

## Triboelettrizzazione

### Esperimento 2.1

— Nel primo esperimento tagliamo dei pezzettini di carta e li mettiamo su un tavolo. Prendiamo una cannuccia di plastica e la avviciniamo ad essi, facendo attenzione a non toccarli. Non si produce alcun effetto sui pezzi di carta (Figura 2.1).

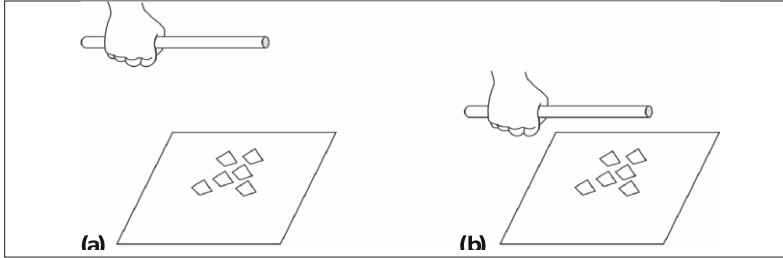
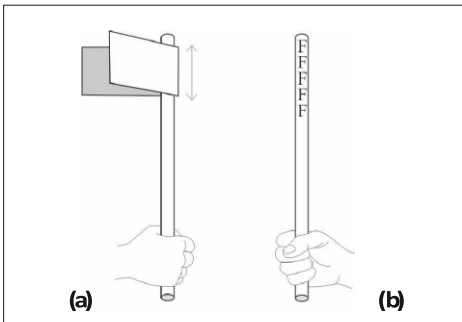


Figura 2.1. (a) Cannuccia di plastica lontana dai pezzi di carta. (b) Quando la cannuccia di plastica viene spostata in prossimità dei pezzi di carta, nulla accade a loro.



Ora strofiniamo la cannuccia sui nostri capelli o su di un foglio di carta, muovendola energicamente su e giù. Rappresentiamo la regione della cannuccia che è stata strofinata con la lettera F, dalla parola *friction* (strofinio in inglese) (Figura 2.2).

Figura 2.2. (a) Cannuccia di plastica strofinata con carta. (b) La lettera F rappresenta la regione strofinata della cannuccia.

Successivamente portiamo la cannuccia strofinata in prossimità dei pezzettini di carta, di nuovo senza toccarli, solo avvicinandola molto. Osserviamo che, a una certa distanza, essi saltano sulla cannuccia strofinata e vi rimangono attaccati (Figura 2.3). Anche se muoviamo la cannuccia lontano dal tavolo, i pezzi di carta rimangono attaccati ad essa.

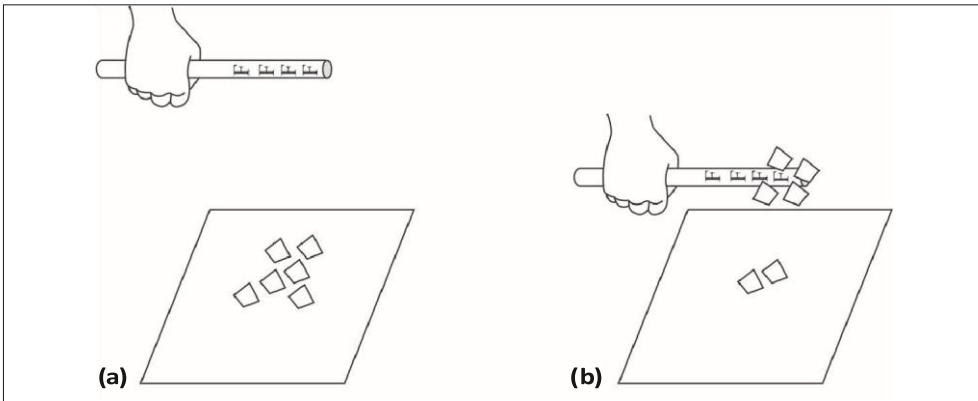


Figura 2.3. (a) Una cannuccia strofinata posta a distanza da piccoli pezzi di carta. (b) La cannuccia, una volta strofinata, attrae i pezzi di carta quando la si avvicina ad essi.

