

Scienze sul Banco
con Oggetti Semplici

la Bottiglia di Leida

Versione Bozza



di Beniamino Danese

SCIENZE SUL BANCO CON OGGETTI SEMPLICI

il progetto

Il progetto è coordinato dall'IPRASE e dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento insieme ad alcuni insegnanti.

Finora, attraverso una sperimentazione in varie classi condotta dal dottorando Beniamino Danese insieme ad alcuni insegnanti, sono stati messi a punto materiali ed esperienze che ci sembrano molto utili in elettromagnetismo, moto e chimica.

Questi materiali formano ora dei kit che vengono proposti a un gruppo di insegnanti di scienze e tecnologia perché possano usarli in prima persona nelle loro lezioni, nell'anno scolastico 2007-2008.

due attenzioni di metodo

Il punto centrale della proposta consiste nell'organizzare le lezioni intorno a oggetti e piccoli esperimenti che i ragazzi possono fare sul proprio banco o a coppie/piccoli gruppi.

L'altra attenzione di metodo che si intende sottolineare è quella della narrazione.

Oltre alla proposta di unità didattica, o lezione, in questo libricino per l'insegnante viene presentato un *surplus* di materiale, come sfondo culturale/disciplinare, e come punto di partenza per nuove idee e attività.

indice

- La Bottiglia di Leida / Introduzione	2
o il nocciolo della lezione	2
o legami fondamentali, inquadramento dell'argomento	3
- Oggetti & <i>Storytelling</i>	6
o esperimento passo-passo: il bastone di PVC e le palline	6
o esperimento passo-passo: l'elettroscopio a scotch	8
o esperimento passo-passo: la scintilla con la bottiglia di Leida	10
o esperimento passo-passo: la scossa di classe con la bottiglia di Leida	13
o dove trovare i materiali	13
- Fonti per la Narrazione	15
o La polemica tra Galvani e Volta e la nascita dell'elettrofisiologia	15

LA BOTTIGLIA DI LEIDA

INTRODUZIONE

nocciolo della lezione

La lezione è incentrata intorno alla “Bottiglia di Leida” e a un tubo di PVC. La Bottiglia di Leida è il primo “condensatore elettrico”, costruito intorno al 1746 a Leida, in Olanda, da Pietre van Musschenbroek*, scienziato e insegnante allora molto famoso.

La bottiglia di Leida è formata sostanzialmente da due fogli metallici separati da una sottile parete isolante. I due fogli metallici vengono caricati con cariche di segno opposto, e la bottiglia di Leida diventa così un “contenitore di elettricità in squilibrio”.

La lezione ruota intorno a due esperienze importanti eseguite dal docente con una piccola bottiglia di Leida (un “bicchiere di Leida”) dopo averla caricata:

- La scintilla color rosa-viola ben visibile al buio e accompagnata da un sonoro “crack”.
- La scossa che tutti gli studenti possono prendere tenendosi per mano e formando un cerchio.

Il tubo di PVC (polivinilcloruro) è un tubo di plastica che sostituisce il tubo di vetro molto in voga nel 1700 per questi esperimenti. Si elettrizza assai più di una penna e serve per caricare, strofinato con della lana, la bottiglia di Leida. Si usa anche per attirare palline, pezzetti di carta, gocce d’acqua.



* A dire il vero un analogo strumento era stato costruito qualche mese prima da Ewald Georg von Kleist, decano della cattedrale di Cammin in Pomerania (oggi Kamień Pomorski nella Polonia nord-occidentale), sul Mar Baltico. Von Kleist aveva studiato a Leida, dove probabilmente era nato il suo interesse per l'elettricità. Arrivò all'invenzione in parte per caso, e la prima scossa lo mandò dritto sul pavimento. Cominciò a dare la notizia dell'invenzione, ma i primi risultati erano incerti. Pochi mesi dopo, indipendentemente, van Musschenbroek, che aveva una grande reputazione, inventò lo stesso dispositivo, e la notizia si sparse molto velocemente. Talvolta la “Bottiglia di Leida” è indicata come “Bottiglia di Kleist”. Gli inventori, invece, e gli altri studiosi del tempo di questo soggetto, vengono talvolta indicati come “i fulminati”.

Legami fondamentali, inquadramento dell'argomento

Questi primi passi della sperimentazione con l'elettricità aprono una serie di collegamenti importanti e numerosi.

Elettricità atmosferica. Fu con una bottiglia di Leida e un bastone di vetro che Benjamin Franklin dimostrò "l'identità del fluido elettrico e del fulmineo" ossia, che i fulmini sono scariche elettriche tra un nuvolone e il suolo.

L'attrazione tra tubo di PVC e gocce d'acqua ha un'analogia con i fulmini che scoppiano in mare aperto, sollevando montagne d'acqua.

L'esperimento della scintilla può venire accompagnato da una narrazione su questa vicenda, della quale si forniscono alcune fonti.

Nervi e muscoli. Fu prendendo spunto dalla bottiglia di Leida che Luigi Galvani cominciò a esplorare la natura dei moti muscolari e dei nervi, nelle zampe di rana. Le sue ricerche sono la base dell'elettrofisiologia.

Anche lo studio dei pesci elettrici, come le torpedini, prese le mosse dalla bottiglia di Leida. Henry Cavendish realizzò una specie di "torpedine artificiale" con una batteria di bottiglie di Leida debolmente cariche.

Elettrostatica. Alcuni piccoli esperimenti riguardano attrazioni e repulsioni elettriche tra il bastone di PVC e biglie di plastica e di vetro. Questi esperimenti molto semplici hanno anche il pregio di fornire una primitiva visualizzazione per repulsioni tra cariche elettriche, come elettroni (cariche negative) attirati verso un elettrodo positivo o ioni H^+ respinti dall'elettrodo positivo e attirati dalle cariche negative.

La costruzione di un "elettroscopio a scotch" permette l'effettiva misura del segno delle cariche, se (+) o (-).

La bottiglia di Leida e l'elettroscopio a scotch sono oggetti elaborati nel Galileo Kobo, un team di insegnanti giapponesi che è allo stato dell'arte nella preparazione di strumenti didattici con materiali semplici.

Le due prime fasi nello studio dell'elettricità. Una presentazione dell'elettricità così strutturata riprende in parte la storia della scienza.

È possibile infatti individuare due fasi o momenti nei primi studi dell'elettricità: una fase "salottiera", "di eccitazione", dove i fenomeni elettrici sono occasione di divertimento e stupore nei salotti dei nobili e dei colti, con scosse di gruppo, "baci elettrici", bambini elettrizzati che attirano gocce d'acqua, etc. E una fase "di studio", nella calma e nella solitudine di una stanzetta, esplorando i vari effetti, cercando di misurarli e di capirne le cause.

All'Università di Oldenburg è stata allestita una mostra sull'elettricità proprio secondo questo concetto, il salotto con esperimenti spettacolari e diverse stanzette di approfondimento.

Anche in classe, inevitabilmente, le scintille e le scosse produrranno "eccitazione". Un'eccitazione che si cerca di incanalare in modo fruttuoso, per esempio con lo strumento del racconto.

Medicina. L'eccitazione sull'elettricità produsse anche i “medici elettrici”. Entrò in voga l'idea che “l'elettricità” potesse curare tutto. Insieme a quest'idea si diffuse anche il “mesmerismo”, ossia l'idea propagandata da Mesmer che con calamite e magnetismo animale si potesse curare tutto, e in particolare le malattie nervose.

Le idee dei medici elettrici – *“pare che l'elettricità non possa far altro che bene, e male giammai”* – penetrarono anche parte della medicina ufficiale del tempo, la “medicina razionale”, nonostante diversi medici importanti fossero molto cauti, soprattutto perché i fenomeni elettrici non erano ancora stati ben capiti dal punto di vista fisico.

