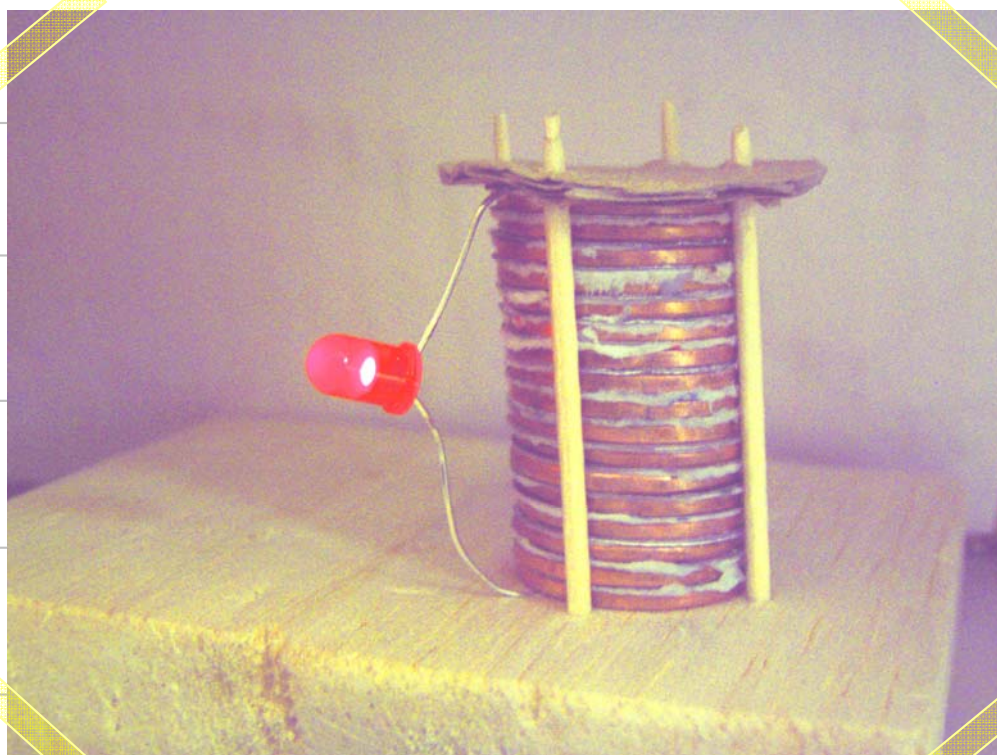


la Pila di Volta

Versione Bozza



di Beniamino Danese

SCIENZE SUL BANCO CON OGGETTI SEMPLICI

il progetto

Il progetto è portato avanti 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 Pila di Volta / Introduzione	2
o il nocciolo della lezione	2
o legami fondamentali, inquadramento dell'argomento	3
- Oggetti	4
o esperimento passo-passo	4
o i materiali, dove trovarli	7
- Fonti per la Narrazione	8
o Anno 2000: Volta elettrofisiologo 200 anni dopo l'invenzione della pila voltaica	8
o Le Pile di Volta disegnate dall'Incisore della Royal Society, James Basire	16
o <i>Sull'elettricità eccitata dal semplice contatto di sostanze conduttrici di diversa natura</i>	17
o Bibliografia	28
- Attenzioni di Fisica e Chimica	29
o La teoria di Volta del "potere elettro-motore dei metalli"	29
o La pila di Humphry Davy e la "teoria elettro-chimica"	31

LA PILA DI VOLTA

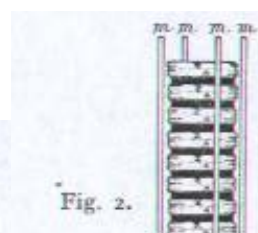
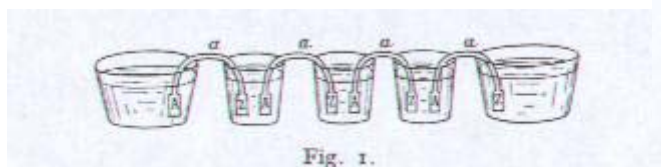
INTRODUZIONE

nocciolo della lezione

gli studenti costruiscono le pile di Volta:

- la versione “a corona di tazze” (in piccoli gruppi) (Fig. 1, disegno di Volta)
- la versione, molto nota, “a colonna” o “a pila” (individualmente) (Fig. 2).

Essi usano le pile che hanno costruito per accendere piccoli LED (“dispositivi emettitori di luce”, sorgenti luminose a basso consumo).



Una lezione di questo tipo fa tesoro dell'esperienza raccontata, a distanza di tanti anni, da un giovane studente di Volta, il medico e viaggiatore Augusto Bozzi Granville, che frequentò l'Università di Pavia nei primi anni del 1800.

“Ma come descriverò i sentimenti che io, insieme ai miei compagni del corso di filosofia sperimentale a Pavia, provammo il giorno in cui l'immortale Volta, alla nostra presenza, chiamò in vita questa energica potenza! Egli dapprima mise (spiegandone, mentre procedeva, l'ordine e la ragione) in contatto due pezzi metallici diversi, e su di essi una carta inumidita con acqua salata; poi, dopo aver ripetutamente collocato l'uno sull'altro questi accoppiamenti fra due metalli (fissati fra sottili sbarre di vetro) fino al numero di cento coppie, ci mostrò istantaneamente, e ci fece provare, la scintilla elettrica!

Noi eravamo affascinati.

Giacché, sebbene l'apparizione luminosa della scintilla elettrica, come risultato dello sfregamento su vetro o resina, era familiare a tutti noi, come avevano ripetutamente dimostrato gli esperimenti di Nollet e di Cavallo, la produzione del medesimo fenomeno al contatto fra due metalli diversi (un fenomeno non evanescente, bensì continuo fin tanto che la pila rimaneva intatta e la carta umida) era un fatto sensazionale che per lo meno produceva stupefazione.

Pertanto fu che, nell'aula di filosofia meccanica all'Università di Pavia, all'inizio del 1800, l'elettricità voltaica ebbe la sua nascita. Immediatamente, il primo giorno di vacanza, gli studenti che avevano più disponibilità degli altri si diedero da fare a procurarsi da casa un certo numero di soldi, che furono accuratamente lavati, ed un ugual numero di lire. Successivamente essi tagliarono dalle loro tele di lino dei pezzi rotondi, della dimensione delle monete, che vennero imbevuti di sale ed acqua, e così vennero costruite delle pile voltaiche, per produrre e studiare i fenomeni visti, imitando in tale contesto l'esempio del nostro professore.

Tali scene furono troppo sensazionali per non aver lasciato nella memoria una tale sorta di impressione che mi consente, alla distanza di quasi settanta anni, di ricordarle come una cosa di ieri”.

dalla mostra "1799... E LA CORRENTE FU. DUECENTO ANNI DALLA PILA DI VOLTA",
Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Fisica A. Volta
<http://ppp.unipv.it/Mostra/index.htm>

La pila "a corona di tazze" esemplifica molto bene il circolo della corrente, l'effetto elettromotore dei metalli, i luoghi delle reazioni chimiche, ed è d'aiuto per la formazione di uno schema chiaro e per l'introduzione dei numerosi termini e convenzioni legati a pile e batterie.

Nella pila "a pila" cambia solo la geometria, più compatta, e la sua costruzione, insieme all'identificazione del polo positivo e negativo, può anche essere lasciata agli studenti (a discrezione dell'insegnante, in classe o come compito per casa o anche come compito in classe).

legami fondamentali, inquadramento dell'argomento

la pila di Volta è un oggetto con una ricchezza di legami importanti praticamente inesauribile.

La sua invenzione avvenne poco dopo la morte di Galvani, nel contesto del grande dibattito scientifico sulla natura dell'elettricità animale. In questo dibattito Galvani poneva l'accento sull'elettricità in squilibrio presente nelle fibre muscolari come in piccole bottiglie di Leida. Questa elettricità in squilibrio era responsabile delle contrazioni muscolari, per esempio in una rana. Volta invece attribuì lo squilibrio elettrico ai metalli differenti, e fu in grado di misurarlo, anche senza rana. Elaborò allora la teoria del "potere elettromotore" dei metalli. Si può dire che entrambi gli studiosi avessero ragione, ma la costruzione della pila e l'entusiasmo che essa generò fecero apparire Volta come il vincitore del dibattito. Le ricerche di Galvani soprattutto, ma anche di Volta, sono la base della moderna elettrofisiologia. Per esempio, il funzionamento dei nervi, così importanti per il movimento e per le sensazioni, può ben essere illustrato a partire dalla pila.

La pila fu di grandissima importanza per la chimica: fu infatti possibile usarla per l'"elettrolisi", la scomposizione di numerose sostanze. Per esempio dividere l'acqua in idrogeno e ossigeno (Nicholson e Carisle, 1801), dividere il sale in cloro e sodio, eccetera. La pila permise di scoprire così numerosi elementi chimici. Molto presto fu anche chiarito che la base del funzionamento della pila non era "il potere elettromotore dei metalli", ma le reazioni chimiche alle interfacce (a partire da Davy, 1800).

Le reazioni alle interfacce sono alla base della corrosione dei metalli, e rivestono quindi grandissima importanza per lo sviluppo di vernici e superfici anticorrosione, ma anche per i rivestimenti metallici ottenuti con la cosiddetta galvanoplastica.

In fisica, l'importanza della pila non può essere sottostimata: la scoperta degli effetti magnetici della corrente elettrica portò all'invenzione di motori elettrici e dinamo (Faraday) e alla formulazione della Teoria del Campo Elettromagnetico (Maxwell).

Con la pila fu possibile sviluppare tantissime ricerche, che portarono tra l'altro a innumerevoli dispositivi, come lampadine, dinamo, telegrafi, radio, amplificatori, radar...

OGGETTI

l'esperienza passo per passo

i materiali in dotazione a ogni studente sono:

pila “a corona di tazze”	pila “a colonna” o “pila”
Bicchierino di plastica	Bicchierino di plastica
Acqua	Acqua
Un cucchiaino di sale	Un cucchiaino di sale
Foglio di alluminio	Foglio di alluminio
LED	LED
<i>filo di rame</i>	<i>Basetta di balsa</i>
	<i>4 stuzzicadenti</i>
	<i>Pezzetto di cartone</i>
	<i>8 monetine da 5 cent (o da 2 o 1)</i>

+ una forbicina

Come si vede, gran parte dei materiali usati nella pila “a corona di tazze” si continuano ad usare nella versione “a colonna”. Nella pila a corona di tazze sarà necessario che gli studenti formino “corone” con i compagni dei banchi limitrofi, in quattro o cinque, per accendere il LED. Nella versione a pila, invece, ogni studente potrà costruire una pila in grado di accendere il LED.

È bene chiarire da subito le diverse possibilità e alcuni aspetti della tempistica. Andando “di fretta” e senza destinare tempo a racconto e spiegazioni, se non in minima parte, si possono realizzare entrambe le pile in una doppia ora.

È una soluzione che però sconsigliamo, perché non è accompagnata da vera comprensione da parte dei ragazzi. Ci pare molto meglio riservare un po' più di tempo e mescolare narrazione e spiegazione all'esperienza.

Così un'ora abbondante può servire alla costruzione della pila a corona di tazze, con racconto e spiegazione. Altrettanto vale per la pila “a colonna”

Attenzione a non cadere nell'eccesso opposto. Un'ora può essere sufficiente per presentare la pila a colonna, inquadrarla con un racconto e costruirla. Ma se non si tiene d'occhio il tempo, è facile che alla fine non ne rimanga per chiudere il cerchio con una spiegazione conclusiva.

Ci sembra importante, inoltre, riservare almeno gli ultimi cinque minuti perché gli studenti mettano a posto la classe (ci sono stuzzicadenti, acqua, ritagli di carta e alluminio in giro). Il “mettere a posto” deve essere praticato sistematicamente, per educare lo studente a considerare che il lavoro è finito quando si è messo a posto, che riordinare è parte integrante del lavoro, dell'attitudine mentale da laboratorio.

Si tratta comunque di una responsabilità che ha un valore tout-court, non ristretta al momento di laboratorio.

(1) pila a corona di tazze – la singola tazza

Ogni studente prepara un elemento della pila, ossia una delle tazze che verranno unite a formare la corona.

Si tratta di un bicchierino d'acqua (di rubinetto va bene) con un cucchiaino di sale, ben mescolato. Facoltativo, si può aggiungere limone o aceto all'acqua.

Nel bicchierino vengono immersi:

- il filo di rame sfrangiato, a mo' di "scopa della strega", ossia cercando di massimizzare la superficie (elettrodo di rame)
- una striscia di alluminio da cucina, ripiegata quattro-cinque volte, grande più o meno come una gomma da cancellare (elettrodo di alluminio).