Osserva con attenzione: tutti i pezzi di carta rimangono attaccati alla cannuccia?  
Annota le tue osservazioni

---

### Esperimento 2.2

Ora ripetiamo l'Esperimento 2.1 strofinando la cannuccia di plastica con altri materiali come ad esempio un foglio di carta, la pelle, un panno. un sacchetto di plastica. Portando la cannuccia strofinata vicino a pezzettini di carta o di paglia, sono sempre attratti? L'intensità cambia a seconda dei materiali con cui strofiniamo la cannuccia?

Annota le tue osservazioni

### 2.4 Quali corpi sono attratti dalla plastica strofinata?

---

#### Esperimento 2.3

Analizziamo ora quali materiali sono attratti dalla plastica strofinata o da un pezzo di ambra strofinato. Lo sfregamento può essere fatto con carta, capelli, o un panno di cotone. Per il nostro esperimento, poniamo svariati gruppi di materiali leggeri in parti diverse di un tavolo. Essi possono essere stati suddivisi in piccoli pezzi, in corti fili o polverizzati. Ad esempio frammenti di paglia, fili di cotone sottili, parti di un sacchetto di plastica, ritagli di un foglio di alluminio, polvere di gesso, farina, limatura di ferro, lana d'acciaio, piccole palline di polistirolo, piume, capelli, segatura, zucchero, sale, piccoli pezzi di sughero, ecc.

**Importante:** l'oggetto strofinato non deve toccare i pezzettini disposti sul tavolo; dovrebbe essere solo avvicinato ad essi. Se il corpo strofinato li tocca, essi possono attaccarsi per altre ragioni.

Quando avviciniamo una cannuccia non strofinata, i materiali sono attratti?

Quando avviciniamo una cannuccia strofinata, i materiali sono attratti?

I materiali si comportano tutti allo stesso modo?

Annota le tue osservazioni

---

#### Esperimento 2.4

Un esperimento analogo può essere fatto con fili di seta, cotone, poliestere<sup>12</sup>, nylon (poliammide sintetico), capelli, e rame. Tagliamo diversi pezzi di questi fili della stessa lunghezza, per esempio lunghi 1 o 2 cm. Collochiamo in un punto del tavolo pezzi di seta, in un altro pezzi di poliestere, ecc. Passiamo una cannuccia di plastica neutra nei pressi di questi materiali.

Accade qualcosa?

Strofiniamo un'altra cannuccia e avviciniamola a ciascuno di questi gruppi di fili, senza toccarli. Quali fili sono più attratti?

Annota le tue osservazioni

Può dipendere dalla densità, dallo spessore, dal peso dei fili?

Annota le tue osservazioni

---

#### Esperimento 2.5

Poggia una lattina su una superficie liscia. Una cannuccia di plastica viene strofinata e portata nelle vicinanze della lattina, con la sua parte lunga parallela ad essa, alla stessa altezza del suo asse di simmetria. Quando la cannuccia è molto vicina alla lattina, ma senza toccarla, Cosa accade?

Prova a far muovere la lattina avanti e indietro.

---

Muoviamo un magnete nei pressi dei materiali sul tavolo descritti negli Esperimenti 2.3 e 2.4. Quali materiali sono attratti dal magnete?

Riesci a spostare col magnete la lattina senza toccarla?

Quali sono le differenze con la cannuccia strofinata?

I fili di rame sono attratti dal magnete?

Annota le tue osservazioni

## Quali materiali strofinati attraggono corpi leggeri?

### Esperimento 2.11

Ora cercheremo di attirare piccoli pezzi di carta posti su un tavolo attraverso oggetti diversi dalla cannuccia. Avviciniamo diversi oggetti sfregati ai pezzi di carta. Strofineremo questi oggetti nei capelli, in un foglio di carta o in un tessuto di cotone. È importante avere oggetti omogenei, cioè oggetti fatti di un unico materiale, al fine di evitare risultati contraddittori. Non dovremmo, per esempio, strofinare una penna di plastica con parti metalliche. In questo caso è meglio strofinare una cannuccia di plastica ed un cucchiaio di metallo separatamente.

Elenchiamo qui alcune di questi materiali: plastica, ambra, vetro, legno, metallo, acrilico, un magnete naturale, cartoncino sottile, gomma, ecc.