Oggi gli effetti dell'elettricità sul corpo umano sono stati misurati, gli usi terapeutici individuati, i meccanismi causa-effetto ben chiariti. Tuttavia, il sogno di una “panacea” e l'idea generica su “poteri curativi” generali sembrano abbastanza intramontabili e permangono anche nell'ambiente di medici e farmacisti. Una volta il ruolo di panacea è attribuito all'elettricità e ai magneti, altre volte all'acqua con principi attivi in concentrazioni infinitesime, altre volte alle cellule staminali embrionali.

La vicenda dei medici elettrici può dare un'interessante lezione.

Sicurezza. Alla prima scossa da una bottiglia di Leida, l'inventore von Kleist finì lungo disteso sul pavimento. Musschenbroek, da parte sua, arrangiò una dimostrazione e fece prendere una scossa portentosa a un suo studente, Andreas Cunaeus. Dopo aver provato lui stesso la scossa, Musschenbroek mise per iscritto che non ci avrebbe riprovato neanche per tutto il regno di Francia.

L'invito alla prudenza fu generale, l'abate Nollet, noto “elettricista”, mostrò che canarini e pesciolini venivano uccisi dalla scarica elettrica. Tuttavia, nessuno prestava grande attenzione alla pericolosità insita in questi esperimenti. Nel 1783, mentre tentava di caricare una batteria di bottiglie di Leida durante una tempesta, il prof. Richmann di San Pietroburgo fu ucciso dalla scarica. Il mondo scientifico ne fu scioccato.

Letteratura. Le immagini di scienziati al lavoro su macchine elettriche durante i temporali per imprigionare la folgore, con corpi morti o sezionati che si muovono per l'effetto dell'elettricità come le zampe delle rane di Galvani, entrarono nella letteratura del tempo e rimasero per sempre attaccate all'immaginario collettivo. La storia del dottor Victor von Frankenstein e della sua “creatura” è l'esempio principale.

Matematica. In primis, costruire la bottiglia di Leida fa capire qualcosa della superficie laterale del tronco di cono, che sul piano è una specie di mezzaluna. Non è raro che lo studente ritagli un rettangolo nell'alluminio e poi rimanga interdetto quando il rettangolo non ricopre il bicchiere.

Il concetto di “capacità del condensatore” si è rivelato molto ostico per gli studenti di scuola media. Tuttavia la proporzionalità tra la quantità di carica Q che immagazzinata in una data bottiglia di Leida, e la differenza di potenziale V tra le armature,

$$V \propto Q$$

si può, semplificando, scrivere come

$$V \approx \frac{Q}{\text{area}}$$

e permette di fare alcune considerazioni interessanti. Per esempio, se carico alla stessa V un bicchiere di Leida e un “secchio” di Leida (una superficie molto maggiore), nel

secondo caso la quantità di carica è molto maggiore e una scossa può essere molto pericolosa. È bene quindi che le bottiglie di Leida che si usano siano di piccole dimensioni.

Una grande superficie si può ottenere collegando tante piccole bottiglie di Leida in “batteria”.

I vasi comunicanti. Il flusso di elettricità (corrente) che ha luogo per riequilibrare l’ “elettricità in squilibrio” (differenza di potenziale) viene spesso modellizzato con i vasi comunicanti. Lo stesso modello può servire per il flusso di calore tra due corpi a temperatura diversa.

Applicazioni. Le applicazioni dell’elettrostatica riconducibili a questi esperimenti con cariche, scintille e scosse sono numerosissime. Dal parafulmine e dalla messa a terra, fino alla candela nei motori a scoppio.

OGGETTI & STORYTELLING

I quattro tipi di esperimenti proposti vanno prima eseguiti dall'insegnante. Si tratta di esperienze "dalla cattedra". Alcuni vengono poi ripetuti e approfonditi dagli studenti in classe, altri possono essere rifatti o completati a casa.

Poiché è necessario strofinare ripetutamente diversi oggetti, e ciò richiede tempo, la cosa migliore è fare un racconto mentre si strofina. Così si può strofinare abbondantemente quanto basta senza annoiare o spazientire l'uditorio, anzi, arricchendo l'esperienza.

Pertanto, nella descrizione degli esperimenti si inseriscono alcuni spunti per la narrazione, lo *storytelling*. La narrazione, che ha un incedere un po' placido, un po' curioso, permette di mantenere l'equilibrio con gli esperimenti sul banco, che al contrario hanno un incedere più confusionario.

Una raccomandazione di ordine pubblico. Il tubo di plastica è molto migliore delle penne non solo per essere elettrizzato, ma anche per fare cerbottane.

È opportuno avere un occhio di riguardo, pertanto a questo proposito. Le palline di vetro e plastica fornite, comunque, hanno un diametro tale che non possono essere usate come proiettili.

l'esperimento passo per passo: il tubo di PVC e le palline

materiali forniti agli studenti: tubo di PVC lungo circa 50 cm
pallina di plastica
pallina di vetro

a cura degli studenti: una pezza di lana
capelli (non serve staccarli dalla testa...)
gocce d'acqua

facoltativi (o per casa): una pezza di seta (o un sacchetto di plastica)
filo d'acqua sottilissimo che scende dal rubinetto

Il polivinilcloruro è una plastica molto usata. In particolare, questi tubi sono canalette per cavi elettrici, si trovano nei grandi negozi di fai-da-te.

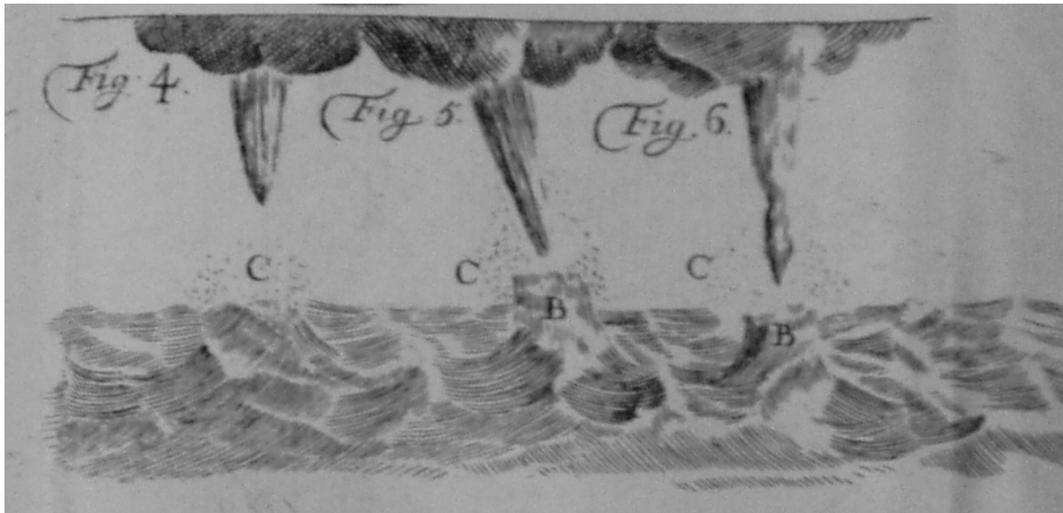
Strofinati con la lana, i tubi di PVC si elettrizzano negativamente (−) (e la lana positivamente). Il tubo di PVC è la versione moderna del tubo di vetro strofinato con la seta. Il tubo di vetro era un oggetto molto in voga nel settecento, proprio per l'esecuzione di "esperienze elettriche" divertenti. Uno di questi tubi fu regalato a Benjamin Franklin dall'amico Peter Collinson.

