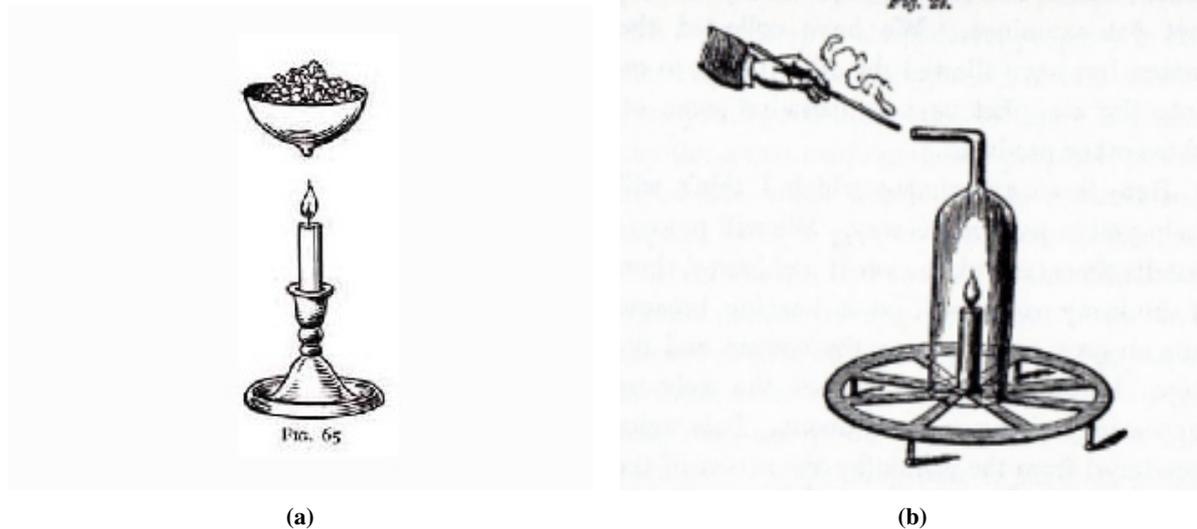


Fig. 7: (a) La condensazione del vapore acqueo sotto un recipiente contenente del ghiaccio. (b) La produzione di anidride carbonica verificata mediante lo spegnimento di una fiammella

La materia della candela sembra davvero “sparire” perché, bruciando, si trasforma in vapor d’acqua e anidride carbonica che son cose non percepibili ad occhio nudo. Il conferenziere ha il compito quindi di allestire delle esperienze concrete che di ciò diano conto. Vediamo le due scelte da Faraday. La prima appartiene ormai ad una pratica didattica abbastanza nota e della quale, secondo me, l’immagine di Fig. 7a esplicita bene il risultato voluto: il vapor d’acqua che fuoriesce dalla fiamma si condensa sulla superficie inferiore di una coppa contenente ghiaccio e, dopo un po’, comincia a gocciolare, palesando così la sua presenza. La seconda, d’altro canto, consente di risalire in via indiretta alla presenza di anidride carbonica nella fiamma mediante un curioso dispositivo da lui inventato (Fig. 7a). Faraday, infatti, accende un fiammifero davanti al collo angolato di una bottiglia di vetro, in cui è stata collocata la candela accesa, e fa notare al pubblico che la sua fiammella dopo un po’ si spegne.

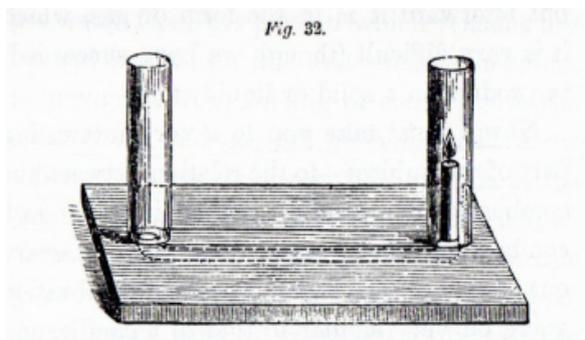


Fig. 8: L'apparecchio di Faraday

Ciò vuol dire che in detta corrente, oltre all’aria calda, sale veramente dell’anidrite carbonica: infatti solo l’intervento di tale gas potrebbe spiegare l’estinzione della fiammella in quel modo. “Il mio alito spegnerà quella candela!” (Faraday, 2009, p. 223): così lo scienziato infine annuncia agli astanti uno degli ultimi e forse il più educativo esperimento in stile STEAM delle sue lezioni.

“In tutti noi c’è un processo vitale di combustione - egli dice - che avviene in modo molto simile a quello di una candela. Il rapporto fra la vita dell’uomo e una candela è

vero non soltanto in senso poetico; se mi seguirete, credo di potervelo chiarire... ho inventato un piccolo apparecchio...” (Faraday, 2009, p.221).

Con il dispositivo di Faraday (Fig. 8), infatti, se uno alita nel tubo vuoto, che è a sinistra, grazie ad un tubicino di collegamento infilato nel supporto di legno, riesce a spegnere la candela posta a destra. Ergo: nell’alito umano c’è anidride carbonica! La somiglianza tra il respiro umano e il funzionamento di una candela mostra in tal modo un intreccio concettuale tra fisica, chimica, tecnologia e biologia. E le parole conclusive di Faraday, allora pronunciate, credo che valgano tuttora come valido augurio per i ragazzi che seguono un percorso STEM:

“tutto quello che posso dirvi alla fine di queste conferenze... è che voglio esprimere il mio desiderio che voi possiate, nella vostra vita, essere paragonati ad una candela... che possiate brillare come essa, come una luce che illumini quelli che vi circondano”. (Faraday, 2009, p. 241)

L’unico problema è che oggi la candela non costituisce più, per i nostri ragazzi, la più importante sorgente di luce.

Bibliografia

- Cerreta, P. (2012) “La candela di Faraday, un bell’esempio di diffusione della cultura Scientifica”, *Giornale di Fisica*, 53(1), pp. 59-90.
- Cerreta, P. (2024), “La storia chimica di una candela di Faraday”. Disponibile su youtu.be (Accesso 7 Ottobre 2024).
- Faraday M. (1860), *A Course of 6 lectures on the various forces of matter and their relations to each other*. London: Griffin.
- Faraday, M. (2009), *La storia chimica di una candela. Sei lezioni di Chimica alla Royal Institution*. A cura di P. G. Albertazzi, Treves Editore.
- James, F.A.J.L. (2011). “Introduction”, in Faraday, M. *The chemical history of a candle*. New York: Oxford University Press.
- Ministero dell’Istruzione e del Merito (2023), “Linee guida per le discipline STEM”. Disponibile su: miur.gov.it (Accesso 7 ottobre 2024).