Annotiamo quali oggetti strofinati attirano i materiali come la cannuccia strofinata.

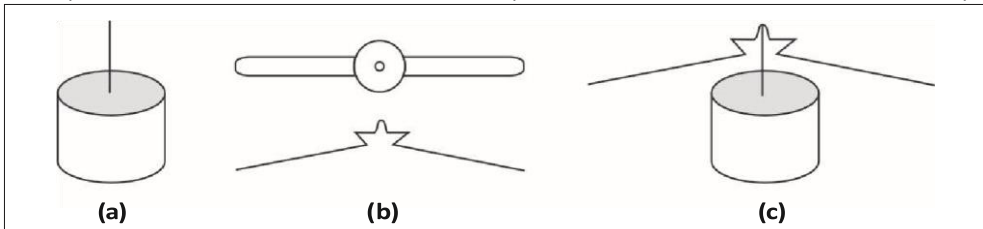
Prova a sfregare più forte o più a lungo i materiali che non funzionano, ad esempio lo spiedino di legno. Cambia qualcosa? E il vetro che hai a disposizione? Annota le tue osservazioni.

### Costruire un versorium

Ci sono tre diversi modi per costruire un versorium.

#### 3.2.1 Il versorium del primo tipo

Il versorium del primo tipo è come il versorium di Gilbert. Può essere costruito facendo uscire da una base rigida una puntina, uno stuzzicadenti o un chiodo con la punta diretta verso l'alto. La base deve essere pesante o



attaccata ad un tavolo per impedire la caduta dell'intero strumento. Il supporto verticale può essere un tappo di sughero con un ago, uno stuzzicadenti posto in verticale nella plastilina o una tavoletta sottile con un chiodo. L'unico requisito è che il sostegno deve rimanere fisso rispetto al suo appoggio, mentre l'elemento orizzontale è libero di ruotare in un piano sopra l'asse verticale formato dal supporto. Il pezzo orizzontale mobile è sostenuto al suo centro dalla punta del perno verticale. *È importante notare che al fine di evitare la caduta della parte mobile, è essenziale che il suo centro di gravità sia situato al di sotto del punto di contatto tra essa e la punta del supporto verticale.* Ci sono diversi modi per porre il baricentro della parte mobile al di sotto del suo punto di contatto con il perno. La parte mobile può essere ad esempio a forma di una lettera V capovolta, oppure può avere il suo centro (che sarà in contatto con il perno) piegato verso l'alto in modo tale che quando è posizionato sul perno, la punta di questo si trova sopra il piano della parte mobile (vedi la successiva Figura 3.4). Una parte mobile può essere realizzata semplicemente con un fermacampane per carta in ottone o acciaio<sup>9</sup>. In questo caso è meglio creare un piccolo fosso nell'avvallamento centrale della base circolare del fermacampane. La punta del perno sarà fatta entrare in questa piccola cavità. Per incavare la fermacampane utilizzeremo un chiodo e un martello, ma con cautela, senza perforare il metallo e in modo tale che si formi una piccola indentazione. La parte mobile, grazie a questo espediente, non rischierà di scivolare sul perno e vi si sosterrà bene in equilibrio. Dopo aver piegato le gambe della fermacampane verso il basso in modo da ottenere una lettera V rovesciata, questa potrà essere posizionata sul perno. La parte mobile può anche essere costruita utilizzando una striscia di alluminio (tagliando una lattina di alluminio per bevande), una cannuccia di paglia secca, del legno, del cartone sottile, o un pezzo di plastica (una striscia di plastica dura). La cosa importante è quella di modellare la parte mobile in forma di lettera V rovesciata. La plastica dura può anche essere ripiegata in modo che le due gambe siano rivolte verso il basso. Quando la parte mobile è posizionata sul perno, è importante verificare che abbia piena libertà di ruotare in senso orario e antiorario in orizzontale, senza scivolare o bloccarsi a causa dell'attrito con il perno. A questo punto è pronta per gli esperimenti. Il versorium del primo tipo è illustrato in Figura 3.4. In (a) abbiamo la base del versorium (in questo caso un perno inserito in un tappo). La parte mobile è mostrata nella Figura 3.4 (b). In questo caso si tratta di un fermacampane visto dall'alto e di lato, con il centro della sua testa leggermente piegato e le gambe inclinate verso il basso. Il versorium montato e completo, con il centro della fermacampane posizionato sulla punta del perno, è mostrato in Figura 3.4 (c).