Franklin cominciò a fare diverse esperienze, gli piaceva moltissimo, e gli servirono per costruire parte delle sue teorie. Il tubo di vetro, strofinato con la seta, si elettrizza. Franklin vi assegnò elettrizzazione positiva (+) (e la seta negativa).

La sua convenzione è in uso ancor oggi, sebbene abbia anche generato un po' di confusione perché l'elettrizzazione positiva ("eccesso di fluido elettrico") è dovuta in realtà a un *difetto* di elettroni (ceduti dal vetro alla seta).

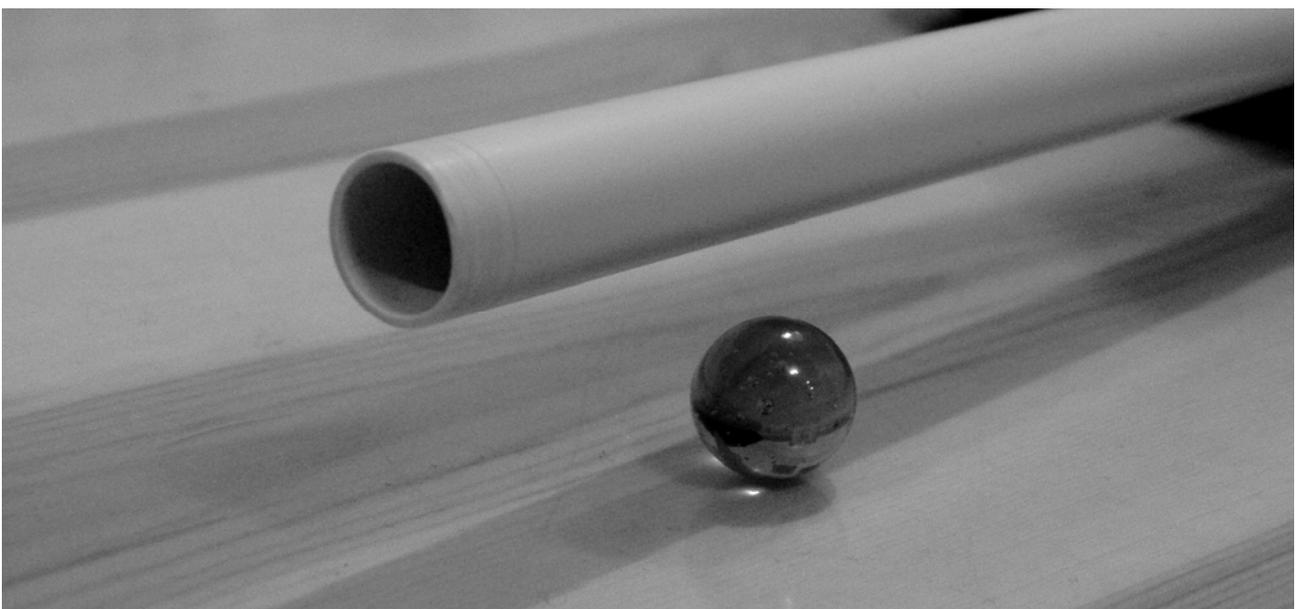
Il tubo di PVC ben elettrizzato, attira oggetti leggeri, anche non elettrizzati, come pezzettini di carta e capelli. Non solo: attira anche le bolle di sapone e il filo d'acqua sottilissimo che scende dal rubinetto. Avvicinato dall'alto a gocce d'acqua sul tavolo, le attira, al punto che in essa si forma come una montagna, finché con un piccolo "crack" come di tuono avviene una scarica e anche la goccia si carica, e la montagnola si livella.

La seguente tavola tratta dagli "Elementi di Fisica" di van Musschenbroek (1781), mostra l'analogo, imponente fenomeno dei fulmini in mare.

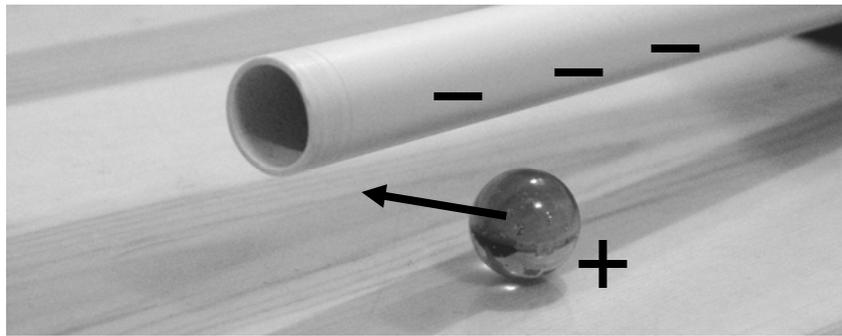


Ma soprattutto, il bastone di PVC (carico (-)) attira gli oggetti carichi (+) come le biglie di vetro, in modo considerevole e respinge quelli carichi (-) come le palline di plastica.

Per elettrizzarle, le palline vanno strofinate bene. Il vetro è meglio strofinarlo con la seta (ma anche la lana va molto bene). Le palline di plastica vanno strofinate molto bene, perché, se neutre cariche, vengono attratte anziché respinte. In ogni caso, con il vetro il risultato è eclatante.



Quando si strofina il tubo di PVC, la parte più elettrizzata non è la punta, ma una zona più al centro. Il primo esperimento è questo, le varie attrazioni e repulsioni. In particolare, le sferette si prestano molto bene per un appunto sotto forma di disegno. I disegni con sferette (-) respinte dal tubo e sferette (+) attratte potranno essere ripresi in seguito, a proposito di ioni H^+ attirati o respinti da un elettrodo, di elettroni, di cariche esploratrici in un campo elettrico... Volendo, per aiutare la memoria, le scritte “(-)” si possono disegnare col pennarello sul tubo di PVC.



l'esperimento passo per passo: l'elettroscopio a scotch

materiali forniti agli studenti: tubo di PVC lungo circa 50 cm
rotolo di nastro adesivo

a cura degli studenti: forbice (non strettamente necessaria)
pezza di lana o altro con cui elettrizzare per strofinio
penne e altri oggetti da elettrizzare per strofinio

Una volta scoperto che gli oggetti per strofinio si “caricano”, si ne possono provare diversi. Un materiale che funziona bene è l'ambra, una pietra preziosa che è in realtà una resina fossilizzata.

Le parole “elettrizzare”, “elettrico” derivano proprio da “ambra”, che in greco si dice “elektron”. Un tubo “elettrizzato” è quindi un tubo “ambrizzato”, un tubo che mostra quei fenomeni di attrazione e repulsione tipici dell'ambra strofinata con la lana.

Il nostro analogo dell'ambra è il bastone di PVC, e la sua carica negativa viene a volte detta “carica resinosa”, mentre la carica positiva del vetro elettrizzato è “carica vetrosa”.

Ma non ci sono solo vetro e resina. Ogni coppia di materiali diversi, strofinati si elettrizza. Noi stessi con la nostra tuta, per esempio, o coi sedili della macchina.

Possiamo usare questo fenomeno per costruire un dispositivo che ci dica se un oggetto è elettrizzato, carico. Se carico + o carico -, per “vedere” il segno della carica, dell'elettricità. Questo strumento si chiama “elettroscopio”.

Lo costruiamo con solo due pezzi di scotch.

