

FISICA DELLA CANDELA 1



*The guiding motto in the life of every
natural philosopher should be:
Simplicity and distrust it!
[Alfred Whitehead]*

A cura di Ledo Stefanini

Osservazioni geometriche

- Le candele hanno sempre forma cilindrica con un asse di simmetria rappresentato dallo stoppino.
- Le candele hanno dimensioni standard, con diametro nell'intervallo che va da 1 (circa) a 4 cm.
- Nel caso di diametri maggiori (candele votive) ciò che aumenta non sono le dimensioni della fiamma, ma solo la sua durata temporale. In altri termini, per realizzare una candela che arda a lungo, si può fare una candela di spessore normale molto lunga, oppure una candela corta, ma di diametro maggiore. Ciò che importa è il volume del cilindro.

Possiamo dire che tra il diametro d e l'altezza h di un insieme di candele di fissata durata sussiste la relazione

$$d^2h = \text{costante}$$

- Le candele sono rettilinee e funzionano correttamente solo in posizione verticale. Se si inclina una candela, la fiamma rimane verticale.

Funzionamento

- Il calore sviluppato dalla fiamma sale solo verso l'alto, come si può accertare ponendo una mano sulla verticale della fiamma, anche a grande distanza. Per contro, è possibile avvicinare un dito fino a poca distanza dallo stoppino, purché sia al di sotto della fiamma.
- Le dimensioni della fiamma dipendono solo dalla lunghezza dello stoppino che emerge dalla cera.
- La candela deve essere “innescata”; una volta accesa, la combustione di mantiene da sé.
- Se si interrompe la combustione per un momento, la candela rimane spenta.

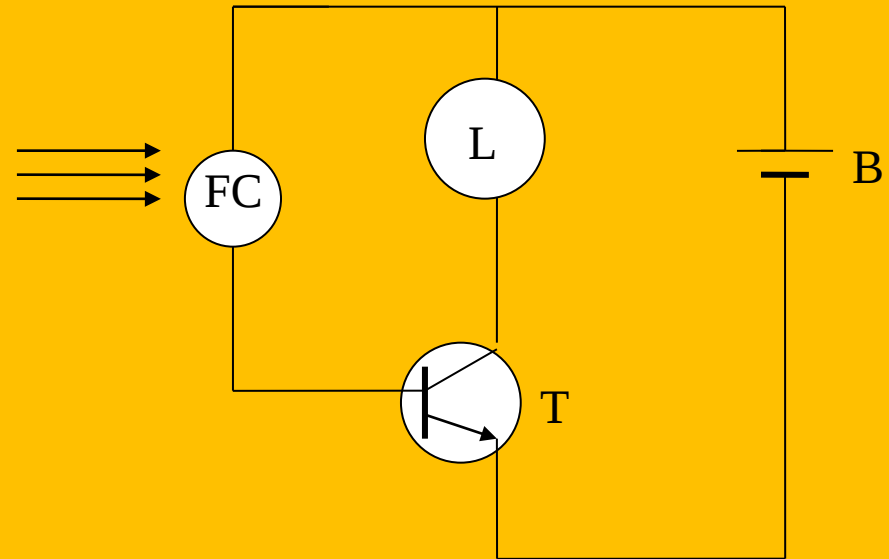
- Per spegnere la candela, basta soffiare sulla fiamma. La cosa è abbastanza sorprendente, perché soffiare su un braciere di legna o carbone è un modo per ravvivare la fiamma. D'altra parte è noto che la presenza di vento rende molto più difficile spegnere un incendio.
- La candela si può spegnere con la tecnica che diremo “del sagrestano”: si copre per un momento la fiamma con una sorta di cappuccio a forma di cono.
- Una tecnica di spegnimento è la seguente: si applica allo stoppino, sotto la fiamma. Una molletta metallica, di quelle che si usano per tenere i capelli.

Osservazioni sul funzionamento

- Le tecniche di accensione e di spegnimento hanno in comune il fatto che si applicano solo per un tempo brevissimo: la combustione, una volta innescata, si mantiene; una volta interrotta, non riprende da sola.