### 3.2.2 Il versorium del secondo tipo

Il secondo modo per fare un versorium è attaccare uno spillo a quella che sarà la sua parte mobile. Chiameremo questa parte mobile il “cappello” e può essere una striscia di plastica o di metallo. Lo spillo è ben fissato attraverso il centro del cappello, con la sua punta rivolta verso il basso. Lo spillo ruota insieme al cappello. Questo sistema viene sorretto da una piccola superficie piana orizzontale che è fissa rispetto al suolo, come la testa di un chiodo conficcato in un asse di legno o in un tappo di sughero. In Figura 3.5 vediamo una rappresentazione di questo tipo di versorium: (a) La sua base, in questo caso un chiodo parzialmente inserito in una tavoletta. (b) La parte mobile del versorium, in questo caso una striscia di plastica o di metallo con uno spillo attaccato al suo centro, la cui punta è verso il basso. (c) Il versorium completo, con la punta dello spillo posizionata sulla testa orizzontale del chiodo conficcato nell’asse.

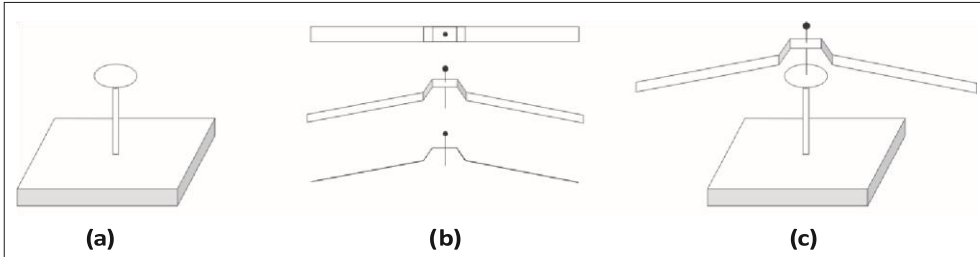


Figura 3.5. Versorium del secondo tipo, con la puntina fissata sulla sua parte mobile. (a) Basetta fissa del versorium. (b) “Cappello” del versorium (striscia di plastica o di metallo) con la puntina collegata ad esso. (c) Versorium montato.

Per evitare che il versorium scivoli, è fondamentale che il centro di gravità del cappello e dello spillo si trovi più in basso rispetto all’estremità appuntita dello spillo. Il centro di gravità del solo spillo si trova in un punto A tra la testa H e la punta T dello stesso (Figura 3.6 (a)). Normalmente questo punto A sarà più vicino ad H che a T, sebbene qui lo mostriamo vicino al centro della puntina. Il centro di gravità del solo cappello è in un punto B lungo il suo asse verticale di simmetria, tra le sue parti superiore e inferiore (Figura 3.6 (b)).

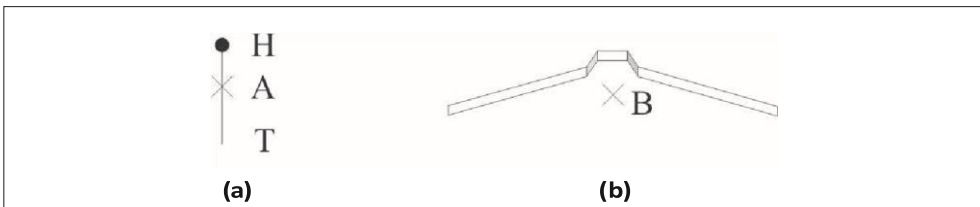


Figure 3.6. (a) Il baricentro dello spillo si trova in A. (b) Il punto B è il baricentro del cappello.

Il centro di gravità dell’intera parte mobile (cappello e spillo) di questo tipo di versorium si trova in un punto C tra A, centro di gravità della puntina, e B, centro di gravità del cappello. Esistono tre possibilità, come mostrato in Figura 3.7. (a) Se lo spillo ha lo stesso peso del cappello, allora C sarà nel punto medio tra A e B. (b) Se lo spillo è più pesante del cappello, C sarà più vicino ad A. (c) Se lo spillo è più leggero del cappello, C sarà più vicino a B.