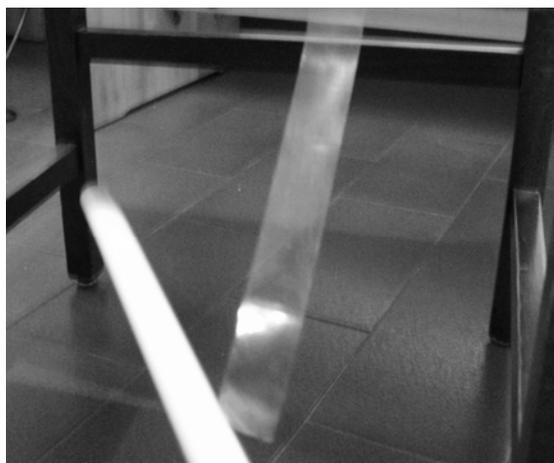
Stacciamo un pezzo di scotch lungo 10-15 cm. Quando lo stacciamo, magari ci si attacca al braccio, non per la colla, ma per l'elettricità: strappare lo scotch è uno strofinio. Questo è il principio di funzionamento del nostro elettroscopio.

- stacciamo dunque un pezzo di scotch di 10-15 cm

- lo poniamo sulla cattedra con la colla verso l'alto (facile, altrimenti non si stacca più)
- stacciamo un altro pezzo di scotch di 10-15 cm
- lo facciamo aderire, sempre con la colla verso l'alto, all'altro pezzo di scotch
- non simmetrico: i pezzi devono combaciare uno sulla faccia collosa, l'altro sul dorso
- l'adesione dev'essere la più netta possibile, senza pieghe, stropicci, etc.
- facciamo avanzare qualche millimetro a un'estremità, per poterli staccare
- li stacciamo bruscamente!!! così che ci sia uno strofinio brutale!!!
(come togliere un cerotto con violenza!!!)
- i due nastri sono ora carichi, uno (+) e uno (-).
- (se li avvicinassimo, infatti, si attirerebbero).
- (Attenzione a non farli attaccare! altrimenti bisogna ricominciare!)
- a questo punto, attacchiamo i due nastri al bordo del portacancellini, o in un posto che sia ben visibile, gli studenti li attaccheranno al bordo del banco.
- ora avviciniamo il tubo di PVC carico (-)
- uno dei due nastri viene respinto: è carico (-). (è il nastro che stava sotto)
- l'altro nastro viene attirato: è carico (+). (è il nastro che stava sopra)
- è bene marcare indicare il segno vicino ai nastri, con un cartellino, o a matita.

Cose che possono andare storte:

- se i nastri si sono caricati poco e il PVC è carico, entrambi vengono attirati, perché, come abbiamo visto, un corpo elettrizzato smuove oggetti leggeri neutri.
- se i nastri sono carichi e il PVC non è carico, comunque vengono entrambi attirati, per lo stesso motivo
- tutto va bene quando uno viene attirato (è il +), e l'altro respinto (è il -)



Gli studenti possono allora procedere a costruire a loro volta l' "elettroscopio a scotch".
Ne verificano il funzionamento col tubo di PVC.

- se avvicinano un oggetto (+) il (-) viene attirato e il (+) viene respinto
- se avvicinano un oggetto (-) il (-) viene respinto e il (+) viene attirato
- se avvicinano un oggetto neutro il (-) viene attirato e il (+) viene attirato

Poi possono esplorare la carica di diverse oggetti: da altri pezzi di scotch strofinati a penne e pennarelli. Si possono strofinare con lana, con sacchetti di plastica, o anche con la gomma da cancellare.

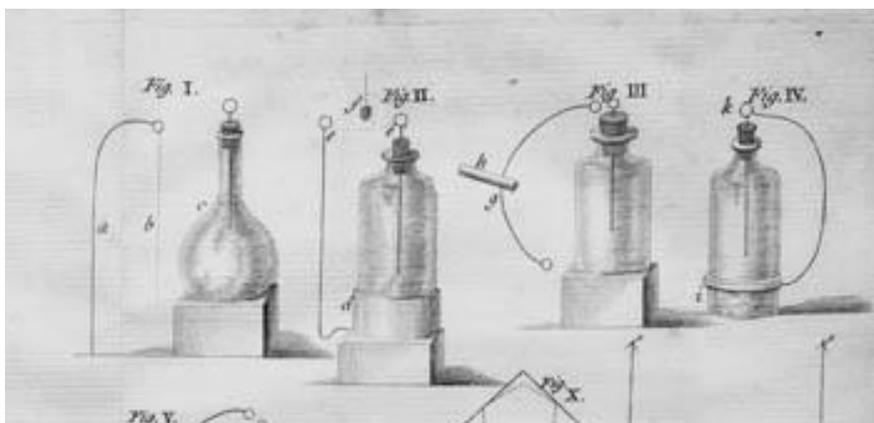
Se si strofinano oggetti metallici, come il fapunte, e li si tiene in mano, si vedrà che essi non danno segni di carica, sono neutri. Non sono “elettrici” come il vetro e la plastica. In realtà si caricano, ma si scaricano in fretta perché la loro carica è molto mobile. I metalli sono “conduttori”.

l’esperienza passo per passo: la scintilla con la Bottiglia di Leida

Si tratta di un esperimento dalla cattedra per il quale, al momento della scintilla, è meglio preparare una certa oscurità o penombra.

Dalle esperienze col tubo di PVC risulta che dopo un po’ l’elettricità svanisce, il fluido elettrico si disperde. Ma è possibile costruire una specie di contenitore per questo fluido elettrico, un frigorifero dove congelarlo che non evapori via?

È possibile. Van Musschenbroek e Von Kleist ebbero la stessa idea: mettiamolo in bottiglia. In una bottiglia particolare. A dire il vero, il fluido elettrico non entra nella bottiglia; viene immagazzinato nei sottili fogli metallici che la foderano all’interno e all’esterno. Questi fogli metallici sono detti “armature”, ed è chiaro il perché. L’armatura interna e l’armatura esterna. Mentre l’armatura esterna si può toccare con le mani, l’armatura interna è messa in comunicazione con l’esterno per mezzo di un filo metallico detto “conduttore” (passa attraverso il tappo, in figura).



*Alcune bottiglie di Leida dal libro di Franklin “Esperimenti e Osservazioni sull’Elettricità”
(per gentile concessione Octavo Editions – Warnock Library)*

Le due armature della bottiglia di Leida vengono caricate con segno opposto. La parete di vetro tra le due impedisce il flusso di carica, ma le cariche opposte si attraggono e pertanto rimangono incollate lì, da una parte e dall’altra del vetro, attraendosi reciprocamente.

La bottiglia di Leida è dunque un contenitore di “elettricità in squilibrio”. Quando (come in Fig. III) le due armature vengono messe a contatto tramite un arco (che può anche

essere la mano), la carica trova una strada per riequilibrarsi, e c'è un travaso di carica istantaneo. Anzi, il travaso di carica avviene un attimo prima del contatto, perché il fluido elettrico riesce a trovare la strada “sfondando” qualche millimetro di aria.

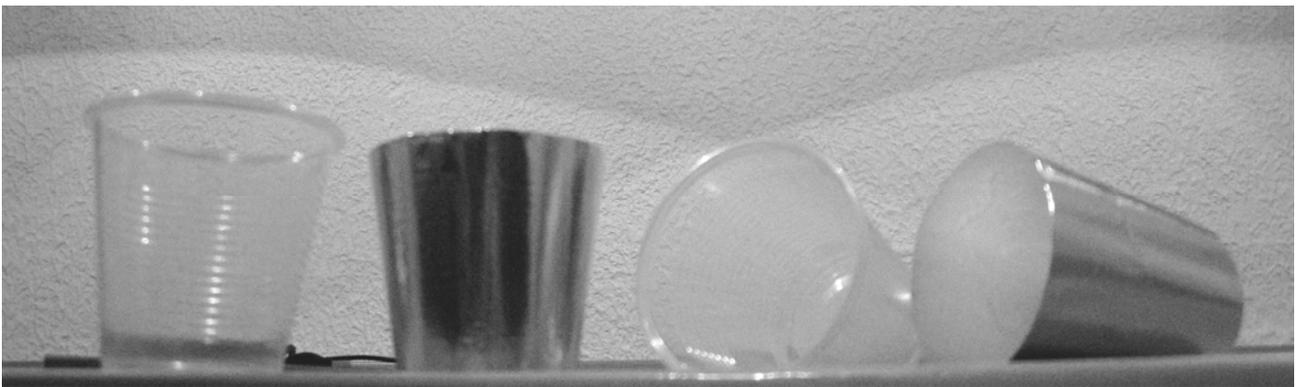
È la scintilla elettrica, il fluido elettrico rompe l'aria al suo passaggio, con un sonoro “crack” e un lampo di luce rosa-viola.