Attenzione: sott'acqua i due elettrodi non devono toccarsi, altrimenti l'elemento è "cortocircuitato". Ciò fatto, questa singola tazza, di per sé, è già una pila, "spinge il fluido elettrico". Ecco il primo punto: la scoperta di questo fatto. Come dice Volta...

... Tutto infine conferma ciò che ho avanzato e provato in mille maniere, cioè: che il combaciamento di conduttori diversi, singolarmente dei conduttori metallici, compresevi le piriti e altre miniere, e il carbone di legna, che ripongo tutti nella medesima classe de' conduttori metallici, e chiamo conduttori secchi, o di prima classe, il combaciamento, dico, di cotai conduttori fra loro e con altri conduttori umidi, o contenenti qualche umore, che assegno ad una seconda classe, scuote, spinge, incita in qualsisia modo il fluido elettrico. Non mi domandate per anco il come ciò siegua: basta al presente, che questo sia un fatto, e un fatto generale.

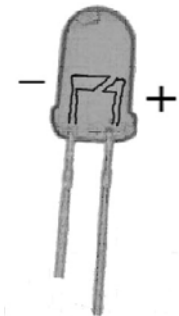
(tre lettere al prof. Gren di Halla – Lettera Prima – Como, 1 Agosto 1796)

(2) pila a corona di tazze

Ma una tazza fornisce troppo pochi volt, 0,6 circa, per accendere il led. È necessario unirne cinque (cinque studenti da banchi vicini). Bisogna collegare l'alluminio col rame, per esempio, accartocciandoglielo intorno.

Agli estremi rimasti, un alluminio e un rame, si unisce il led. Bisogna unire il polo positivo del led al rame, e il polo negativo all'alluminio.

Il polo positivo del led si distingue per la gamba lunga e il dente corto all'interno della campana rossa.



Se non ci sono cortocircuiti, se i contatti vanno bene, e se il led è attaccato giusto, allora si accende, ed è una bella soddisfazione.

Questo è il secondo punto: dopo la scoperta del fatto che il fluido elettrico viene mosso, Volta arriva all'invenzione di un dispositivo che sfrutta questo fatto. Il terzo punto sarà l'elaborazione di una teoria che rende conto di tutto ciò.



3) pila a colonna – il singolo terzetto

La pila a colonna, invece, la famosa pila che Volta mostrò a Napoleone, è più compatta e portatile. Ogni studente ne costruisce una. I materiali sono dello stesso tipo dei precedenti, ma l'arrangiamento è differente.

L'elemento base è un terzetto, una specie di tramezzino, formato da: monetina da 5 centesimi di euro (il rame), un dischetto di carta assorbente (ritagliato delle stesse dimensioni della moneta) imbevuto in acqua salata (quella di prima), un dischetto di alluminio, sempre delle stesse dimensioni.



3) pila a colonna

La costruzione è molto semplice, si tratta di impilare otto o dieci di questi terzetti, sempre nello stesso ordine (come nella foto in copertina, o nel disegno a pag.).

Attenzione: se la carta bagnata o l'alluminio sporgono e toccano più strati sottostanti, gli elementi in mezzo vengono "cortocircuitati", saltati via, e la pila potrebbe non funzionare. Ogni strato deve essere a contatto solo con l'immediatamente precedente e l'immediatamente successivo.

A questo punto si può attaccare il led alla pila, per accenderlo.

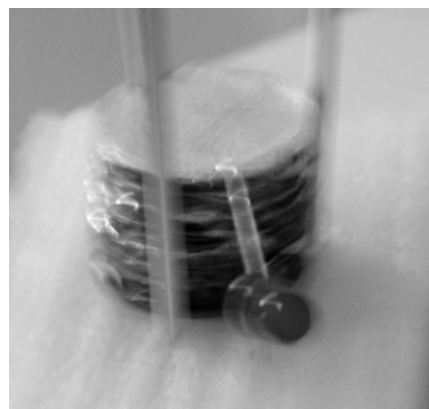
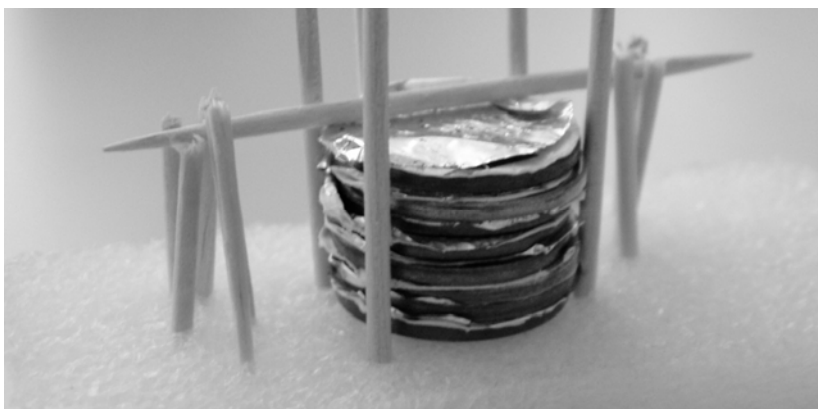
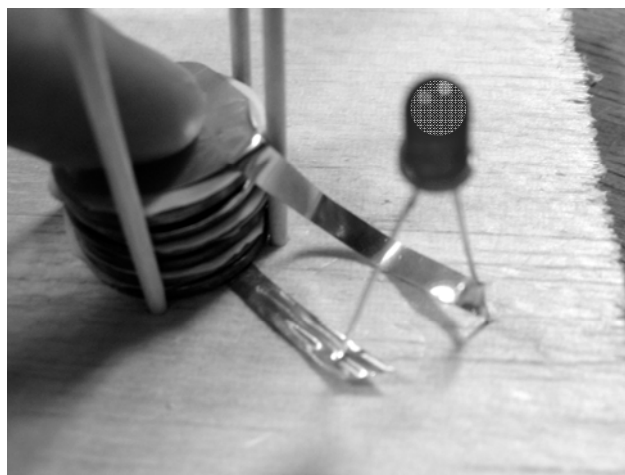
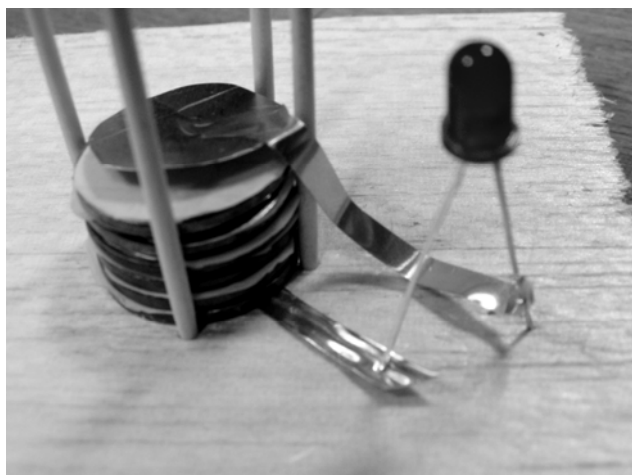
Il led ha una polarità ben definita (pag. 5) e può servire per stabilire quali sono il polo positivo e il polo negativo della pila.

Si può tenere tutto in una mano. Se non si accende in un verso, quello giusto sarà l'altro.

Poi, per non dover tenere sempre tutto il dispositivo in mano, la pila può essere montata sulla basetta di balsa, o su un pezzo di polistirolo qualsiasi. Può essere tenuta premuta e dritta con gli stuzzicadenti.

Il led può stringere la pila come una tenaglia, e stare a contatto con la pila anche da solo. Oppure si può usare un pezzo di cartone per tenercelo stretto.

Alcune fotografie di pile a colonna sono a pagina seguente.



i materiali, dove trovarli

si tratta prevalentemente di materiali di uso comune (alluminio, stuzzicadenti, monetine, bicchieri, acqua salata). Il filo elettrico e i LED si possono trovare in un negozio di articoli elettrici-elettronici (a Trento in via Maccani ce n'è più d'uno).

Le basette di balsa si possono trovare in negozi di bricolage e fai-da-te. Ma allo stesso scopo, seppur meno eleganti, anche avanzi di polistirolo o cartone vanno bene.

Un grande numero di monete si può cambiare in banca. Una pila da 8 o 10 elementi è fatta quindi con 0,40 o 0,50 €. La distribuzione può rivelarsi difficoltosa. Una possibilità è quella di affidare a uno studente "la banca", circa 10 euro in monetine da 5 centesimi. Alla fine deve restituire i 10 euro. Alla spicciolata, gli altri studenti si recano da lui per cambiare i soldi. Alla fine terrano le pile comprese le monetine, mentre i 10 euro verranno restituiti all'insegnante.



Infine, una nota sulla pulizia delle monete. Per togliere la patina marrone di ossido, il metodo che ci sembra migliore è quello di immergerle (anche per poco) in aceto e sale. Sciacquarle e asciugarle sfregando bene (a questo punto sono d'un bel color rame), e poi sfregarle con la gomma da cancellare. Ritornano a un piatto color salmone, non buono per i numismatici, ma ottimale per i nostri scopi.

FONTI PER LA NARRAZIONE

Si presenta, come materiale per l'insegnante, un articolo del prof. Piccolino apparso sulla rivista "Naturalmente", riprodotto per gentile concessione della direzione della rivista, e il testo della Lettera di Volta a Banks, in cui viene descritta per la prima volta la pila.

L'articolo del prof. Piccolino riguarda l'opera "da fisiologo" di Volta, e sfata il luogo comune sulla contrapposizione Galvani fisiologo – Volta fisico. Tra gli interessi fisiologici di Volta, la stimolazione elettrica delle papille gustative e del nervo ottico, e i pesci elettrici come la torpedine, il cui organo elettrico servirà da modello per la pila.

Un altro articolo dello stesso autore, che dà un inquadramento accurato della controversia Galvani-Volta sull'elettricità animale, è nel libretto sulla "Bottiglia di Leida".

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

'Anno 2000: Volta elettrofisiologo 200 anni dopo l'invenzione della pila voltaica' di Marco Piccolino

Anno 2000: Volta elettrofisiologo 200 anni dopo l'invenzione della pila voltaica

di Marco Piccolino

Due secoli fa, il 20 Marzo del 1800, Alessandro Volta, professore di Fisica all'Università di Pavia, e membro della Royal Society di Londra, indirizzò da Como sua città natale, una lettera, scritta in francese, a Sir Joseph Banks, presidente della Royal Society in cui annunciava l'invenzione di un strumento capace di produrre elettricità per mezzo del semplice contatto di sostanze conduttive di specie differenti. [Volta, 1800]. Questo strumento, che sarà poi denominato "batteria" o "pila voltaica", segnò l'avvento di una nuova epoca nello sviluppo della fisica moderna, e, con le sue applicazioni, era destinato a cambiare in un modo importante lo stile di vita dell'umanità.

Un anno più tardi, in una lettera indirizzata ad un ignoto corrispondente (probabilmente l'abate torinese Anton Maria Vassalli), Volta si lamentava del fatto che le ricerche che erano state stimulate dalla sua invenzione avevano avuto come oggetto quasi esclusivamente gli effetti chimici del suo strumento, e che gli studiosi, egli notava, "sembrano far poco conto degli altri effetti che voglion dirsi elettrico-fisiologici, che sono per altro niente meno

singolari e sorprendenti da quanto verrò accennandovene". E proseguiva dicendo: "Io all'incontro mi occupai dapprincipio in gran parte intorno a questi..." [Volta, 1923].

In una memoria scritta nel 1802, dopo aver discusso degli effetti fisiologici di stimoli elettrici di durata variabile ottenuti con l'uso della sua batteria, Volta sottolineava il fatto che molte applicazioni interessanti potevano essere fatte di questi ed altri esperimenti, opportunamente variati, nel campo della medicina fisiologica e pratica [Volta, 1923].

L'interesse di Volta per i problemi medici e fisiologici connessi allo studio dell'elettricità è stato messo in ombra da una certa tradizione che ha voluto vedere nello scienziato di Pavia esclusivamente il fisico, in senso moderno, contrapposto al fisiologo e medico, lo scienziato bolognese Luigi Galvani. Come è noto, una vivace polemica contrappose nell'ultima parte del Settecento questi due grandi studiosi. La polemica verteva essenzialmente sulla natura e origine dell'elettricità responsabile delle contrazioni muscolari indotte sperimentalmente in preparati di rana con archi metallici, utilizzati per connettere nervi e muscoli [Piccolino, 1997; Piccolino, 1998].

Secondo Galvani le contrazioni erano dovute ad una elettricità intrinseca all'organismo, presente in stato di "sbilancio" o "disequilibrio" tra interno ed esterno delle fibre muscolari, elettricità pronta a mettersi in moto in seguito a sollecitazioni fisiologiche o sperimentali.