Una 'candela elettronica'

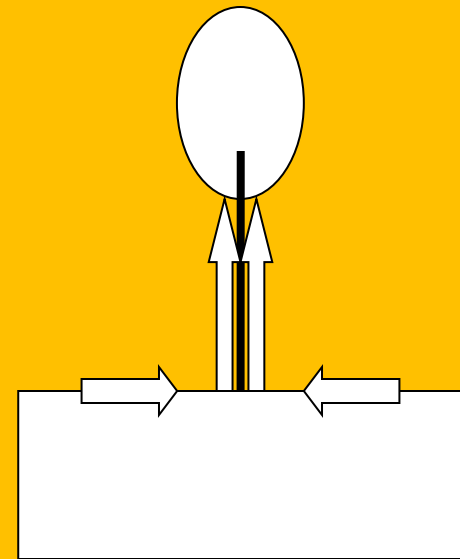
- FC = Fotocellula
- T = Transistor
- L = Lampada
- B = Batteria
- Se illuminiamo la fotocellula la lampadina si accende; si spegne quando è in ombra.



Feed-back positivo

- Poniamo la lampada di fronte alla fotocellula. Basta illuminare la FC per un attimo (per es. con un cerino) e la lampada si accende. Rimane accesa anche quando si allontana la sorgente di innesco.
- Basta coprire per un attimo la FC per provocare lo spegnimento della lampada.

- La combustione avviene sulla parte superiore dello stoppino. La cera fonde alla base e sale per capillarità lungo lo stoppino. Ad un certo punto la temperatura è abbastanza alta da provocare la vaporizzazione della cera per cui nella parte alta si forma una miscela di due gas: ossigeno e paraffina sotto forma di vapore, ad alta temperatura. È in questa miscela gassosa che ha luogo la reazione chimica di combustione.



Esperienza di Faraday

- Si può accendere una candela incendiando il fumo che sale dallo stoppino.



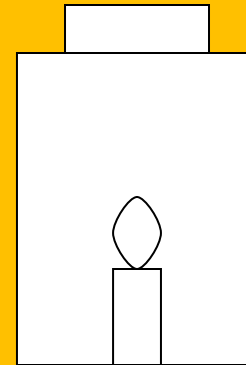
Il ruolo della convezione



Perché la combustione si mantenga è necessario allontanare l'anidride carbonica che si forma e sostituirla con ossigeno. Questo avviene per convezione; il gas prodotti dalla combustione sono caldi e quindi salgono verso l'alto richiamando aria dal basso. Sono i moti convettivi che fanno sì che la fiamma abbia la caratteristica forma simmetrica rispetto all'asse verticale.

Ciò spiega anche perché la candela funziona solo se disposta verticalmente e perché si spegne con la tecnica 6: si impedisce all'anidride carbonica di disperdersi salendo nell'aria.

Per bloccare i moti convettivi basta togliere il peso all'aria. Se si lascia cadere il vaso, la candela si spegne

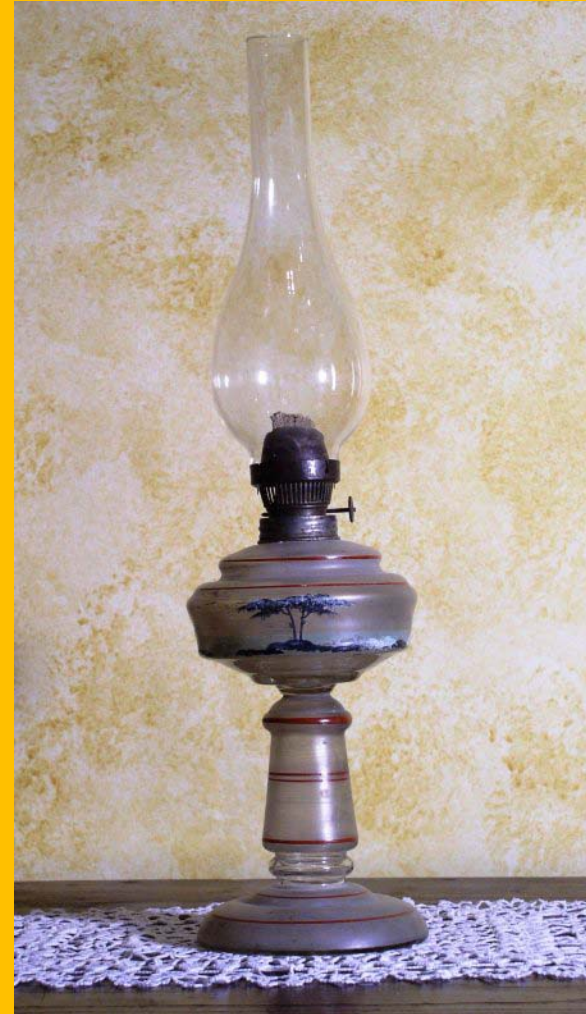


Il mistero della stabilità

- Perché la candela brucia uniformemente, cioè l'ampiezza della fiamma rimane costante?
- Vi è un meccanismo che fornisce alla combustione la cera a tasso costante.
- La fiamma conserva le stesse dimensioni a causa del fatto che l'intensità della corrente di cera fusa è costante.