Per tutto il settecento la scintilla rosa-viola è stata considerata l'effetto più caratteristico dell'elettricità.

Com'è fatta la bottiglia di Leida che abbiamo costruito? (naturalmente, bisogna avercela già pronta da casa, e anche collaudata). È un “bicchiere di Leida”...

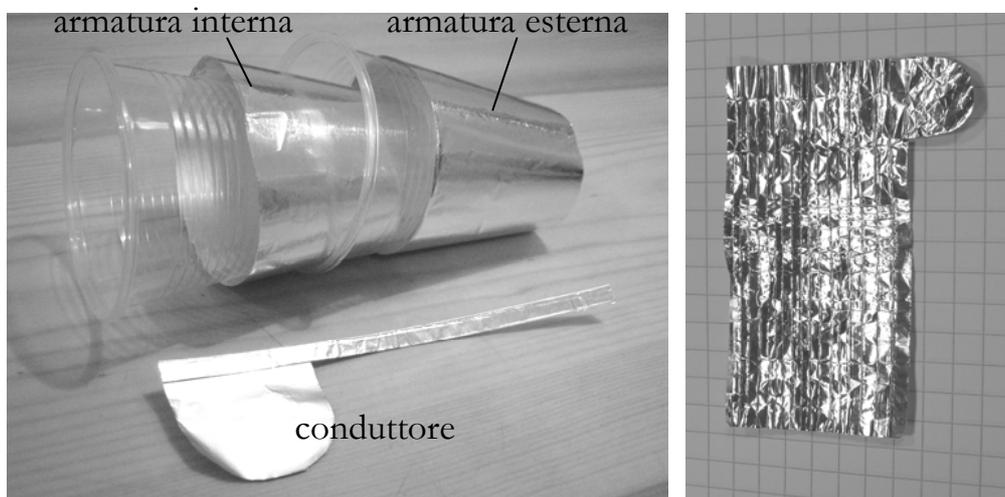
In classe, è forse preferibile per prima cosa caricare la bottiglia e far partire subito una bella scintilla. Poi si può passare all' “anatomia” della bottiglia, a vedere e descrivere com'è fatta.

In un foglio d'alluminio abbiamo ritagliato due superfici che calzano perfettamente su quelle dei bicchieri di plastica. Due mezzelune che, avvolte, danno due tronchi di cono, chiusi con un po' di scotch.

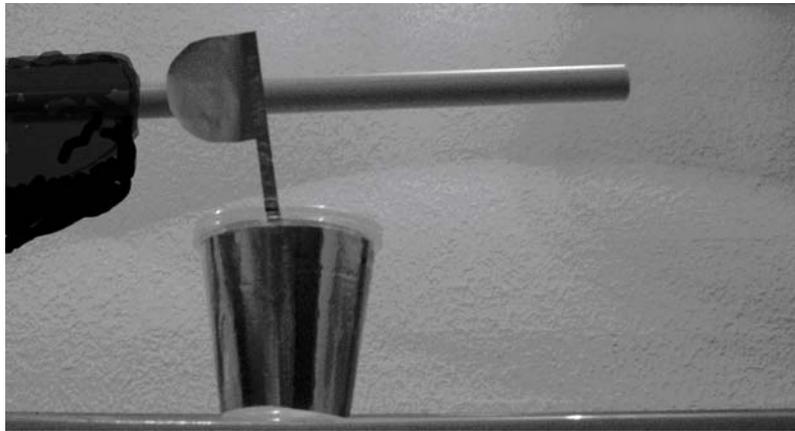


Poi abbiamo preparato il “conduttore”, una specie di bandierina, di “ P ”, con il gambo abbastanza consistente per via di vari ripiegamenti.

Abbiamo poi avvolto le armature attorno ai bicchieri, ben tese e attaccate (si possono fermare con un pezzetto piccolissimo di scotch), e poi abbiamo messo i bicchieri uno dentro l'altro, con il conduttore a contatto dell'armatura interna.



Il risultato sembra un bicchiere da cui sporge una bandierina. Si strofina nella pezza di lana il tubo di PVC, facendo in modo che appena uscito dallo sfregamento con la lana passi vicino alla bandierina.



Si può sentire il crepitio dell'aria, si vede la bandierina piegarsi verso il tubo di PVC, si intuisce che la bottiglia si sta caricando. Gli elettroni strappati dal PVC alla lana si stanno accumulando nell'armatura interna attraverso il conduttore.

Da lì, respingono gli elettroni dell'armatura esterna, spingendoli sulla faccia esterna, dove a poco vengono strofinati via dall'aria. La bottiglia è così carica in equilibrio, (-) sull'armatura interna e (+) sull'armatura esterna.

A casa, la prima volta, provare con una trentina di strofinate. Poi piegare il conduttore (con le mani), senza toccare con le mani l'armatura esterna, fino a far toccare la bandierina con l'armatura esterna. Si dovrebbe vedere una piccola scintilla.

Un numero maggiore di strofinate fa accumulare sempre più carica, e cresce anche la differenza di potenziale.

L'aria è isolante, ma può essere "rotta" se la differenza di potenziale è abbastanza alta. Per l'aria secca e pulita il "coefficiente di rigidità dielettrica" è circa 3 kV/mm (se umida, anche 10 volte più basso).

Ciò vuol dire che se la bottiglia è a 3000 volt (3 kV) ottengo la scintilla in aria secca e pulita quando conduttore e armatura distano 1 mm. Per avere una scintilla di 2 mm, devo caricare la bottiglia a 6000 volt.

Il campo elettrico, che è più intenso proprio laddove i prolungamenti delle armature si avvicinano. Quando è sufficientemente intenso (3 kV/mm), esso ionizza l'aria, ossia, spinge gli elettroni da una parte e tira i nuclei dall'altra, separando gli atomi. Improvvisamente quindi, c'è una gran quantità di cariche mobili a disposizione e la corrente può circolare. Man mano l'accumulo di carica diminuisce e con esso il campo elettrico responsabile della ionizzazione. Gli atomi ionizzati possono ricombinarsi. La ricombinazione di atomi ed elettroni è accompagnata dall'emissione della luce rosa-viola.

Le migliaia di volt possono incutere un certo spavento, ma sono analoghe alle scosse che si prendono ogni tanto, per esempio dopo essersi strofinati col sedile della macchina: la quantità di carica (e di corrente) in gioco è piccola.

l'esperimento passo per passo: la scossa con la bottiglia di Leida

Se si chiude il circolo tra armature con la propria mano, si prende la scossa. Se lo chiudono due persone che si tengono per mano, prendono entrambe la scossa. Nel 700 erano in voga girotondi nei salotti con spettacolari scosse collettive. L'abate Nollet, esperto di elettricità, organizzò una scossa dalla bottiglia di Leida con 700 monaci. Fecero tutti un salto contemporaneamente.