Lo studioso bolognese indicava questa elettricità come “elettricità animale”, utilizzando un termine introdotto nella letteratura scientifica del 700 dal francese Pierre Bertholon. Volta, da parte sua, riteneva invece che l'elettricità responsabile delle contrazioni muscolari delle rane derivasse dai metalli dissimili di cui erano costituiti di solito gli archi metallici utilizzati per connettere i nervi e i muscoli delle preparazioni sperimentali.

La tradizione storiografica che, nella controversia tra Galvani e Volta, ha teso ad esasperare il contrasto tra due concezioni considerate come irriducibilmente contrapposte, quella fisica quella medico-fisiologica, ha reso difficile una corretta valutazione dell'opera scientifica di Galvani, e, allo stesso tempo, ha impedito di individuare alcuni degli affascinanti temi che l'elettrofisiologia, la scienza sorta dalle ricerche dello studioso bolognese, si trovò ad affrontare fin dal suo nascere.

Inoltre essa ha anche impedito di porre nel giusto rilievo l'interesse di Volta per i problemi fisiologici e medici, e il contributo importante che lo scienziato di Pavia dette in campi che esulavano da quelli considerati più strettamente pertinenti alla fisica. Secondo questa tradizione l'invenzione della batteria elettrica da parte di Volta avrebbe costituito l'evento conclusivo nella polemica tra Galvani e Volta, sanzionando la vittoria di quest'ultimo, e di conseguenza la prevalenza del punto di vista fisico sulla concezione fisiologica [Polvani, 1942; Pera, 1986].

Non v'è dubbio che l'invenzione della batteria costituì una pietra miliare nella storia della scienza e della tecnologia, e che essa contribuì ad orientare quasi esclusivamente verso una direzione fisico-chimica l'ondata di studi messa in moto nel 1791 dalla prima pubblicazione degli studi di Galvani sul meccanismo della contrazione muscolare. Come Volta aveva notato, dopo che egli aveva reso pubblica la sua invenzione, c'era stato inizialmente un proliferare di studi sugli effetti chimici della batteria. Tra questi effetti particolarmente notevole era stato la decomposizione dell'acqua ottenuta per la prima volta da Nicholson in Inghilterra. All'inizio dell'800, la fase più eccitante del progresso della scienza elettrica fu marcata proprio dallo studio degli effetti chimici della batteria voltaica e dei fenomeni

chimici che sono alla base del suo funzionamento. Particolarmente importanti furono le ricerche di Davy, e in seguito di Faraday, suo successore alla Royal Institution di Londra, dove fu allestita una pila voltaica enorme (di oltre duemila elementi).

Comunque l'interesse di Volta per gli aspetti fisiologici degli effetti dell'elettricità sull'organismo animale era genuino, e i risultati che egli ottenne in questo campo non sono di minore importanza, non solo perché portarono all'invenzione della batteria, ma anche per la loro intrinseca rilevanza biologica.

Volta aveva iniziato i suoi studi sugli effetti dell'elettricità nella contrazione muscolare nel 1792, dopo aver letto il *De Viribus* l'opera di Galvani sull'argomento appena pubblicata (*si veda l'inserito*). Comunque il suo interesse per il coinvolgimento dell'elettricità nella “economia animale” era precedente alla pubblicazione dell'opera dello studioso bolognese, come è documentato da una lettera che Volta aveva indirizzato dieci anni prima ad una sua amica francese, Mme de Nanteuil, figlia del prefetto di Parigi [Volta, 1918].

In questa lettera Volta discuteva la possibilità dell'esistenza di una genuina “elettricità animale”, cioè di un'elettricità che “fosse associata in modo essenziale alla vita, che dipendesse da qualcuna delle funzioni dell'economia animale”. A suo dire, una simile espressione non era adatta per quelle forme di elettricità che possono essere prodotte “strofinando la schiena di un gatto, o strigliando un cavallo o pettinandosi i capelli”, e neppure per l'elettricità che “si è vista nascere come spontaneamente dalle piume di un pappagallino vivo”.

Ad ogni modo, egli aggiungeva, l'esistenza di una genuina elettricità animale è stata ora scoperta nei pesci elettrici da Walsh, che con i suoi esperimenti ha potuto verificare l'ipotesi della natura elettrica della scossa da essi prodotta [Walsh, 1773]. Nonostante questi esperimenti era difficile comunque figurarsi, notava Volta, come un animale potesse riuscire ad accumulare una grande quantità di fluido elettrico nel suo organismo e muoverlo poi con la sua volontà; ed era anche difficile capire come egli potesse produrre la sua scarica nell'acqua (un liquido esso stesso conduttivo) e dirigerla verso la preda. Per quello che concerne

queste ultime difficoltà, egli soggiungeva, esse possono essere spiegate considerando che l'acqua è in effetti un conduttore relativamente cattivo: in ambiente acquoso la scarica colpirebbe la preda perché l'elettricità prenderebbe la via preferenziale del suo corpo, che è miglior conduttore del liquido in cui la preda è immersa. Con queste parole, Volta stava facendo riferimento alla spiegazione della scarica del pesce elettrico data da Cavendish [Cavendish, 1776], una spiegazione che aveva portato lo scienziato inglese a costruire una torpedine artificiale ("artificial torpedo"), capace di produrre uno shock elettrico quando immersa in acqua. Volta concludeva la sua lettera dicendo che egli condivideva con Cavendish e Walsh l'idea che la scarica della torpedine implicava una grande quantità di fluido elettrico che comunque era dotato di una bassa tensione.

Questo era un aspetto importante del problema. La scarica dei pesci elettrici non sembrava corrispondere da vicino alle scariche elettriche alle quali erano abituati gli scienziati del 700 con uso delle macchine elettriche e delle bottiglie di Leyda (i primi condensatori). A differenza di questi strumenti artificiali, i pesci potevano provocare forti commozioni ed altri effetti fisiologici (le anguille elettriche potevano addirittura uccidere grossi animali), ma la loro scarica non produceva di solito i segni considerati tipici di una forte elettricità, come scintille, scoppiettii, "aure" e "venti elettrici".

Fino a Walsh, queste differenze ponevano difficoltà abbastanza serie all'ipotesi della natura elettrica della scossa prodotta da questi pesci. D'altra parte, era stato dimostrato che un apparato costituito da un gran numero di bottiglie di Leyda ("batteria"), caricate debolmente e connesse in parallelo, poteva produrre una scarica simile a quella della torpedine, sia per l'assenza di tipici segni elettrici che per la forte efficacia fisiologica. Volta era ben preparato ad accettare questo modo di vedere, dal momento che egli aveva sviluppato l'idea che l'efficacia dell'azione elettrica dipendeva da due fattori: un fattore quantitativo, l'entità del fluido elettrico, (quello che ora indichiamo come carica elettrica) ed un fattore intensivo, che egli indicava come "tensione" (e che ora noi indichiamo più comunemente come potenziale o "voltage").

Le macchine elettriche producevano deboli effetti elettrici perché, nonostante la loro tensione molto elevata, esse mettevano in moto piccolissime quantità di carica. La scarica dei pesci elettrici, invece, era potente nei suoi effetti fisiologici a causa dell'enorme quantità di fluido elettrico messo in moto, anche se, per la tensione relativamente bassa, essa non era accompagnata dai tipici segni elettrici.

Alcuni dei temi trattati nella lettera a Mme de Nanteuil ritorneranno poi nella lettera a Joseph Banks sull'invenzione della batteria, lettera che egli scrisse dopo otto anni di lavoro sperimentale estremamente intenso e ricco di risultati. Nella lettera a Banks Volta indicava l'apparato da lui costruito come "organe électric artificiel" (una denominazione che ricordava l'espressione "artificial torpedo" di Cavendish). Questo per sottolineare che essa era "simile in fondo - diceva Volta - come io farò vedere, e persino per come io l'ho costruita, nella forma, all'*organo elettrico naturale*, della torpedine, dell'anguilla tremante, &c ben più che alla bottiglia di Leyda, e alle batterie elettriche conosciute". Essendo costituita da un'alternanza di dischi di due differenti metalli (rame o stagno, o argento e zinco), con interposti dischi umidi, la batteria aveva una chiara somiglianza strutturale con l'organo elettrico naturale dei pesci, fatto anch'esso di dischi impilati. Per rendere la somiglianza con l'anguilla elettrica ancora più evidente, Volta si spingeva a dire che i dischi dell'organo artificiale "potrebbero essere riuniti insieme con dei fili metallici pieghevoli o con molle a spirale, ed essere ricoperti per tutta la loro lunghezza da una pelle, e terminare in una testa e in una coda dalla forma opportuna &c."

Tra l'organo elettrico artificiale e quello naturale c'era per Volta un'altra e più profonda somiglianza, di tipo operativo. A differenza di ogni apparato artificiale conosciuto, e a somiglianza unicamente con l'organo elettrico naturale, il nuovo apparato era capace di produrre e mantenere un movimento di fluido elettrico, senza essere costituito al suo interno materiali isolanti. È importante sottolineare qui come la possibilità illustrata dal dispositivo messo a punto da Volta di una "elettricità eccitata dal mero contatto di sostanze conduttive" (come recita il titolo stesso della lettera a Banks) rimuoveva un'importante

difficoltà all'idea che l'elettricità potesse essere prodotta ed accumulata nei tessuti dell'organismo, noti per essere costituiti da materiali conduttivi. Questo era proprio una delle argomentazioni utilizzate attorno alla metà del 700 da uno dei più grandi fisiologi dell'epoca, Albrecht von Haller per controbattere l'ipotesi che la conduzione nervosa e l'eccitabilità muscolare potessero dipendere dal flusso di un fluido elettrico. Haller e i suoi seguaci (tra i quali particolarmente importante, in Italia, Felice Fontana) infatti sostenevano che non poteva esistere nell'organismo il disequilibrio elettrico necessario a permettere il flusso della materia elettrica, proprio perché i tessuti dell'organismo erano conduttivi e quindi virtualmente in grado di determinare il dissipamento di ogni disequilibrio o sbilancio elettrico che in essi si venisse a produrre.

Secondo Volta, v'erano altre importanti somiglianze operazionali tra l'organo elettrico artificiale e quello naturale. Sebbene particolarmente potente nel produrre commozioni e altri effetti fisiologici, l'organo artificiale era poco efficace nel produrre i segni tipici della scarica delle macchine elettriche. Questo era dovuto, secondo lo scienziato di Pavia, al fatto che in entrambi i casi grandi quantità di fluido elettrico erano mosse ad una tensione relativamente bassa. Inoltre l'apparato artificiale poteva "agire incessantemente senza intermissioni... senza essere stato in precedenza caricato" allo stesso modo dei pesci elettrici che potevano produrre scosse ripetitive senza esaurire la loro elettricità.

Il modo in cui Volta spinge la somiglianza tra l'organo elettrico artificiale e quello naturale è stato interpretato come evidenza che egli mirava a ridurre nell'ambito del dominio della fisica un meccanismo biologico, mostrando la somiglianza di fondo che esiste tra fenomeni biologici e fenomeni fisici [Polvani, 1942]. Questo con lo scopo di mostrare che l'elettricità della torpedine e dell'anguilla elettrica è in qualche modo un tipo di elettricità fisica, alla quale sarebbe stato improprio assegnare la denotazione di "elettricità animale", una denotazione che egli aveva invece considerato del tutto pertinente circa vent'anni prima. È forse opportuno ricordare qui ciò che Volta scrisse in una *Memoria* pubblicata nel 1802

[Volta, 1923]. Nel discutere come materiali conduttori diversi potevano essere disposti insieme per produrre elettricità con la sua batteria, Volta notava l'efficacia dell'assemblaggio di un metallo (conduttore di 1a classe secondo la sua classificazione) con due liquidi differenti (conduttori di 2a classe), in aggiunta alla combinazione usuale di due differenti metalli con un liquido. Si domandava poi se una forza elettro-motrice potesse essere anche prodotta mettendo insieme tre conduttori della stessa classe (per esempio tre differenti metalli o tre liquidi differenti).

Riconosceva di non essere ancora riuscito a produrre alcun sensibile segno elettrico da combinazioni di questo tipo, ma aggiungeva: "Eppure se non l'arte, la natura ha trovato il modo di riuscirvi negli organi elettrici della Torpedine, dell'Anguilla tremante (*Gymnotus electricus*), ec. costrutti di soli conduttori di questa seconda classe umidi, senza alcuno della prima, senza alcun metallo; e forse non siamo lontani che anche l'arte vi possa arrivare". Dunque la natura (nel caso specifico il regno animale) poteva aprire al fisico possibilità insospettite che egli avrebbe dovuto imitare con la sua arte.