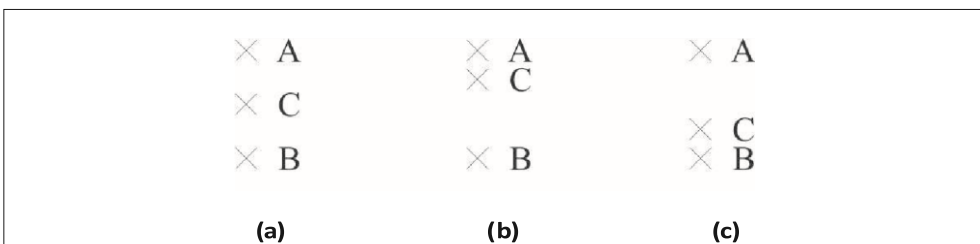


Figura 3.7. Posizione del centro di gravità C della parte mobile del versorium. **(a)** spillo e cappello con lo stesso peso. **(b)** spillo più pesante del cappello. **(c)** spillo più leggero del cappello.

Se C è più in alto rispetto alla punta T della puntina, il versorium slitterà fuori dal chiodo rendendo impossibile bilanciarlo sopra al chiodo. La ragione è che la parte mobile del versorium sarà in equilibrio instabile in questa configurazione. In Figura 3.8 (a) illustriamo questa situazione di equilibrio instabile con il punto C (da Figura 3.7) rappresentato dal simbolo  $\times$ . Qui  $\times$  è verticalmente al di sopra di T, nella sua posizione più alta. Supponiamo che la parte mobile devii leggermente da questa situazione instabile, cioè che la parte mobile si pieghi un poco in un senso orario o antiorario intorno alla punta T del chiodino, in modo che una delle sue gambe si abbassi mentre l'altra si alzi. In questo caso il centro di gravità  $\times$  della parte mobile si sposterà più in basso rispetto alla sua posizione iniziale. La tendenza del centro di gravità di qualsiasi sistema è di avvicinarsi alla superficie terrestre quando questa possibilità esiste. Pertanto, il versorium continuerà a ruotare in senso orario o senso antiorario, con conseguente caduta della parte mobile.

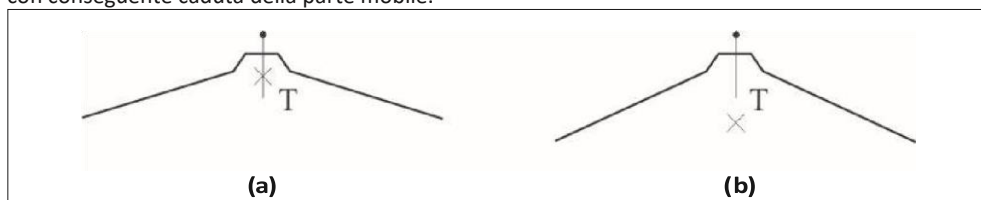


Figura 3.8. Il simbolo  $\times$  rappresenta il baricentro C della parte mobile del versorium (composta dallo spillo e dal cappello). **(a)** Versorium del secondo tipo in equilibrio instabile, con  $\times$  al di sopra della punta T dello spillo. **(b)** Versorium in equilibrio stabile, con  $\times$  al di sotto della punta T.

L'unico modo per bilanciare la parte mobile del versorium sopra il chiodo è avere il punto C sotto la punta T dello spillo. Ciò è mostrato in Figura 3.8 (b), dove il simbolo  $\times$  indica la posizione del centro di gravità della parte mobile del versorium (costituita dallo spillo e dal cappello). Questa è la configurazione di equilibrio stabile, con  $\times$  nella sua posizione più bassa, cioè, verticalmente al di sotto della punta T della puntina. In questa configurazione stabile, qualsiasi movimento del versorium in senso orario o antiorario intorno alla punta T della puntina solleverà il baricentro  $\times$  rispetto alla sua altezza iniziale, quando esso si trova verticalmente sotto la punta T. Il sistema poi tornerà alla configurazione di equilibrio stabile grazie alla coppia di ripristino gravitazionale esercitata su di esso dalla Terra.