Le indicazioni sono minime: uno tiene la bottiglia di leida toccando saldamente l'armatura esterna, tutti si danno una bella stretta di mano (magari le mani strette si possono alzare all'altezza delle spalle), chi non vuole partecipare fa lo stesso, l'insegnante deve partecipare perché altrimenti gli studenti non si fidano, e lo studente all'estremità opposta della catena tocca la bandierina col dito. Crack!

In genere ci sono individui più sensibili alle scosse e individui meno, pertanto alcuni diranno "ahio", rideranno, saranno molto stupiti, altri invece diranno "beh sì ho preso la scossa ma non era mica forte...".

La scossa può essere proposta in apertura e in chiusura di lezione. La scossa è uno dei pochi buoni motivi per accorciare il racconto o la spiegazione, a meno di non essere maestri della *suspance*. In generale, prima la scossa, poi la spiegazione.

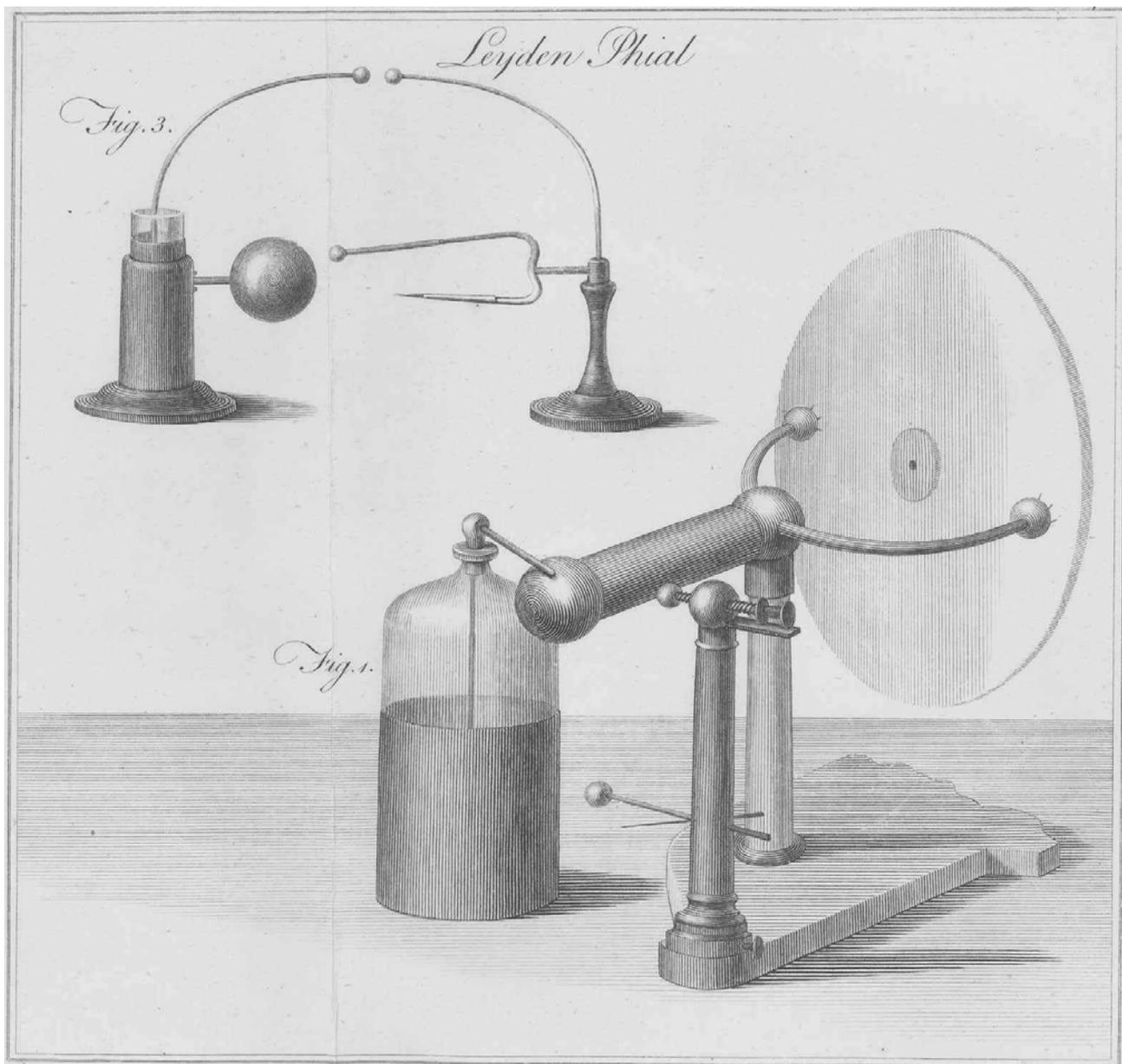
La spiegazione, se viene dopo la scossa, può infatti contare sul desiderio di capire un fenomeno eccezionale e inaspettato, ottenuto con materiali molto semplici. La scossa e la scintilla con materiali semplici comunicano in modo forte che la materia ha proprietà elettriche nascoste, che si possono andare a cercare.

i materiali, dove trovarli

Il polivinilcloruro è una plastica molto usata. Nei grandi negozi di fai-da-te si trovano canalette per cavi elettrici, anche di vario diametro, lunghe 2 o 3 metri. Si trovano anche tubi per l'idraulica, più spessi.

Se si intende tagliarli a pezzi, bisogna fare attenzione a non respirare i frammenti di plastica. Lo stesso vale se si scartavetrano per pulirne i bordi. È bene, poi, sciacquarli.

Gli altri materiali sono di uso comune. Le biglie di vetro si trovano nei negozi di giocattoli. Come palline di plastica si possono usare pallini da fionda, che si trovano in armeria. Si possono usare anche palline da ping-pong.



La bottiglia di Leida.

Il disco rotante è una “macchina elettrostatica”,
il generatore con cui si usava caricarla.

Il disegno è molto accurato, si notano bene
le armature interna ed esterna,
e il conduttore.

FONTI PER LA NARRAZIONE

Si presenta, come materiale per l'insegnante, un articolo del prof. Piccolino apparso come inserto sulla rivista "Naturalmente", riprodotto per gentile concessione della direzione della rivista. L'articolo dà un inquadramento accurato della controversia Galvani-Volta sull'elettricità animale.

da *Naturalmente* 13 1 (2000) pp. 6-15

La polemica tra Galvani e Volta e la nascita dell'elettrofisiologia moderna di Marco Piccolino

La polemica tra Galvani e Volta e la nascita dell'elettrofisiologia

di Marco Piccolino

La polemica tra Galvani e Volta era scoppiata nel 1792, all'indomani della pubblicazione nei *Commentari dell'Accademia delle Scienze di Bologna* dell'opera di Galvani intitolata *De Viribus electricitatis in motu musculari* ("Delle forze dell'elettricità nel moto muscolare") [Galvani, 1791], un'opera di cui è stato detto che aveva provocato una tempesta nel mondo scientifico di fine 700 pari forse agli sconvolgimenti politico-sociali che stavano attraversando l'inquietata Europa dell'epoca a seguito della rivoluzione francese [du Bois-Reymond, 1849].

Nel *De Viribus*, Galvani pubblicava per la prima volta i risultati degli studi sperimentali che conduceva ormai da oltre dieci anni sul ruolo dell'elettricità nella conduzione nervosa e nella contrazione muscolare. Con i suoi studi Galvani si era proposto di verificare l'ipotesi, avanzata da diversi studiosi nella prima metà del Settecento, secondo la quale la contrazione muscolare era dovuta ad un flusso di elettricità che scorreva lungo i nervi (ipotesi neuroelettrica). Galvani voleva inoltre tentare di stabilire dei principi validi e scientifici su cui basare la pratica dell'applicazione dell'elettricità in campo medico.