Riferita all'opera di Volta, l'espressione "elettrofisiologico" non riguarda solo la possibilità di riprodurre in un apparato fisico i fenomeni elettrici degli organismi viventi. Nel corso degli studi che lo portarono all'invenzione della batteria, Volta fece una serie di importanti osservazioni di rilievo propriamente fisiologico, osservazioni che sono state in larga misura ignorate dalla tradizione scientifica. Questo è forse anche la conseguenza dei limiti artificiali tra fisica e fisiologia eretti da una attitudine culturale, scarsamente consapevole della difficoltà obbiettiva di tracciare i confini tra diversi settori della scienza nel diciottesimo secolo.

Volta ha anticipato di circa mezzo secolo una fondamentale nozione sulla organizzazione funzionale del sistema nervoso, la dottrina delle "energie nervose specifiche" di Johannes Müller [Müller, 1844]. Questa dottrina stabilisce che l'effetto della stimolazione di un nervo dipende dal tipo di nervo stimolato e non dal tipo di stimolo usato per la stimolazione. Se stimoli differenti sono utilizzati per l'occhio o il nervo ottico, come per esempio irritazioni meccaniche

o chimiche, o la luce e l'elettricità, il risultato sarà sempre in ogni caso, una sensazione luminosa. Lo stesso vale per altri tipi di sensazioni, come il gusto, l'udito, le sensazioni somatiche. Nella formulazione di Volta, questa legge della costanza degli effetti della stimolazione nervosa comprende anche i nervi motori. Nella Memoria seconda sull'elettricità animale pubblicata nel maggio del 1792 [Volta, 1918], durante il periodo iniziale delle sue ricerche elettrofisiologiche, Volta scrive: "Si fa dunque manifesto, che quale è il nervo stimolato, quale la sua natural funzione, tale è l'effetto, che corrispondentemente ne siegue, di sensazione cioè, e di moto, quando quella virtù nervea è messa in esercizio dal fluido elettrico che fa incursione". Poco sopra, nella stessa Memoria, egli aveva menzionato l'esperimento in cui produceva una sensazione gustativa stimolando la lingua con l'arco bimetallico. Questo esperimento, variato in una molteplicità di forme, sarà poi spesso riportato in pubblicazioni successive o in lettere private.

Da una comunicazione che egli indirizzò a Tiberio Cavallo, uno scienziato italiano che risiedeva a Londra, ed era anche lui membro della Royal Society, apprendiamo che Volta aveva condotto questo esperimento inizialmente con l'intenzione di produrre una contrazione muscolare in un uomo vivo utilizzando l'arco bimetallico [Volta, 1918]. La lingua sembrava particolarmente adatta allo scopo per la sua natura muscolare, la sua accessibilità e per la bassa resistenza elettrica della sua superficie mucosa. In contrasto con le sue attese, comunque, Volta non era riuscito a produrre alcuna contrazione utilizzando un arco di stagno e argento, ma aveva invece percepito un evidente sapore "acido".

Dopo l'iniziale delusione, egli interpretò questo effetto come dovuto alla stimolazione delle fibre nervose provenienti dalle papille gustative. In seguito tentò un esperimento analogo sull'occhio e riuscì a produrre con l'arco bimetallico una sensazione luminosa.

Volta si sforzò anche di stimolare il nervo acustico e il nervo olfattivo. All'inizio non riuscì a produrre alcuna sensazione acustica con il suo arco bimetallico, ma, dopo l'invenzione della batteria, poté produrre "la sensazione di un suono, o piuttosto di un rumore" applicando alle due orecchie i due poli di una batteria di 30-

40 elementi argento-zinco. Volta non riuscirà però mai ad eccitare una sensazione olfattiva, applicando lo stimolo elettrico all'interno del naso (e simile insuccesso toccò anche a molti fisiologi dell'800), neppure utilizzando l'elettricità di una potente batteria di molti elementi. Egli riuscì comunque ad evocare sensazioni somatiche applicando la sua "elettricità metallica" alla pelle o a superfici mucose. Sebbene egli indicasse inizialmente queste sensazioni come tattili, si rese poi conto che esse erano piuttosto un particolare tipo di sensazioni dolorose. Esse divenivano particolarmente acute e difficili da tollerare quando lo stimolo veniva applicato ad una ferita o ad una piaga. Dopo l'invenzione della pila Volta poté rendersi conto che la sensazione dolorosa aumentava con la potenza della batteria, e con batterie di 20 elementi poteva essere tollerata solo per pochi istanti.

Nei suoi esperimenti elettrofisiologici Volta mostra una particolare abilità nell'ottenere informazioni importanti utilizzando dispositivi semplici. Una sensazione gustativa, egli dice, può essere evocata utilizzando due monete, una d'argento e una di rame. Una sensazione visiva può essere prodotta utilizzando un foglietto smussato di stagno (o una lamina di zinco) e un cucchiaino d'argento: lo stagno è posto a contatto con la congiuntiva dell'occhio e il cucchiaino usato per stabilire un contatto con l'interno della bocca.

Volta amava combinare effetti fisiologici differenti in un singolo esperimento, mettendo, per esempio, uno dei due metalli in contatto con la punta della lingua e l'altro con la congiuntiva. Al momento che i due metalli erano connessi insieme, egli provava sia la sensazione luminosa che quella visiva. L'esperimento poteva essere reso ancora più complesso formando una catena che includeva, oltre all'occhio e alla lingua dello sperimentatore, anche una preparazione di rana. Alla chiusura del circuito si producevano, oltre alle due sensazioni, anche la contrazione dei muscoli della rana. Con disposizioni opportune Volta poteva produrre la sensazione gustativa in un soggetto e quella visiva in un altro, oltre ad evocare la contrazione della rana.

Questo modo di combinare effetti diversi in un singolo esperimento può sembrare espressione di un certa tendenza spettacolare tipica della

scienza del 700, un secolo in cui le dimostrazioni scientifiche venivano spesso fatte al di fuori del laboratorio, per il divertimento degli spettatori, di solito membri delle classi sociali elevate e spesso dame aristocratiche. Ma in Volta esso riflette piuttosto la tendenza a catturare l'essenziale di un risultato scientifico, e a renderlo facile da mostrare e riprodurre. Dobbiamo considerare, tra l'altro, che nel 700 la scienza elettrica non si prestava facilmente alla misurazione, e non v'erano modi semplici di registrare e documentare i risultati sperimentali. **

Nella comunicazione dell'invenzione della batteria Volta invita il lettore a ripetere uno dei suoi "esperimenti multipli" traendo profitto della grande potenza del nuovo strumento: "Ma la più curiosa di tutte queste esperienze, è di tenere la lamina metallica stretta tra le proprie labbra, e a contatto con la punta della lingua; infatti, quando poi si arriva a completare il circolo, nel modo appropriato, si eccita in una volta, se l'apparecchio è sufficientemente grande e in buon ordine, e la corrente elettrica abbastanza forte e in buon corso, una sensazione di luce negli occhi, una convulsione nelle labbra, e persino nella lingua, una puntura dolorosa sulla sua punta, seguita in ultimo dalla sensazione di sapore".

Lungi dall'adottare esclusivamente un punto di vista "elettro-fisico", come si è voluto sostenere [Pera, 1986], nei suoi studi Volta operò uno scambio continuo e fertile tra la prospettiva (e la pratica) elettro-fisica e quella elettro-fisiologica. Dall'esperimento della lingua, effettuato per la prima volta nel 1792, egli riuscì a determinare la polarità della corrente metallica, quattro anni prima che egli potesse misurare questa corrente con uno strumento fisico. Egli notò che la sensazione acida prodotta nel punto della lingua a contatto con lo stagno di un arco bimetallico stagno-argento era analoga a quella prodotta dall'elettricità positiva di una bottiglia di Leyda. Inoltre, dal carattere continuo della sensazione acida percepita quando lo stimolo veniva mantenuto a lungo, Volta concluse che l'arco bimetallico produceva un flusso continuo di elettricità. Avendo quindi stabilito il carattere continuo ("perpetuo" come egli amava dire) della corrente metallica, egli poteva quindi attribuire alle proprietà fisiologiche dell'eccitabilità

nervosa il fatto che le contrazioni nelle zampe di rana comparissero unicamente all'atto della chiusura e dell'interruzione del circuito, e non già ad una possibile natura transiente dell'elettricità dei metalli.

Nel suo esperimento sulla visione, all'inizio Voltai notò che la sensazione luminosa si produceva solo al momento dell'applicazione e della rimozione dello stimolo elettrico [Volta, 1918]. Convinto però del carattere continuo della corrente metallica, egli si adoperò per produrre una sensazione luminosa durevole, ed infine riuscì a percepire una luce costante, anche se debole, quando uno dei poli dell'arco bimetallico era applicato a stretto contatto con l'occhio e la stanza sperimentale veniva completamente oscurata. Dal momento però che la sensazione luminosa così prodotta era estremamente debole egli concluse, che se si voleva stimolare efficacemente l'occhio, era necessario chiudere ed aprire il circuito in rapida alternanza. Questo metodo, che egli adoperò anche per indurre contrazioni tetaniche nelle rane, precede la tecnica dell'applicazione di treni di impulsi discontinui usata in tempi moderni per ottenere un'efficace stimolazione di nervi e muscoli.

Volta era particolarmente abile in questo tipo di esperimenti: utilizzando l'espedito di "rompere e ristabilire alternativamente e con maggiore o minore rapidità le comunicazioni tra i due metalli" egli riuscì nel 1793 a ottenere "la sensazione di una luce ondulante o come fiammeggiante, ed infine di una luce quasi continua" facendo "in modo che separazioni e riunioni si succedano con la più grande prontezza". Un esperimento questo di fusione fisiologica di una sensazione luminosa dovuta ad uno stimolo alternante ("flicker-fusion experiment") realizzato utilizzando semplicemente una lamina di stagno ed un cucchiaino d'argento!

Volta notò che gli effetti della stimolazione elettrica spesso dipendevano dalla polarità dello stimolo, anticipando in qualche modo la "legge dell'eccitazione polare" elaborata poi pienamente da Pflüger più di cinquant'anni dopo. Negli esperimenti sulla lingua egli notò che la sensazione gustativa mutava dal sapore acido a quello alcalino, quando la polarità dello stimolo veniva invertita. Egli notò inoltre che la sensazione dolorosa indotta dalla stimolazione

della pelle o di una superficie mucosa era eccitata da correnti di minore intensità quando lo stimolo era di polarità negativa.

Egli anticipò anche, almeno in parte, Pflüger notando che stimoli di una determinata polarità erano più efficaci all'atto della chiusura del circuito, mentre stimoli di polarità opposta risultavano più efficaci all'atto dell'apertura. Nel 1795 egli riuscì a produrre sia la contrazione di chiusura che quella di apertura in un singolo esperimento. Un arco bimetallico veniva utilizzato per connettere due preparazioni di rana per mezzo di due bicchieri riempiti di soluzione salina. Una preparazione era immersa con il midollo spinale dal lato dell'elettricità negativa, e con le zampe dal lato dell'elettricità positiva, mentre l'altra rana era disposta in modo simmetrico. Una delle due preparazioni si contraeva all'atto della chiusura del circuito, l'altra all'atto dell'apertura.

Volta era particolarmente abile a fronteggiare con l'esperimento possibili obiezioni alle sue conclusioni.

Qualcuno avrebbe potuto forse pensare che il sapore acido percepito nell'esperimento della lingua fosse dovuto al metallo stesso piuttosto che al passaggio della corrente. Contro questa possibile obiezione Volta prima nota che il sapore non si produce quando i metalli sono in contatto con la lingua, ma non comunicano tra di essi. Poi, egli mostra che il sapore acido viene evocato anche senza un contatto diretto della lingua col metallo: per esempio quando la punta della lingua viene immersa in un bicchiere pieno d'acqua che è messo in contatto con l'elettrodo positivo.

Nel suo virtuosismo sperimentale Volta riuscì poi a compiere un sorprendente esperimento, utilizzando una soluzione debolmente alcalina per stabilire il contatto. Al momento che egli immergeva la punta della lingua, egli percepiva inizialmente un sapore "acido" (che egli attribuiva al passaggio di corrente) che trapassava poi in una sensazione "alcalina", man mano che la soluzione diffondeva e raggiungeva la superficie della lingua.

Sebbene Volta non abbia pubblicato opere dedicate esclusivamente a temi fisiologici e medici, l'interesse per la possibile rilevanza fisiologica e medica delle sue scoperte appare chiaramente dai suoi scritti. Nel 1793 egli discusse differenti disposizioni sperimentali utili

per la stimolazione elettrica del sistema visivo. Tra le altre possibilità, egli notò che l'esperimento riusciva anche mettendo le punte dell'arco bimetallico all'interno della bocca, per esempio nei due lati opposti del vestibolo buccale. Questo esperimento è facilmente riproducibile, perché non richiede la procedura piuttosto eroica di porre una delle due punte metalliche sul bulbo oculare (in tempi moderni può essere eseguito utilizzando per esempio una batteria comune da 4.5 Volt).