A volte è difficile ottenere questa configurazione di equilibrio stabile con una parte mobile così leggera come quella ricavata da una cannuccia di plastica. Per evitare questo problema possiamo infilare una cannuccia dentro un'altra cannuccia, o una striscia di plastica fatta di materiale più denso e più pesante, in modo da controbilanciare il peso della puntina. Un'altra possibilità è quella di tagliare la parte superiore e più pesante dello spillo (compresa la testa) con le pinze, mantenendo solo la parte inferiore (inclusa la punta).

È inoltre possibile piegare le gambe del cappello del versorium verso il basso per abbassare il centro di gravità o semplicemente usare cappelli più lunghi. Un'altra soluzione è quella di sostituire lo spillo con un piccolo chiodo passante per il centro della parte mobile o attaccato al suo centro con colla o plastilina. Quando il sistema è pronto, è importante verificare se esso è libero di ruotare in entrambe le direzioni in orizzontale intorno ad un asse verticale senza slittare. Se slitta lateralmente, è possibile bilanciarlo abbassando una delle gambe, o aumentando la lunghezza di una delle gambe. Siamo quindi pronti per iniziare gli esperimenti.

### 3.2.3 Il versorium del terzo tipo

Il terzo modo di fare un versorium è forse il più semplice. Per la parte mobile scegliamo una striscia fatta di metallo, legno o di un altro materiale appropriato ed attacchiamo un filo di cotone o di seta al suo centro. La striscia deve rimanere orizzontale quando è in quiete e legata per il suo centro. Leghiamo quindi l'estremità superiore del filo ad un supporto che è fisso rispetto al suolo. La parte mobile attaccata all'estremità inferiore del filo è quindi libera di ruotare orizzontalmente in entrambi i sensi attorno al filo verticale.

La Figura 3.9 illustra questo tipo di versorium con la parte mobile retta al centro da un filo verticale attaccato ad una matita. Il *perpendicolo* di Fracastoro era probabilmente un versorium di questo tipo.

Il versorium del terzo tipo ha una proprietà che lo differenzia dagli altri due tipi. La parte mobile dei versorium del primo e del secondo tipo può solo inclinarsi o ruotare intorno ai loro centri che rimangono in quiete relativamente al suolo. Il versorium del terzo tipo, invece, non solo può ruotare attorno ad un asse verticale, ma come un pendolo può anche muoversi complessivamente quando è attratto da un

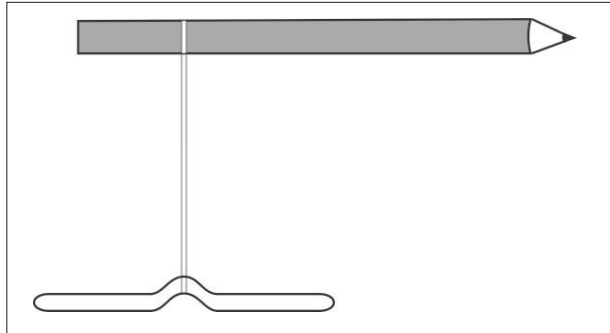


Figura 3.9. Versorium del terzo tipo.

altro corpo. Ciò presenta un vantaggio in termini di versatilità del suo moto. Tuttavia, a volte questo complica l'analisi dei fenomeni che vogliamo descrivere o osservare. Nei seguenti esperimenti inizialmente usiamo solo versorium del primo e del secondo tipo.

Dato un momento torcente esterno costante, è più facile ruotare una parte mobile di un versorium di peso più leggero che una più pesante. Ciò significa che un versorium leggero ha una maggiore sensibilità rispetto ad uno pesante.

Sebbene Gilbert abbia costruito solo versorium in metallo, essi possono essere realizzati in diversi materiali: metallo, plastica, cartone sottile, paglia secca, legno, ecc. Inizialmente lavoreremo solo con versorium in metallo, che chiameremo semplicemente versorium. Quando l'ago girevole è fatto di plastica, carta, o di altro materiale non metallico, chiameremo il sistema versorium di plastica, versorium di carta o usando il nome appropriato. In questo modo saremo in grado di distinguere questi tipi di versorium da quello utilizzato da Gilbert.