Sull'onda dell'entusiasmo suscitato dalle grandi scoperte teoriche e pratiche degli "elettrici"

del Settecento (tra l'altro la dimostrazione della natura elettrica del fulmine, l'invenzione della bottiglia di Leyda, primo condensatore della storia, e il perfezionamento delle macchine elettriche) molti avevano pensato che il fluido elettrico potesse essere utilizzato per la cura delle malattie più svariate, dalla paralisi, alle artriti, alla gotta, alle malattie nervose di diversa natura varia natura, o che potesse servire a far penetrare più efficacemente i medicamenti nei tessuti interni dell'organismo.

Però, dopo gli entusiasmi iniziali, un certo scetticismo si era diffuso negli ambienti scientifici più accreditati, e i "medici elettricisti" venivano spesso accusati di ciarlataneria. Nell'ambiente dell'Università e dell'Istituto delle Scienze di Bologna in cui il giovane Galvani aveva ricevuto la sua formazione scientifica verso la metà del 700 era forte l'influsso dell'insegnamento di Marcello Malpighi, il fondatore dell'anatomia microscopica moderna. Contro le tendenze empiriste che erano affiorate nella medicina della seconda metà del 600, Malpighi aveva propugnato il concetto di "medicina razionale", cioè la convinzione che la medicina dovesse fondarsi sullo studio scientifico dell'organismo, studio basato sull'esperimento e sulla deduzione logica, e non poteva dipendere solo da osservazioni empiriche non comprovate da uno studio sistematico dell'anatomia e della fisiologia [Piccolino, 1999a; Piccolino, 1999b]. Nell'intraprendere le sue ricerche sperimentali sul ruolo dell'elettricità nelle contrazioni muscolari Galvani si collocava dunque proprio nella linea della "medicina razionale" malpighiana, che imponeva l'approfondimento delle conoscenze sulle proprietà dell'organismo prima che si intervenisse su di esso con

medicamenti nuovi o con nuove pratiche terapeutiche.

Nel *De Viribus* Galvani dava un'accurata descrizione dei suoi esperimenti ed arrivava a formulare l'ipotesi dell'elettricità animale, ipotesi che, come abbiamo accennato, faceva dipendere la contrazione muscolare dal flusso di un'elettricità accumulata in stato di disequilibrio tra interno ed esterno della fibra muscolare.

Sebbene Galvani ponesse dunque l'elettricità alla base del fenomeno della contrazione muscolare, il modello funzionale che egli aveva sviluppato differiva dalle concezioni neuroelettriche anteriori, secondo le quali era un'elettricità propria dei nervi a determinare l'insorgenza delle contrazioni muscolari. Per Galvani, i nervi svolgevano semplicemente la funzione di conduttori dell'elettricità accumulata nei muscoli. Ispirandosi all'immagine della bottiglia di Leyda (il primo condensatore della storia), Galvani supponeva infatti che la fibra nervosa penetrasse all'interno della fibra muscolare, come il conduttore della bottiglia penetra all'interno di questa, stabilendo il contatto con l'armatura interna della bottiglia. Secondo Galvani, quando con un arco metallico si connette il nervo con a superficie del muscolo, si chiude un circuito che permetteva il flusso di elettricità tra interno ed esterno della fibra muscolare per la via del nervo, e si producono così le contrazioni.

Concettualmente il fenomeno corrispondeva alla scarica della bottiglia di Leyda, che si otteneva connettendo il conduttore della bottiglia alla sua armatura esterna. Quindi per Galvani l'arco metallico utilizzato per connettere nervi e muscoli aveva solo funzione di conduttore del fluido elettrico, e la forza che permetteva il movimento di questo fluido (o l'energia per usare un linguaggio moderno) era data dal disequilibrio elettrico presente nell'organismo.

Alessandro Volta aveva letto il *De Viribus* nel marzo del 1792 e si era subito impegnato in un intenso studio sperimentale degli effetti dell'elettricità sulle contrazioni muscolari per verificare i risultati e le conclusioni di Galvani. Il 2 aprile, dopo "otto o dieci giorni" dacché si era "applicato" a questi studi pubblicava un breve "transunto" dei suoi esperimenti

riconoscendo la validità delle "stupende scoperte del Sig. GALVANI". Poi nella *Memoria prima sull'elettricità animale* pubblicata all'inizio di maggio aveva parlato della scoperta dell'elettricità animale di Galvani come di "una di quelle grandi e luminose scoperte, che meritano di far epoca negli annali delle scienze fisiche e mediche", ritenendo che al confronto "è men originale e ammirabile la scoperta di FRANKLIN dell'identità del fluido elettrico e del fulmineo" [Volta, 1918].

Poi però, Volta era passato dall'entusiasmo all'incredulità rispetto alle conclusioni di Galvani, mano a mano che i suoi studi mettevano in luce aspetti che apparivano in contrasto con l'ipotesi galvaniana della fibra muscolare come bottiglia di Leyda in miniatura, in grado di accumulare fluido elettrico in stato di disequilibrio o sbilancio. Le difficoltà maggiori sorsero allorché Volta si rese conto che per produrre le contrazioni non era indispensabile connettere con un arco metallico il nervo e muscolo, ma bastava stabilire una comunicazione tra due punti di un nervo. Questa osservazione contrastava con l'ipotesi galvaniana dell'elettricità accumulata in stato di disequilibrio nei tessuti animali.

Dal momento che, attraverso i liquidi extracellulari, si stabilisce una comunicazione elettrica tra due punti di un nervo, appare difficile pensare che possa esistere uno squilibrio elettrico tra di essi, allo stesso modo che in una bottiglia di Leyda non è possibile immaginare che vi sia una differenza elettrica tra due punti dell'armatura esterna (o interna).

Allo stesso tempo Volta si rendeva conto che le contrazioni muscolari si generavano costantemente utilizzando un arco costituito da due metalli diversi, mentre un conduttore monometallico risultava di solito inefficace. Cominciò a farsi luce in lui l'idea che l'arco metallico non avesse la funzione di puro conduttore dell'elettricità presente in stato di squilibrio nell'organismo che Galvani gli aveva assegnato, ma che avesse esso la capacità di generare il disequilibrio responsabile del movimento di fluido elettrico che a sua volta determinava le contrazioni. Insomma, per lo scienziato di Pavia gli archi metallici agivano da "motori" di elettricità e non da semplici conduttori, e la differenza dei metalli appariva essere respon-

sabile di questa nuova proprietà “eletto-
motrice” (“è la differenza dei metalli che fa”).
Sulla base dei suoi studi Volta elaborò ad un
certo punto la teoria del contatto metallico,
assumendo che metalli diversi differissero nella
loro tendenza a “dare” o a “prendere”
elettricità, e che lo squilibrio che si generava nel
contatto tra due metalli diversi dipendeva da
questa differenza. Metalli come lo zinco, il
piombo, lo stagno hanno una tendenza a
prendere elettricità; messi a contatto con metalli
come il rame, l’argento e l’oro (che hanno
invece una tendenza a dare) si caricano
positivamente, mentre i metalli del secondo
gruppo si caricano negativamente.

Per Volta dunque, negli esperimenti con gli
archi metallici, il disequilibrio elettrico
responsabile dello scorrere del fluido elettrico
nei tessuti dell’organismo, responsabile poi
degli effetti fisiologici osservati, era generato dai
metalli dissimili degli archi e non dall’organismo
stesso. Quindi l’ipotesi di Galvani,
dell’elettricità animale presente in stato di
disequilibrio o sbilancio nei tessuti animali era,
per Volta, non necessaria. Se metalli diversi
sono in grado di generare un disequilibrio
elettrico capace di promuovere il flusso di
elettricità nei tessuti dell’organismo, perché
assumere l’esistenza di un disequilibrio elettrico
intrinseco all’animale?