"Io sono del resto persuaso - scriveva Volta che l'esperienza riuscirebbe anche su dei ciechi per cataratta, o per qualche altro difetto qualunque, tranne nel caso di insensibilità o paralisi dei nervi ottici. Ecco dunque che queste prove potrebbero essere di qualche utilità, permettendo di stabilire se esista un tal difetto. E chi sa poi, se venendo (la stimolazione elettrica) ben somministrata, non si potrebbe derivarne qualche soccorso in questa stessa paralisi sia all'inizio del processo che in fasi più o meno avanzate". [Volta, 1918]

E se egli non utilizzò forse l'elettricità per curare l'insensibilità o paralisi dei nervi ottici, si servì (a suo dire con qualche successo) della batteria per trattare casi di sordità congenita come risulta da una sua lettera pubblicata nel 1802.

È interessante notare che la comunicazione del 1800 alla Royal Society sull'invenzione della batteria affronta in larga misura temi di carattere fisiologico. Nelle ultime pagine, dopo aver discusso per esteso gli effetti dell'elettricità della batteria nel promuovere sensazioni e movimenti, Volta scrisse: "Tutti questi fatti che io ho riferito in questo lungo scritto, a riguardo dell'azione che il fluido elettrico, incitato e mosso dal mio apparecchio, esercita sulle parti del nostro corpo che la sua corrente invade e attraversa; azione che, per di più, non è momentanea, ma sostenuta e durevole per tutto il tempo che, non essendo interrotte le comunicazioni, questa corrente segue il suo corso; azione infine i cui effetti variano secondo la diversa eccitabilità delle sue parti, come si è visto; tutti questi fatti, già abbastanza numerosi, e altri ancora che si potrà scoprire in seguito, moltiplicando e variando le esperienze di questo genere, apriranno un campo notevolmente ampio di riflessioni, e di vedute, non solo curiose, ma anche interessanti in particolare per

la medicina. Ce ne sarà abbastanza per occupare l'anatomico, il fisiologo e il medico pratico”.

A distanza di due secoli più tardi, possiamo ora riflettere su come siano state profetiche queste parole di Volta, considerando l'enorme sviluppo dell'elettrofisiologia, e la tremenda importanza che ha raggiunto l'elettricità nelle sue applicazioni diagnostiche e terapeutiche alla medicina.

Con l'invenzione della batteria terminava il 700, il “secolo elettrico” per eccellenza e cominciava una nuova epoca. Nel secolo dei lumi le barriere tra le differenti discipline erano molto meno definite che nei tempi moderni, anche per la fase rivoluzionaria di progresso che la scienza stava attraversando. Questo imponeva un grande scambio di idee e metodi scientifici.

La tradizione che ha voluto vedere Volta esclusivamente come il fisico, in senso moderno, contrapposto al fisiologo, Galvani, si è sviluppata soprattutto nel diciannovesimo secolo. Essa è stata ripresa in tempi moderni come un “case study” per certe tendenze della filosofia della scienza contemporanea, che tendono ad esaltare l'importanza di influenze esterne e di concezioni a priori sull'attività dello scienziato [Pera, 1986]. Oltre ad impedire una corretta valutazione del significato della controversia tra Galvani e Volta, questo atteggiamento ha certamente contribuito, come abbiamo già detto, a mettere in ombra l'opera elettrofisiologica di Alessandro Volta.

Non è possibile applicare rigidamente a epoche lontane categorie usate per distinguere settori della scienza in tempi relativamente moderni (e che peraltro stanno diventando in qualche modo anacronistiche anche nella scienza contemporanea). Sarebbe allora ben difficile assegnare alla fisica, alla medicina o persino alla filosofia molti degli scienziati ed intellettuali del 600 e del 700, e questo vale particolarmente per coloro che si interessarono ai fenomeni elettrici. Due secoli esatti prima dell'invenzione della pila voltaica, la parola “elettricità” in senso moderno era apparsa per la prima volta nel 1600, in un volume intitolato *De Magnete*, una pietra miliare nello sviluppo dell'elettrologia, scritto da William Gilbert. Gilbert era il medico della regina Elisabetta I [Gilbert, 1600].

Invece che basarci su distinzioni più o meno artificiali, e particolarmente inappropriate a

comprendere lo sviluppo storico della scienza, sarebbe forse opportuno applicare all'opera scientifica di Volta ciò che Niels Bohr scrisse nel 1937, commemorando il bicentenario della nascita di Galvani: “(questo) lavoro immortale... che inaugurò una nuova epoca nell'intero campo della scienza, è una particolarmente brillante illustrazione dell'estrema fertilità di un'intima combinazione dell'esplorazione della natura inanimata con lo studio delle proprietà degli organismi viventi” [Bohr, 1937].

Bibliografia

Bohr, N. (1937) Biology and atomic physics. In Comitato per la celebrazione del II centenario della nascita di Luigi Galvani (ed): Celebrazione del secondo centenario della nascita di Luigi Galvani. Bologna: Luigi Parma, pp. 68-78.

Cavendish, H. (1776) An Account of some Attempts to Imitate the Effects of the Torpedo by Electricity. *Philosophical Transaction* 66:196-225.

Gilbert, W. (1600) *De Magnete, magneticibus corporibus, et de magno magnete tellure*. London.

Müller, J. (1844) *Handbuch der Physiologie des Menschen*. Coblenz. Hölscher.

Pera, M. (1986) *La rana ambigua (The ambiguous frog. The Galvani-Volta controversy on animal electricity – English translation by J. Mandelboun - Princeton University Press, 1992)*. Torino: Einaudi.

Piccolino, M. (1997) Luigi Galvani and animal electricity: two centuries after the foundation of electrophysiology. *Trends Neurosci.* 20:443-448.

Piccolino, M. (1998) Animal electricity at the birth of electrophysiology: the legacy of Luigi Galvani. *Brain Res.Bull'* 46:381-407.

Polvani, G. (1942) *Alessandro Volta*. Pisa: Domus Galileiana.

Volta, A. (1800) On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different species. Letter to Sir Joseph Banks, March 20 1800. *Phil.Trans.Royal Soc.* 90:403-431.

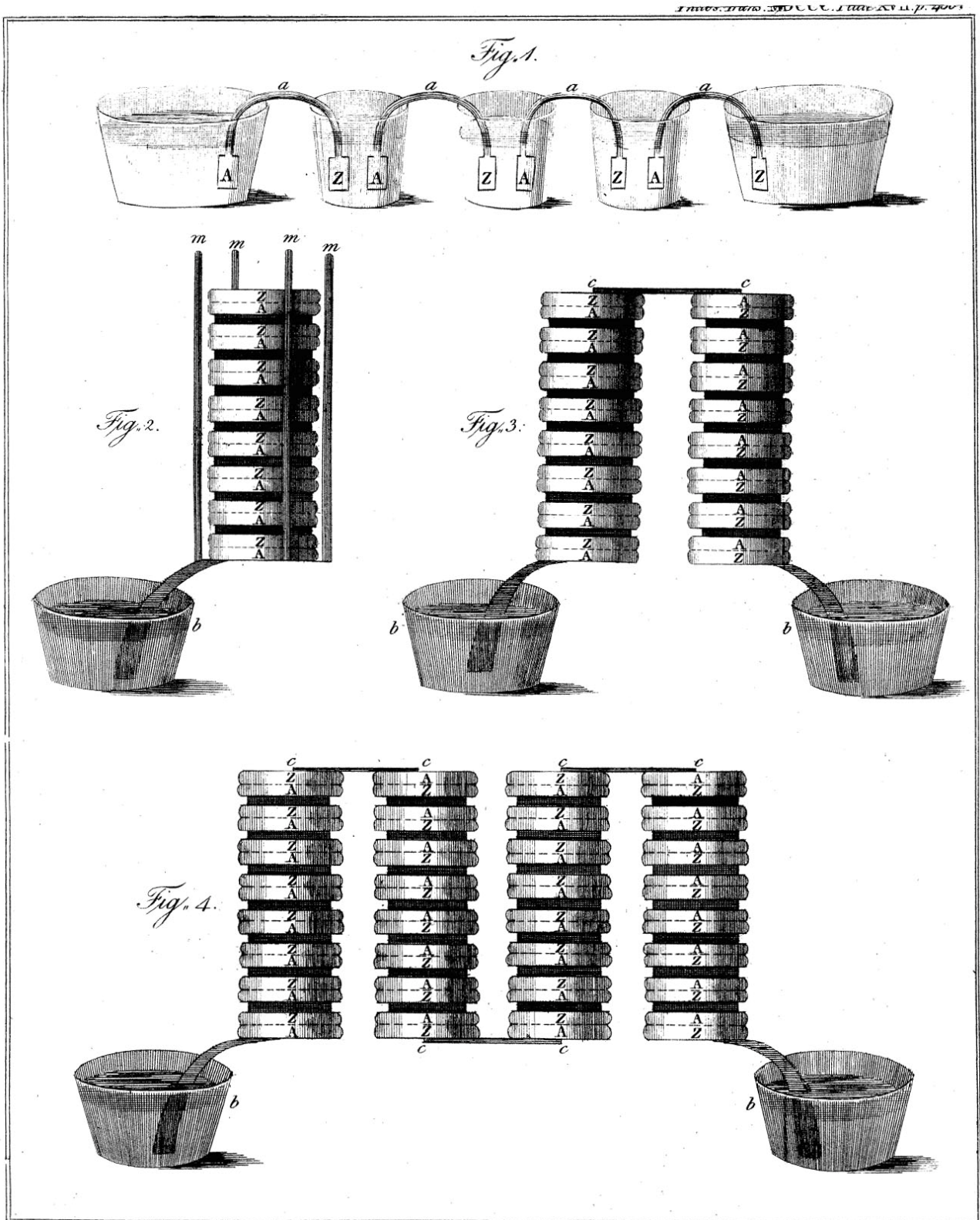
Volta, A. (1918) *Le opere di Alessandro Volta (edizione nazionale) I Vol.* Milano: Hoepli.

Volta, A. (1923) *Le opere di Alessandro Volta (edizione nazionale) II Vol.* Milano: Hoepli.

Walsh, J. (1773) On the electric property of torpedo: in a letter to Ben. Franklin. *Phil.Trans.Royal Soc.* 63:478-489.

FONTI PER LA NARRAZIONE

Si presenta il testo della Lettera di Volta a Banks del marzo 1800, in cui descrive per la prima volta la pila e i gli esperimenti condotti con essa. Il testo è tratto dall'Archivio dell'Università di Pavia. La lettera venne letta il 26 giugno e prontamente pubblicata, in francese, nelle *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* del 1800. La pubblicazione era accompagnata da una bella incisione di James Basire, che qui riproduciamo. La fonte è l'archivio on-line Jstor.



Basire, sc.

*Sull'elettricità eccitata dal
semplice contatto di sostanze
conduttrici di diversa natura
in una lettera di Alessandro
Volta a Sir Joseph Banks*

Da Como nel Milanese, 20 marzo 1800.

Dopo un lungo silenzio, di cui non cercherò di scusarmi, ho il piacere di comunicarvi, Signore, e, per vostro mezzo, alla Società Reale, alcuni risultati sorprendenti ai quali sono arrivato, proseguendo le mie esperienze sull'elettricità eccitata dal semplice contatto mutuo di metalli di specie differente, e pure da quello di altri conduttori, altrettanto differenti fra loro, sia liquidi, sia contenenti qualche umore, al quale essi debbono propriamente il loro potere conduttore.