Le vecchie lucerne a petrolio

- Lo stoppino era una striscia di cotone di cui si poteva regolare la lunghezza. Ad una maggiore lunghezza corrispondeva una maggiore luminosità. Quindi è la lunghezza dello stoppino emergente che determina le dimensioni della fiamma.



Perché cera o paraffina?

Nonostante la fiamma abbia un'alta temperatura, la cera rimane fredda anche a breve distanza dal cratere di fusione. La cera è un ottimo isolante termico. La fiamma riscalda la cera, che è più in basso, solo per irraggiamento. La potenza radiante che raggiunge la cera che sta alla base dello stoppino è molto bassa e non potrebbe produrre un innalzamento della temperatura sufficientemente alto da fonderla se il calore ricevuto si diffondesse rapidamente all'intero corpo della candela.

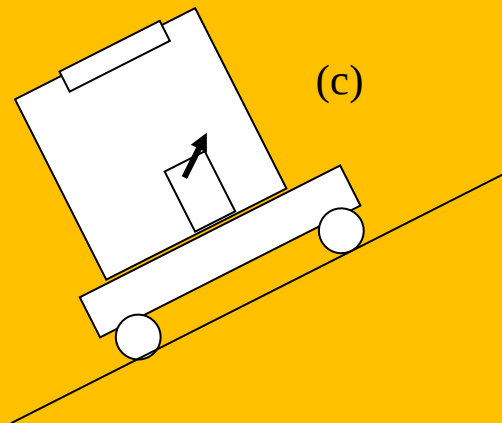
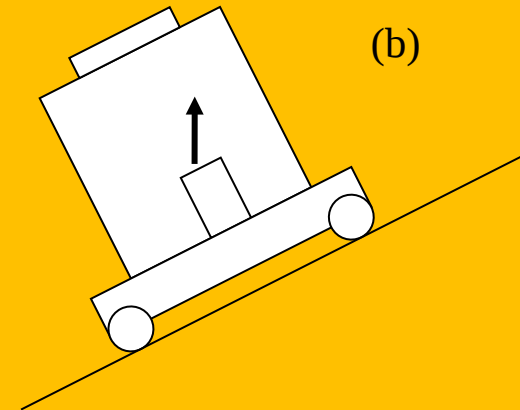
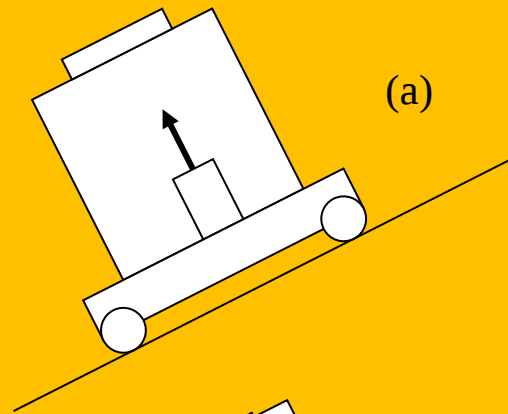
- Invece, a causa della bassissima conducibilità della cera solida, il calore assorbito per irraggiamento rimane confinato ad un piccolo strato che si riscalda e fonde. In questo modo può aderire e risalire lungo lo stoppino.