Questa convinzione si rafforzò in Volta quando
a partire dal 1796, con particolari accorgimenti
Volta riuscì a misurare la debole forza elettrica
che si sviluppava nel contatto tra due metalli
diversi (dapprima utilizzò l’elettrometro “a
piattelli” di Nicholson, poi l’elettrometro
condensatore che egli stesso aveva messo a
punto).

Davanti alle obiezioni di Volta, Galvani
notava come, nonostante archi costituiti da
metalli diversi fossero particolarmente efficaci
nel produrre contrazioni, pure queste potevano
essere indotte con archi monometallici ed anche
connettendo nervi e muscoli anche senza
utilizzare alcun metallo (per esempio servendosi
di pezzi di tessuti dell’animale). Inoltre nel 1794
Galvani (e lo scienziato di origine pisana
Eusebio Valli) riuscivano ad ottenere
contrazioni nelle rane semplicemente
connettendo direttamente nervo e muscolo,

senza usare né metalli né alcun altro materiale
[Galvani, 1794; Valli, 1794].

Da parte sua Volta controbatteva
all’esperimento delle contrazioni senza metallo.
(che apparve all’epoca come un *experimentum
crucis* a favore dell’ipotesi dell’elettricità
animale), osservando che anche tessuti diversi
(come il tessuto nervoso e quello muscolare)
potevano produrre elettricità al loro contatto, e
sviluppando l’idea che conduttori diversi di
qualsiasi tipo (sia metallici che corpi umidi)
erano in realtà in grado di agire da elettromotori
quando posti a contatto reciproco.

Quindi, secondo Volta, l’elettricità che era alla
base delle contrazioni senza metallo non poteva
essere considerata come un’elettricità
genuinamente animale, ma era solo un nuovo
tipo di elettricità di contatto [Volta, 1918].

Questa nuova concezione di Volta appariva
evidentemente come un’ipotesi ad hoc. Di fatto
essa poneva una difficoltà apparentemente
insormontabile a Galvani ed in particolare alla
sua ipotesi della fibra muscolare come
minuscola bottiglia di Leyda di cui la fibra
nervosa costituiva il “conduttore”. Sembrava
infatti impossibile forzare il movimento del
fluido elettrico dall’interno all’esterno del
muscolo per la via del nervo, se nervo e
muscolo non dovevano essere connessi insieme
(per evitare il contatto tra corpi dissimili).
Galvani, però, convinto dell’importanza di
fornire fatti nuovi nelle controversie
scientifiche, si mise alla ricerca di un disegno
sperimentale in grado di far fronte anche alle
nuove obiezioni del suo competitore, e riuscì
nel suo proposito in un esperimento pubblicato
nel 1797, un esperimento che è stato
considerato come “l’esperimento più capitale
dell’elettrofisiologia” [du Bois-Reymond, 1849],
la vera fondazione di questa nuova scienza. Egli
preparò e separò le due zampe di una rana con i
rispettivi nervi sciatici sezionati vicino alla loro
emergenza dal canale vertebrale, e le pose ad
una certa distanza l’una dall’altra. Poi, con un
bastoncino di vetro mosse il nervo
corrispondente ad una delle due zampe così da
porlo in contatto con due punti differenti
dell’altro nervo, piegato a formare un “picciol
arco”. Se, nel corso della manipolazione si
poneva cura che una delle due parti del primo
nervo usate per stabilire il contatto fosse la

boccuccia del nervo tagliata, allora frequentemente la contrazione compariva nella prima zampa e spesso anche nella seconda [Galvani, 1797]. Nonostante l'importanza di questo esperimento come prova obbiettiva dell'esistenza di un'elettricità intrinseca all'animale, non dovuta ad una semplice differenza tra corpi diversi, lo sviluppo successivo della polemica fu segnato dal trionfo di Volta con l'invenzione della batteria che, apparve non solo una prova dell'ipotesi dello scienziato di Pavia sul potere elettro-motore dei metalli, ma anche storicamente una confutazione di fatto della teoria galvaniana dell'elettricità dei metalli.

Occorsero alcuni decenni dopo Galvani e Volta prima che con Leopoldo Nobili e Carlo Matteucci si arrivasse, con l'uso del galvanometro, alla dimostrazione strumentale dell'elettricità animale. Riprese così il cammino dell'elettrofisiologia, che prima attraverso l'opera di du Bois-Reymond, von Helmholtz, Hermann e Bernstein in Germania, poi in Inghilterra, con di Gotch, Lucas e Adrian, sarebbe arrivata nel 1952 con gli studi di Hodgkin e collaboratori a stabilire nei dettagli il meccanismo del coinvolgimento dell'elettricità animale nella conduzione nervosa, aprendo il campo alla fase più moderna dell'elettrofisiologia e della neurofisiologia (si veda [Hodgkin, 1964]. Con Hodgkin, scomparso nel dicembre 1998, a quasi due secoli esatti di distanza da Galvani, si concludeva in qualche modo il ciclo storico delle ricerche iniziate dallo scienziato di Bologna nella seconda metà del 700.

Bibliografia

Reymond E. du Bois (1849) *Untersuchungen über thierische Elektrizität*. Reimer, Berlin, 1848 (1st. Volume), 1849 (2nd Volume, 1st Part), 1860 (2nd Volume, 2nd Part, Bogen), 1884 (2nd Volume, 2nd Part, Bogen)..

L. Galvani (1791) *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* Bon. Sci. Art. Inst. Acad. Comm. 7:363-418.

L. Galvani (1794) *Dell'uso e dell'attività dell'arco conduttore nelle contrazioni dei muscoli* Bologna: a S. Tommaso d'Aquino.

L. Galvani (1797) *Memorie sulla elettricità animale al celebre abate Lazzaro Spallanzani Aggiunte alcune elettriche esperienze di Gio. Aldini*. Bologna: Sassi.

A. L. Hodgkin (1964) *The conduction of the nervous impulse*. Liverpool: Liverpool University Press.

M. Piccolino (1999a) *Marcello Malpighi: una rivoluzione 'galileiana' nella biologia e medicina del Seicento: I – "Continue molestie e vessazioni" e grandi scoperte* NATURALMENTE 12(3):9-17.

M. Piccolino (1999b) *Marcello Malpighi: una rivoluzione 'galileiana' nella biologia e medicina del Seicento. II – 'Galenisti' ed 'empiristi' contro la Scienza Nuova*. NATURALMENTE 12(4):5-12.

E. Valli (1794) *Lettera XI sull'elettricità animale* Mantova: G. Braglia.

A. Volta (1918) *Le opere di Alessandro Volta (edizione nazionale)* I Vol. Milano: Hoepli.

ringraziamenti & C.

LA CLASSE III B A.S. 2005-2006 DELLA SCUOLA BOMPORTI DI TRENTO PROF FORTI	LA CLASSE III B A.S. 2006-2007 DELLA SCUOLA BOMPORTI DI TRENTO PROF BOVE	LA CLASSE III C A.S. 2006-2007 DELLA SCUOLA ANDREATTA DI PERGINE PROF ATANASIO	GALILEO KOB0	IL GRUPPO DI DOCENTI DI SCIENZE "I 59 TARENTINI"
MARCO PICCOLINO	LA DIREZIONE DELLA RIVISTA NATURALMENTE	GIORGIO PAVANA	HIROMI O'HARA	OCTAVO EDITIONS WARNOCK LIBRARY