Il principale di questi risultati, e che comprende a un dipresso tutti gli altri, è la costruzione di un apparecchio che per gli effetti, cioè per le commozioni che è capace di far provare nelle braccia, ecc., assomiglia alle bottiglie di Leida, e meglio ancora alle batterie elettriche debolmente caricate, che agirebbero tuttavia senza posa, o la cui carica, dopo ciascuna esplosione, si ristabilirebbe da se stessa, che godrebbe, in una parola, di una carica indefettibile, di un'azione, o impulso perpetuo sul fluido elettrico; ma che d'altronde ne differisce essenzialmente, sia per quest'azione continua che gli è propria, sia perchè, invece di consistere, come le bottiglie e le batterie elettriche ordinarie, in una o più lastre isolanti, strati sottili di quei corpi reputati essere i soli *elettrici*, armati di conduttori o corpi così detti *non elettrici*, questo nuovo apparecchio è formato unicamente da parecchi di questi ultimi corpi, scelti pure tra i migliori conduttori, e perciò i più distanti, secondo quanto si è sempre creduto, dalla natura elettrica. Sì, l'apparecchio

di cui vi parlo, e che vi meraviglierà senza dubbio, non è che l'accozzamento di un numero di buoni conduttori di differente specie, disposti in un certo modo, 30, 40, 60 pezzi, o più, di rame, o meglio d'argento, applicati ciascuno ad un pezzo di stagno, o, il che è molto meglio, di zinco, e un numero uguale di strati d'acqua, o di qualche altro umore che sia miglior conduttore dell'acqua semplice, come l'acqua salata, la lisciva, ecc., o dei pezzi di cartone, di pelle ecc., bene imbevuti di questi umori: questi strati interposti a ogni coppia o combinazione dei due metalli differenti, una tale successione alternata, e sempre nel medesimo ordine, di queste tre specie di conduttori, ecco tutto ciò che costituisce il mio nuovo strumento; che imita, come ho detto, gli effetti delle bottiglie di Leida, o delle batterie elettriche, procurando le medesime commozioni di queste; esso in verità, rimane molto al di sotto delle attività delle dette batterie caricate ad un alto livello, quanto alla forza e rumore delle esplosioni, alla scintilla, alla distanza alla quale può effettuarsi la scarica, ecc., eguagliando solamente gli effetti di una batteria caricata a un grado assai debole, una batteria che tuttavia ha una capacità immensa; ma d'altronde sorpassa infinitamente la virtù e il potere di queste medesime batterie, nel fatto che non ha bisogno, come queste, di essere caricato prima, per mezzo di una elettricità estranea, e nel fatto che è capace di dare la commozione tutte le volte che lo si tocchi convenientemente, qualunque sia la frequenza di questi toccamenti.

Quest'apparecchio, simile nella sostanza, come farò vedere, e proprio come l'ho costruito, pure nella forma, *all'organo elettrico naturale* della torpedine, dell'anguilla tremante, ecc. assai più che alla bottiglia di Leida e alle batterie elettriche conosciute, questo apparecchio, dico, vorrei chiamarlo *Organo elettrico artificiale*. E in verità non è esso, come quello, composto unicamente da corpi conduttori? non è esso, del resto, attivo di per se stesso, senza alcuna carica precedente? Senza il soccorso d'una qualunque elettricità eccitata da alcuno dei mezzi conosciuti finora; in azione incessante e senza tregua; capace infine di dare ad ogni momento commozioni più o meno forti, secondo le circostanze, commozioni che raddoppiano a ogni contatto, e che, ripetute così con

frequenza, o continuate per un certo tempo, producono lo stesso intrizzimento delle membra che fa provare la torpedine, ecc.? Vengo a darvi qui una descrizione più dettagliata di questo apparecchio, e di qualche altro analogo, come pure delle esperienze relative più notevoli.

Mi procuro qualche dozzina di piccole lastre rotonde, o dischi, di rame, di ottone, o meglio di argento, di un pollice, più o meno, di diametro, (ad esempio, delle monete) ed un numero eguale di lastre di stagno, o, il che è molto meglio, di zinco, e presso a poco della medesima forma e grandezza: dico presso a poco perchè non è affatto richiesta una precisione, e, in generale, la grandezza, come la forma, dei pezzi metallici è arbitraria: si deve soltanto aver riguardo di poterli disporre comodamente gli uni sopra gli altri in forma di colonna. Preparo inoltre un numero abbastanza grande di dischi di cartone, di pelle, o di qualche altra materia spugnosa, capace di assorbire e di ritenere molto dell'acqua o dell'umore dal quale bisognerà, per il successo delle esperienze, che essi siano ben intrisi. Queste fette o dischi, che chiamerò dischi ammoliti, li faccio un po' più piccoli che i dischi o piastre metalliche, affinchè, interposti tra questi nel modo che dirò subito, essi non debordino.

Avendo sotto mano tutti questi pezzi in buono stato, vale a dire i dischi metallici ben adatti e secchi, e gli altri non metallici ben imbevuti d'acqua semplice, o, il che è molto meglio, d'acqua salata, e asciugati in seguito leggermente, perchè l'umore non sgoccioli, non ho che da disporli come conviene; e questa disposizione è semplice e facile.

Pongo dunque orizzontalmente su una tavola, o una base qualunque, uno dei piatti metallici, per esempio uno d'argento, e su questo primo ne adatto un secondo di zinco, su questo secondo stendo uno dei dischi ammoliti, poi un altro piatto d'argento, seguito immediatamente da un altro di zinco, al quale faccio seguire ancora un disco ammolito. Continuo così, alla stessa maniera, accoppiando un piatto d'argento con uno di zinco, e sempre nel medesimo senso, cioè a dire, sempre l'argento sotto e lo zinco sopra; o *viceversa*, secondo come ho incominciato e interponendo a ciascuna di

queste coppie un disco ammolito; continuo, dico, a formare con parecchi di questi piani una colonna tanto alta che possa sostenersi senza crollare.

Ora, se essa arriva a contenere circa 20 di questi piani, o coppie di metalli, essa sarà già in grado, non solamente di far dare all'elettrometro di Cavallo, aiutato dal condensatore, dei segni oltre i 10 o 15 gradi, di caricare questo condensatore con un semplice contatto al punto di fargli dare una scintilla ecc., ma anche di percuotere le dita con le quali si toccano le sue due estremità (la testa e il piede di una tale colonna), con uno o più piccoli colpi, e più o meno frequenti, secondo che si ripetono questi contatti; ciascuno di quei colpi assomiglia perfettamente a questa leggera commozione che fa provare una bottiglia di Leida debolmente caricata, o una batteria caricata ancora più debolmente, o infine una torpedine estremamente languente, che imita ancora meglio gli effetti del mio apparecchio, per la successione di colpi ripetuti che essa può dare senza posa.

Per ottenere tali leggere commozioni da questo apparecchio, che ho descritto, e che è ancora troppo piccolo per dei grandi effetti, è necessario che le dita con le quali si vogliono toccare le sue due estremità nel medesimo tempo, siano umettate di acqua, al punto che la pelle, la quale altrimenti non è conduttore abbastanza buono, si trovi bene intrisa. Ancora, per riuscire più sicuramente e ricevere delle commozioni considerevolmente più forti, bisogna far comunicare per mezzo di una lamina sufficientemente larga, o di un grosso filo metallico, il piede della colonna, cioè il piatto di fondo, con l'acqua di un catino, o di una coppa assai grande, in cui si terrà immerso un dito, o due, o tre o tutta la mano, mentre si toccherà la testa o estremità superiore (l'ultimo o uno degli ultimi piatti di questa colonna) con l'estremità pulita di una lamina pure metallica, impugnata dall'altra mano, che deve essere ben umida e abbracciare una larga superficie di questa lamina, e serrarla fortemente.

Procedendo in tal modo, io posso già ottenere un piccolo pizzicore, o leggera commozione, in una o due articolazioni di un dito tuffato nell'acqua del catino, quando tocco, con la lama impugnata nell'altra mano, il quarto o il terzo

paio di piatti; toccando poi il quinto o il sesto e via via gli altri fino all'ultimo piatto, che forma la testa della colonna, è curioso provare come le commozioni aumentino gradatamente di forza. Ora questa forza è tale che io arrivo a ricevere da una tale colonna, formata da 20 paia di piatti (non di più), delle commozioni che prendono tutto il dito, e lo colpiscono pure assai dolorosamente, se esso è immerso da solo nell'acqua del bacino; e si estendono (senza dolore) fino al polso e anche fino al gomito, se la mano è immersa in grande parte, o del tutto, e si fanno sentire anche al polso dell'altra mano. Io suppongo sempre che si siano poste tutte le attenzioni necessarie nella costruzione della colonna, che ciascun paio o coppia di metalli, risultante da una placca d'argento applicata a una di zinco, si trovi in comunicazione con la coppia seguente mediante uno strato sufficiente di liquido, che sia acqua salata, piuttosto che acqua pura, ovvero mediante un disco di cartone, di pelle, o altra cosa del genere, bene imbevuta di questa acqua salata; e questo disco non sia troppo piccolo, e le sue superficie siano bene aderenti alle superficie dei piatti metallici, tra i quali si trova interposto.

Questa aderenza esatta ed estesa dei dischi ammoliti è importantissima; mentre i piatti metallici di ciascuna coppia possono non toccarsi tra loro che in pochi punti, purchè il loro contatto sia diretto.

Tutto ciò fa vedere (per dirlo qui di passaggio) che se il contatto dei metalli tra loro in qualche punto soltanto basta (essendo tutti degli eccellenti conduttori) per dare libero passaggio a una corrente elettrica mediocrementemente forte, non è la stessa cosa per i liquidi, o per i corpi imbevuti di liquido, che sono conduttori molto meno perfetti, e che, di conseguenza, hanno bisogno di un ampio contatto con i conduttori metallici, e ancora più tra di loro, perchè il fluido elettrico possa passare con abbastanza facilità, e perchè esso non sia troppo ritardato nel suo corso, specialmente quando esso è mosso con pochissima forza, come nel nostro caso.

Del resto, gli effetti del mio apparecchio (le commozioni che si provano) sono considerevolmente più sensibili, nella misura in cui la temperatura dell'aria ambiente, o quella dell'acqua, o dei dischi ammoliti che entrano

nella composizione della colonna, e dell'acqua stessa del catino, è più calda, in quanto il calore rende l'acqua più conduttrice. Ma ciò che la rende molto migliore ancora, sono quasi tutti i sali, e specialmente il sale comune. Ecco una delle ragioni, se non la sola, per cui è così vantaggioso che l'acqua del catino, e soprattutto quella interposta tra ciascuna coppia di piatti metallici, l'acqua di cui sono imbevuti i dischi di cartone ecc., sia acqua salata, come ho già fatto notare.

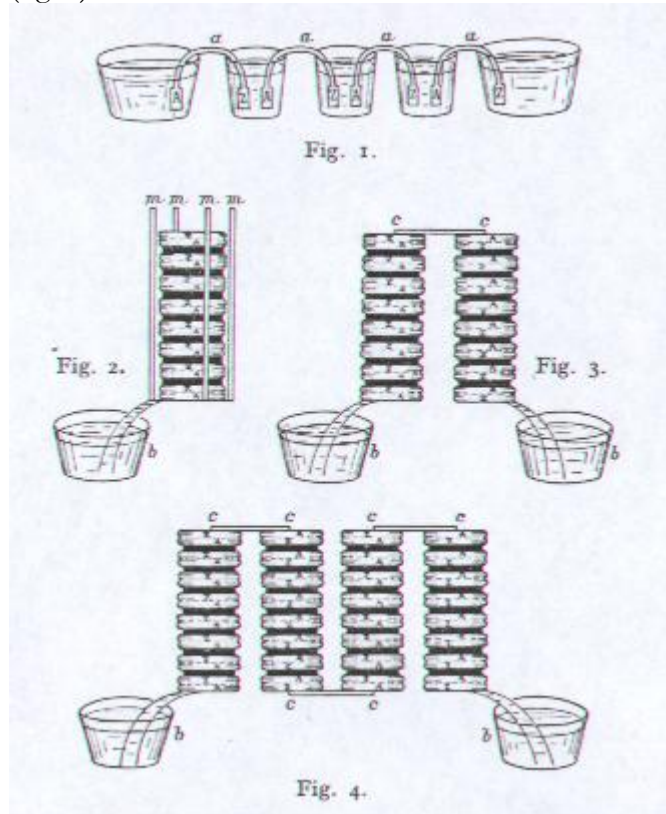
Ma tutti questi mezzi e tutte queste attenzioni, infine, non hanno che un vantaggio limitato, e non faranno giammai che si possano ottenere delle commozioni piuttosto forti, finchè l'apparecchio non consisterà che in una sola colonna formata soltanto da 20 coppie di piatti, quantunque esse siano dei due metalli migliori per queste esperienze, cioè d'argento e di zinco; giacchè, se essi fossero d'argento e di piombo, o di stagno, o di rame e stagno, non se ne otterrebbe la metà dell'effetto, a meno che un numero molto più grande non supplisca alla minore forza di ciascuna coppia. Or dunque ciò che aumenta realmente la potenza elettrica di questo apparecchio, e la può portare al punto di uguagliare, e di sorpassare ancora, quella della torpedine e dell'anguilla tremante, è il numero dei piatti, disposto nel modo e con le attenzioni che ho illustrato. Se alle 20 coppie sopra descritte, se ne aggiungono altre 20 o 30, disposte nel medesimo ordine, le commozioni che potrà dare la colonna così prolungata (dirò tra poco come si possa sostenere perchè non crolli, o, ciò che è meglio, dividerla in due o più colonne) saranno già molto più forti e si estenderanno nelle due braccia fino alla spalla, specialmente in quella, la cui mano è tuffata nell'acqua; la quale mano, con tutto il braccio, ne resterà più o meno intorpidita, se, ripetendo i contatti con frequenza, si fanno succedere queste commozioni le une alle altre rapidamente e senza tregua. Ciò, tuffando tutta, o quasi tutta, la mano nell'acqua del bacino; ma se non vi s'immerge che un dito solo, in tutto o in parte, le commozioni, concentrate quasi in esso solo, saranno assai più dolorose e così cocenti da diventare insopportabili.