Un *gedanken experiment*

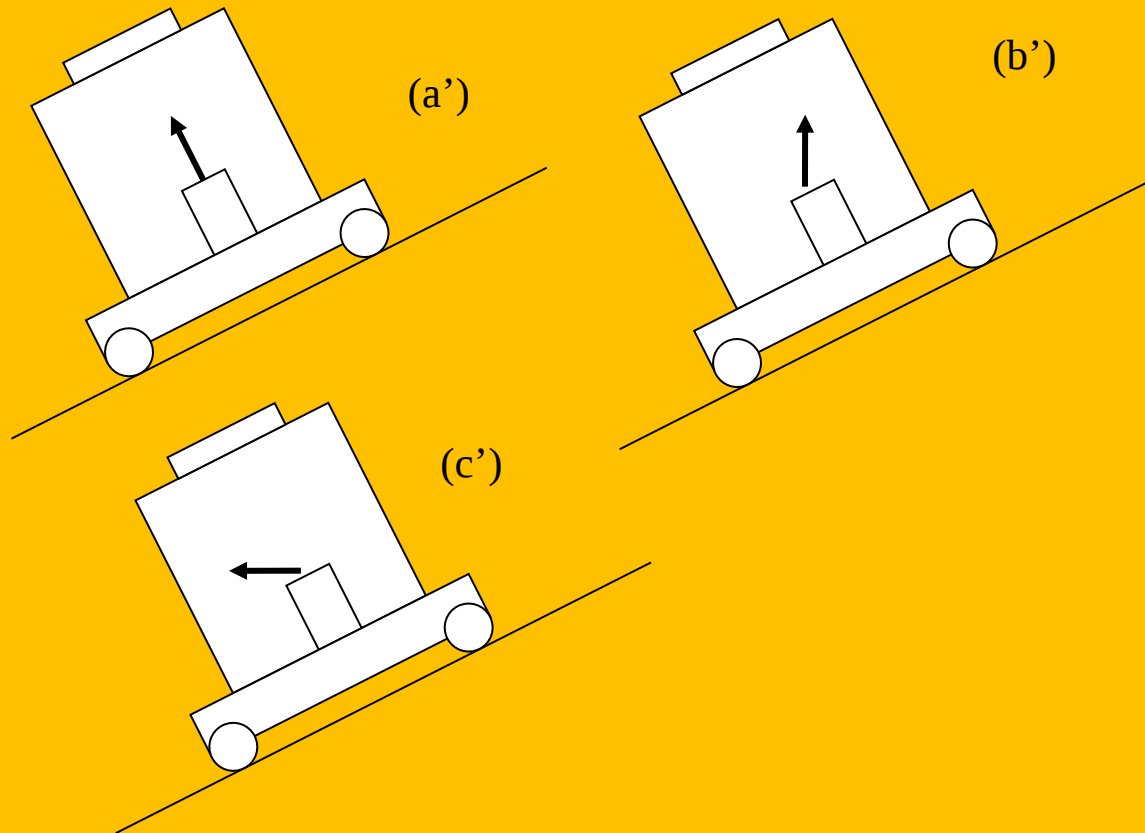
- All'interno di un grosso vaso di vetro dotato di chiusura, si fissa un lumino. Il vaso, a sua volta è posto su un carrello a bassissimo attrito che può correre su un piano inclinato particolarmente liscio.
- Si accende il lumino, si tappa il vaso e si lascia scendere liberamente il carrello lungo il piano.

Come si disporrà la fiamma?

Carrello in discesa ...



E se si ripete l'esperimento col carrello in salita?

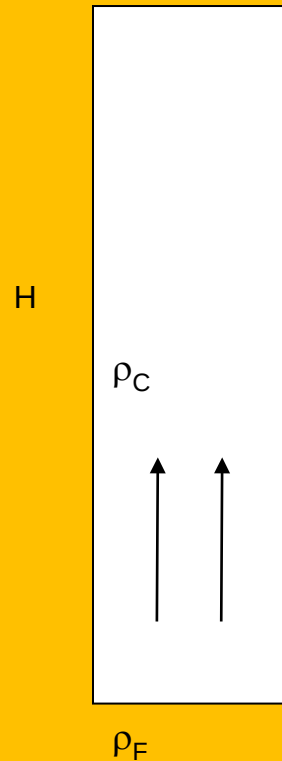


SUL TIRAGGIO DI UNA CANNA FUMARIA



- Da cosa dipende la velocità del fumo all'interno di una canna fumaria?
- Dipende dalla sezione?
- Funziona meglio una canna lunga o una corta?
- Funziona meglio col freddo o col caldo?

- La velocità di salita dell'aria calda dipende dal fatto che la sua densità ρ_C è minore di quella dell'aria fredda ρ_F .



- Per l'equazione di Bernoulli
(conservazione dell'energia per unità di volume):

$$\frac{1}{2} \rho_C v^2 = (\rho_F - \rho_C) H g$$

v = velocità

H = lunghezza della canna

g = campo gravitazionale

si ricava

$$v = \sqrt{2 \frac{\Delta \rho}{\rho_C} H g}$$

Ma la densità dell'aria dipende dalla temperatura e per la legge dei gas ideali

$$\rho_C T_C = \rho_F T_F$$

Per cui

$$\Delta\rho = \rho_F - \rho_C = \rho_C \left(\frac{\rho_F}{\rho_C} - 1 \right) = \rho_C \left(\frac{T_C}{T_F} - 1 \right) = \rho_C \frac{\Delta T}{T_F}$$

- Sostituendo nella precedente si ottiene la velocità di ascensione dell'aria nella canna

$$v = \sqrt{2 \frac{\Delta T}{T_F} Hg}$$

La canna tira tanto meglio quanto più è lunga e quanto più alta è la differenza di temperatura fra l'interno e l'esterno.