Ci si aspetta bene che questa colonna, formata da 40 o 50 coppie di metalli, che dà delle commozioni più che mediocri alle due braccia di una persona, potrà darne ancora delle

sensibili a parecchie, le quali, tenendosi per le mani (sufficientemente umide), formino una catena non interrotta.

Ritornando alla costruzione meccanica del mio apparecchio, che è suscettibile di parecchie variazioni, io descriverò qui non tutte quelle che ho immaginato ed eseguito, sia in grande sia in piccolo, ma alcune solamente, che sono o più curiose o più utili; che presentino qualche vantaggio reale, come l'essere di una esecuzione più facile, o più spiccia, l'essere più sicure nei loro effetti, o più a lungo conservabili in buono stato.

E per cominciare da una che, riunendo presso a poco tutti questi vantaggi, differisce di più, quanto alla sua forma, dall'*apparecchio a colonna*, descritto sopra, ma ha lo svantaggio di essere una macchina molto più voluminosa: io vi presento questo nuovo apparecchio, che chiamerò *a corona di tazze*, nella figura qui unita. (fig. 1).



Si disponga dunque una serie di più tazze o coppe, di una qualsivoglia materia, eccettuati i metalli, tazze di legno, di scaglie, di terra, o meglio di cristallo (dei piccoli bicchieri per bere o ciotole sono i più indicati) ricolmi a metà di acqua pura, o meglio di acqua salata, o di lisciva; e le si fanno comunicare tutte, formandone una specie di catena, per mezzo di altrettanti archi

metallici, di cui un braccio *Aa*, o solamente l'estremità *A*, che è immersa in una delle ciotole, è di rame rosso, o giallo, o meglio di rame argentato, e l'altra *Z*, che è immersa nella ciotola seguente, è di stagno o meglio di zinco. Io osserverò qui, di passaggio, che la lisciva e gli altri liquidi alcalini sono preferibili, quando uno dei metalli che devono immergersi è lo stagno; l'acqua salata è preferibile quando è lo zinco. I due metalli di cui si compone ciascun arco, sono saldati insieme, in una parte qualsiasi, al di sopra di quella che è immersa nel liquido; e che deve toccarlo con una superficie sufficientemente larga: perciò è conveniente che questa parte sia una lamina di un pollice quadrato, o pochissimo meno; il resto dell'arco può essere più stretto quanto si voglia, addirittura un semplice filo metallico. Può anche essere di un terzo metallo, diverso dai due che sono immersi nel liquido delle ciotole; poichè l'azione sul fluido elettrico, che risulta da tutti i contatti dei parecchi metalli che si succedono direttamente, la forza con cui questo fluido si trova spinto alla fine, è assolutamente la stessa, o quasi, di quella che esso avrebbe ricevuto dal contatto immediato del primo metallo con l'ultimo, senza alcun metallo intermedio, come io ho verificato con esperienze dirette, di cui avrò occasione di parlare altrove.

Ordunque, una serie di 30, 40, 60, di queste tazze, concatenate a questo modo, e disposte sia in linea diritta, sia in una curva, o in qualsiasi modo ripiegata, forma tutto questo nuovo apparecchio; il quale in fondo, ed in sostanza, è il medesimo dell'altro a colonna descritto più sopra; l'essenziale, che consiste nella comunicazione diretta dei metalli diversi che formano ciascuna coppia, e mediata di una coppia coll'altra, cioè, per l'intermediario di un conduttore umido, è che abbia luogo nell'uno come nell'altro di questi apparecchi. Quanto al modo di mettere alla prova quello a tazze, e quanto alle diverse esperienze alle quali può servire, non ho bisogno di parlarne a lungo, dopo ciò che ho fatto osservare, e spiegato ampiamente a proposito dell'altro a colonna. Si capirà agevolmente che per avere la commozione basta immergere una mano in una delle tazze, e un dito dell'altra mano in un'altra tazza assai distante da quella; che questa commozione sarà tanto più forte quanto più questi due vasi saranno lontani l'uno dall'altro,

vale a dire che vi sarà un numero maggiore di intermediari; che, di conseguenza, la più forte si avrà toccando il primo e l'ultimo della catena. Si comprenderà altresì come, e perchè, le esperienze riusciranno molto meglio impugnando e serrando, in una mano ben umettata, una lamina metallica abbastanza larga (affinché la comunicazione sia qui abbastanza perfetta, e avvenga attraverso un gran numero di punti) e toccando con questa lamina l'acqua della tazza, o piuttosto l'arco metallico designato, mentre l'altra mano si trova immersa nell'acqua dell'altra tazza lontana, ovvero tocca con una lamina ugualmente impugnata, l'arco di questa. Infine, si comprenderà, e si potrà pure prevedere, il successo di una grande varietà di esperienze, che si possono eseguire con questo *apparecchio a corona di tazze*, più facilmente e in modo più evidente e parlante, per così dire, agli occhi, che con l'altro apparecchio a colonna. Io mi esimerò dunque dal descrivere un gran numero di queste esperienze facili a intuire e ne riferirò soltanto alcune che sono non meno istruttive che divertenti.

Si abbiano tre ventine di queste tazze o ciotole, allineate e collegate l'una all'altra mediante gli archi metallici, ma in guisa che per la prima ventina questi archi siano rivolti nel medesimo senso, per esempio il braccio d'argento rivolto a sinistra e il braccio di zinco a destra; e per la seconda ventina, in senso contrario, ossia lo zinco a sinistra e l'argento a destra; infine, per la terza ventina, di nuovo l'argento a sinistra come per la prima. Disposte così le cose, tuffate un dito nell'acqua della prima ciotola, e toccate con la lamina impugnata dall'altra mano, nel modo prescritto, il primo arco metallico (quello che unisce la prima ciotola alla seconda), poi l'altro arco che abbraccia la seconda e la terza ciotola, e successivamente gli altri archi, fino a percorrerli tutti. Se l'acqua è ben salata e tiepida, e la pelle delle mani sufficientemente umettata e ammorbidita, voi comincerete già a provare una piccola commozione nel dito, allorchè sarete arrivati a toccare il 4° o il 5° arco (io l'ho provata talvolta abbastanza distintamente al contatto del 3°); e passando successivamente al 6° e al 7° ecc. le scosse aumenteranno gradatamente di forza, fino al 20° arco, ossia fino all'ultimo di quelli girati nel medesimo senso; ma, passando oltre, al 21°, 22°, 23°, o al 1°, 2°, 3° della seconda ventina, nella quale essi sono tutti rivolti nel

senso contrario, le scosse diventeranno ad ogni passo meno forti, tanto che al 36°, o 37° esse saranno impercettibili, e assolutamente nulle al 40°; passato il quale (ed iniziando la terza ventina, opposta alla seconda, e analoga alla prima), le scosse saranno ancora impercettibili, fino al 44° o 45° arco; ma esse ricominceranno a diventare sensibili e ad aumentare gradatamente a misura che voi avvanzerete, fino al 60°, dove esse saranno arrivate alla medesima forza del 20° arco.

Ora se i 20 archi di mezzo fossero rivolti nel medesimo senso dei venti precedenti e dei venti seguenti, se tutti i 60 cospirassero a spingere il fluido elettrico nella stessa direzione, si comprende di quanto l'effetto sarebbe più grande alla fine, e la commozione più forte, ed in generale si comprende come, e fino a qual punto, essa debba essere affievolita in tutti quei casi in cui, per l'opposta posizione dei metalli, un numero più o meno grande di queste forze, si contrastano. Se la catena è interrotta in qualche parte, sia che l'acqua manchi in una delle tazze, sia che l'uno degli archi metallici sia stato tolto o che sia stato separato in due pezzi, voi non avrete nessuna commozione tuffando un dito nell'acqua del primo e un altro nell'acqua dell'ultimo vaso; ma l'avrete, forte o debole, secondo le circostanze (lasciando queste dita immerse) al momento che si ristabilirà la comunicazione interrotta, al momento che un'altra persona tufferà, nelle due tazze dove manca l'arco, due delle sue dita (che saranno pure percosse da una leggera commozione), o meglio, che essa vi tufferà quello stesso arco che era stato tolto, o un altro qualsiasi; e, nel caso dell'arco separato in due pezzi, al momento che si riporteranno questi al mutuo contatto (nel qual modo la commozione sarà più forte che non altrimenti); infine, nel caso della tazza vuota, al momento che versandovi acqua, questa giungerà ai due bracci metallici immersi in questa tazza, e che si trovavano a secco.

Allorchè la catena o corona di tazze è abbastanza lunga, e in condizione di poter dare una forte commozione, la si proverà, quantunque molto più debole, quand'anche si tenessero tuffate le due dita, o le due mani, in un solo catino d'acqua abbastanza grande, nel quale sbocchino il primo e l'ultimo arco metallico, purchè l'una o l'altra di queste mani

immerse, o meglio tutte e due, si tengano rispettivamente in contatto di questi stessi archi, o abbastanza vicine al contatto; si proverà, dico, una commozione al momento che (trovandosi la catena interrotta in qualche parte) la comunicazione sarà ristabilita, e il cerchio completato, in uno dei modi che si è appena detto. Ora si potrà essere sorpresi, che in questo cerchio la corrente elettrica, avendo il suo passaggio libero attraverso una massa d'acqua non interrotta, in quest'acqua che riempie il catino, abbandoni questo buon conduttore per gettarsi, e proseguire il suo corso, attraverso il corpo della persona che tiene le sue mani immerse in questa stessa acqua, facendo così un più lungo tragitto. Ma la sorpresa cesserà, se si riflette, che le sostanze animali vive e calde, e soprattutto i loro umori, sono in generale conduttori migliori dell'acqua. Dunque il corpo della persona che tuffa le mani nell'acqua, offrendo un passaggio più facile che non quest'acqua al torrente elettrico, questi deve preferirlo, per quanto un po' più lungo. Del resto siccome il fluido elettrico, allorchè deve attraversare in massa dei conduttori che non sono perfetti, e segnatamente dei conduttori umidi, preferisce estendersi in un canale più largo, o ripartirsi in molteplici, e prendere addirittura delle vie traverse, trovandovi meno resistenza che a seguire un solo canale, benchè più corto, fa al caso nostro che una parte del torrente elettrico la quale, discostandosi dall'acqua, prende questa nuova via della persona, e la percorre da un braccio all'altro: un'altra parte più o meno grande passa attraverso l'acqua del catino. Ecco la ragione per cui la scossa che si prova è molto più debole di quando la corrente non è ripartita, quando la persona fa da sola la comunicazione da un arco all'altro, ecc.

Dopo queste esperienze si può credere che quando la torpedine vuole dare una scossa alle braccia dell'uomo, o agli animali che la toccano, o che si avvicinano al suo corpo sotto l'acqua (questa scossa è ugualmente molto più debole di quella che il pesce può dare fuori dell'acqua), essa non ha che da avvicinare alcune delle parti del suo organo elettrico là dove, per via di qualche intervallo, la comunicazione manca; non ha che da togliere queste interruzioni tra l'una e l'altra delle colonne di cui è formato il detto organo, o tra quelle membrane in forma

di dischi sottili, che giacciono le une sulle altre, dal fondo alla sommità di ciascuna colonna; essa non ha, dico, che da togliere queste interruzioni in uno o più luoghi, e farvi sorgere il contatto conveniente, sia comprimendo queste stesse colonne, sia facendo colare tra le pellicole o diaframmi sollevati, qualche umore, ecc. Ecco come può essere, e come io immagino che sia realmente, tutto il lavoro della torpedine nel dare la commozione; perchè tutto il resto, voglio dire l'incitamento e il movimento dato al fluido elettrico, non è che un effetto necessario del suo organo particolare, formato, come si vede, da una serie numerosissima di conduttori, che io ho tutto il fondamento di credere abbastanza differenti tra loro per essere anche *motori* di fluido elettrico, nei loro contatti reciproci, e di supporli disposti nel modo conveniente per spingere questo fluido con una forza sufficiente dall'alto in basso, o dal basso in alto, e determinare una corrente capace di produrre la commozione ecc., subito, e ogni volta, che tutti i contatti e le comunicazioni necessarie abbiano luogo.

Ma lasciamo ora la torpedine, e il suo *organo elettrico naturale*, e torniamo *all'organo elettrico artificiale* di mia invenzione, e particolarmente a quello che imita il primo, anche nella forma (poichè quello a ciotole se ne allontana sotto questo aspetto), ritorniamo al mio primo *apparecchio a colonna*. Io avrei ancora da dire qualche cosa riguardo alla costruzione del detto apparecchio a ciotole o *a corona di tazze*, per esempio, che è bene che la prima e l'ultima tazza siano abbastanza grandi per potervi immergere, all'occorrenza, tutta la mano ecc.; ma sarebbe troppo lungo entrare in tutti questi dettagli.

Quanto all'apparecchio a colonna, ho cercato i mezzi di allungarla molto, moltiplicando i piatti metallici senza che essa crolli; di rendere questo strumento comodo e portatile e, soprattutto, durevole: e ho trovato, tra l'altro, i seguenti, che vi metto sotto gli occhi, mediante le figure qui allegate. (fig. 2, 3, 4).

Nella figura 2^a, *m, m, m, m*, sono dei montanti o sbarrette, in numero di tre, quattro o più, che si elevano dal piede della colonna, e chiudono, come in una gabbia, i piatti o dischi posati gli uni sugli altri, nel numero e fino all'altezza che si vuole, e li trattengono così dal cadere. Le sbarrette possono essere di vetro, di legno, o di

metallo; solo, in questo ultimo caso, bisogna impedire che tocchino direttamente i piatti; il che si può fare, o coprendo ciascuna di queste sbarrette metalliche con un tubo di vetro, o interponendo fra queste e la colonna qualche fascia di tela cerata, o di carta oleata, oppure di carta semplice, o qualsiasi altro corpo, infine, che sia o *coibente* o cattivo conduttore: il legno e la carta lo sono abbastanza per il nostro caso, purchè essi non siano estremamente umidi o bagnati.

Ma il migliore espediente, quando si voglia formare l'apparecchio con un numero molto grande di piatti, oltre, per esempio, i 60, 80, 100, è di ripartire la colonna in due o più, come si vede nelle figure 3 e 4, in cui i pezzi hanno tutte le loro posizioni e comunicazioni rispettive, come se fossero una sola colonna. Si può effettivamente riguardare la fig. 4^a, come pure la 3^a, come una colonna ripiegata. In tutte queste figure, i piatti metallici differenti sono designati con le lettere A e Z (che sono le iniziali di *argento* e di *zinco*); e i *dischi ammolliti* (di cartone, di pelle ecc.) interposti a ciascuna coppia di questi metalli, mediante uno strato nero.

Le linee punteggiate indicano l'unione di un metallo con l'altro in ciascuna coppia, il loro contatto reciproco attraverso un numero qualsiasi di punti, il che è indifferente; oppure che essi sono saldati insieme, il che è bene sotto più d'un aspetto; *a, a, a*, sono delle lastre metalliche che fanno comunicare una colonna o sezione di colonna, con l'altra; e *b, b, b, b, b*, sono i bacini d'acqua in comunicazione con i piedi o le estremità delle colonne.

Un apparecchio così montato è assai comodo, affatto voluminoso, e lo si potrebbe rendere ancora più facilmente e più sicuramente portatile, con l'aiuto di qualche astuccio o custodia cilindrica nel quale si chiudesse e si custodisse ciascuna colonna. Peccato solamente ch'esso non duri molto tempo in buono stato; i dischi bagnati si disseccano, in uno o due giorni, al punto che bisogna umettarli di nuovo; il che si può fare tuttavia, senza smontare tutto l'apparecchio, immergendo interamente le colonne nell'acqua, e (dopo averle ritirate qualche tempo dopo) asciugandole all'esterno con un panno, o in altro modo, il meglio che si possa.

Il modo migliore di fare uno strumento durevole quanto lo si possa auspicare, sarebbe di chiudere e trattenere l'acqua interposta a ciascuna coppia di metalli, e di fissare quegli stessi piatti ai loro posti, avvolgendo con cera o pece tutta la colonna; ma la cosa è un po' difficile per l'esecuzione, ed esige molta pazienza. Io tuttavia vi sono riuscito; e ho formato, a questa maniera, due cilindri di 20 coppie metalliche, che mi servono ancora abbastanza bene dopo qualche settimana, e mi serviranno, io spero, dopo mesi.

Si ha la comodità di poter impiegare questi cilindri nelle esperienze, non soltanto in piedi, ma anche inclinati o distesi, come si voglia, e anche immersi nell'acqua, con fuori soltanto la testa: essi potrebbero dare la commozione anche immersi completamente se contenessero un numero più grande di piatti o se parecchi di questi cilindri fossero riuniti insieme, e vi fosse stata qualche interruzione, che si potesse togliere a piacere, ecc.; con il che, questi cilindri imiterebbero abbastanza bene l'anguilla tremante; per somigliarle ancor meglio anche nell'aspetto esteriore, essi potrebbero essere congiunti insieme con dei fili metallici pieghevoli, o con molle a spirale ed essere ricoperti in tutta la lunghezza da una pelle, e terminare con una testa e una coda, bene configurate ecc.

Gli effetti sensibili ai nostri organi, che produce un apparecchio formato da 40 o 50 coppie di piatti (ed anche uno meno grande, se, essendo uno dei metalli argento o rame, l'altro è zinco), non si riducono semplicemente alle commozioni: la corrente di fluido elettrico, mossa e sollecitata da un tal numero e specie di conduttori differenti, argento, zinco e acqua, disposti alternativamente nel modo descritto, non eccita soltanto contrazioni e spasimi nei muscoli, convulsioni più o meno violente nelle membra ch'essa attraversa nel suo corso, ma irrita altresì gli organi del gusto, della vista, dell'udito, e del tatto, propriamente detto, e vi produce delle sensazioni proprie a ciascuno. Ed in primo luogo, quanto al senso del tatto; se, per mezzo di un ampio contatto della mano (ben umettata) con una lamina metallica, o meglio, immergendo profondamente la mano nell'acqua del bacino, io stabilisco da un lato una buona comunicazione con una estremità del mio *apparecchio elettro-motore* (bisogna dare dei

nuovi nomi agli apparecchi nuovi, non solo per la forma, ma anche per gli effetti o per il principio da cui essi dipendono), e dall'altro lato applico la fronte, la palpebra, la punta del naso, abbastanza inumidite, o qualche altra parte del corpo dove la pelle sia abbastanza delicata: se io applico, dico, con un po' di pressione, qualcuna di queste parti delicate, ben umettate, contro la punta d'un filo metallico, che va a comunicare convenientemente con l'altra estremità del detto apparecchio, io sento, al momento che si completa così il circolo conduttore, nel punto toccato dalla pelle, e un po' al di là, un colpo e una puntura, che passano presto, e si ripetono tutte le volte che si interrompe e si ristabilisce questo circolo: di modo che se queste alternanze sono frequenti, esse mi causano un tremolio e un pizzicore molto sgradevole. Ma, se tutte le comunicazioni continuano senza queste alternanze, senza la minima interruzione del cerchio, io non risento più niente per alcuni momenti: passati i quali, comincia alla parte applicata alla punta del filo metallico un'altra sensazione, che è un dolore acuto (senza scossa) limitato precisamente ai punti del contatto, un bruciore non soltanto continuo, ma che va sempre aumentando, al punto di diventare entro poco tempo insopportabile, e che non cessa se non interrompendo il circolo. Quale prova più evidente della continuazione della corrente elettrica, per tutto il tempo in cui le comunicazioni dei conduttori che formano il circolo continuano? e che solamente interrompendo questo, una tale corrente viene sospesa? questa circolazione senza fine del fluido elettrico (questo *moto perpetuo*) può apparire paradossale, può non essere esplicabile: ma essa è nondimeno vera e reale, e la si tocca, per così dire, con mano. Un'altra prova evidente può anche ottenersi da ciò che in questa specie d'esperienze si prova sovente, al momento in cui si interrompe bruscamente il circolo, un colpo, una puntura, una commozione, secondo le circostanze, proprio come al momento in cui lo si chiude: con la sola differenza che queste sensazioni, causate da una specie di riflusso del fluido elettrico, o da una scossa che nasce dalla sospensione subitanea della sua corrente, sono più flebili. Ma io non ho bisogno, e non è qui il luogo d'allegare le prove di una tale circolazione senza fine del fluido elettrico, in un circolo di conduttori in

cui ve ne sono alcuni che, per essere di specie diversa, fanno col loro mutuo contatto l'ufficio d'eccitatori o *motori*: questa proposizione, che io ho avanzato dalle mie prime ricerche e scoperte a proposito del galvanismo, e che ho sempre sostenuto appoggiandola da nuovi fatti ed esperienze, non avrà più, io spero, contraddittori. Ritornando alla sensazione di dolore che si prova nelle esperienze sopra descritte, io devo aggiungere che se questo dolore è assai forte e pungente nelle parti ricoperte dalla pelle, esso lo è molto di più dove la pelle è stata tolta, nelle ferite, per esempio, e nelle piaghe recenti. Se per caso vi è una piccola incisione o scorticatura nel dito che io immergo nell'acqua comunicante con una delle estremità dell'apparecchio elettro-motore, io vi sento un dolore così vivo e così cocente, quando, stabilendo la comunicazione conveniente con l'altra estremità, io ne completo il circolo, al punto che devo subito desistere dall'esperienza, ossia ritirare il dito, o interrompere in qualche altro modo questo circolo. Dirò di più che io non posso neppure resistere più di qualche secondo, quando la parte dell'apparecchio che io metto in gioco, o l'apparecchio intero, non va che con venti coppie metalliche, o quasi. Una cosa che devo ancora fare notare è che tutte queste sensazioni di pizzicore e di dolore son più forti e più acute, a parità di tutte le altre cose, quando la parte del corpo che deve avvertirle si trova dalla parte dell'elettricità negativa, vale a dire, posta nel circolo conduttore in modo che il fluido elettrico, percorrendo questo circolo, non sia diretto verso questa parte sensibile, che esso non si avanzi verso di questa e vi entri dal di fuori al di dentro ma bensì che la sua direzione sia dall'interno all'esterno, in una parola, che ne esca: in relazione a ciò bisogna conoscere, dei due metalli che entrano in coppia nell'apparecchio costruito, quale è quello che dà all'altro. Ora, io avevo già determinato ciò per tutti i metalli, con altre esperienze pubblicate da molto tempo nelle mie prime memorie a proposito del galvanismo. Io non dirò qui dunque altro, se non che tutto è pienamente confermato dalle esperienze ugualmente e ancor di più dimostrative ed evidenti, che mi occupano al presente. In rapporto al senso del gusto, io avevo già scoperto e pubblicato in queste prime memorie, dove mi vidi obbligato a

combattere la pretesa elettricità animale di Galvani, e di dichiararla una elettricità estrinseca, mossa dal mutuo contatto dei metalli di specie diversa; io avrei, dico, scoperto, in conseguenza di questo potere che attribuisco ai metalli, che due pezzi di questi metalli differenti, e propriamente uno d'argento e uno di zinco convenientemente applicati, ecciterebbero sulla punta della lingua delle sensazioni di sapore molto spiccate; che il sapore sarebbe decisamente acido, se, essendo la punta della lingua rivolta verso lo zinco, la corrente elettrica andasse verso di essa e vi entrasse: e che un altro sapore meno forte, ma più sgradevole, acre e tendente all'alcalino si farebbe sentire, se (essendo invertita la posizione dei metalli) la corrente elettrica uscisse dalla punta della lingua; che queste sensazioni del resto continuerebbero e riceverebbero pure degli incrementi, durante parecchi secondi, se il mutuo contatto dei metalli si mantenesse, ed il circolo conduttore non fosse in nessuna parte interrotto. Ora, quando io ho detto qui, che gli stessi fenomeni avvengono puntualmente allorchè si metta in prova, invece di una sola coppia di questi pezzi metallici, un insieme di più pezzi, disposti come si conviene; e che le suddette sensazioni di sapore, sia acido sia alcalino, aumentano, ma poco, col numero di queste coppie, io ho detto quasi tutto. Mi resta solamente da aggiungere che se l'apparecchio che si mette in giuoco per queste esperienze sulla lingua è formato da un numero abbastanza grande di coppie metalliche di questa specie, se, per esempio, ne contiene 30, 40, o di più, la lingua non prova solamente la sensazione di sapore che si è detto, ma inoltre quella di un colpo che la percuote nell'istante in cui si completa il circolo, e che la cagiona una puntura più o meno dolorosa, ma passeggera, seguita, qualche momento dopo, dalla sensazione durevole di sapore. Questo colpo produce anche una convulsione, o tremito, di una parte o di tutta la lingua, allorchè l'apparecchio, formato da un numero ancora più grande di coppie di detti metalli, è più attivo e che, mediante delle buone comunicazioni conduttrici, la corrente elettrica che esso eccita, può passare da per tutto con abbastanza libertà. Io ritorno spesso, e insisto, su quest'ultima condizione perchè essa è essenziale per tutte le esperienze in cui si tratta di ottenere degli effetti

ben sensibili sul nostro corpo, sia di commozioni nelle membra, sia di sensazioni negli organi dei sensi. Bisogna dunque che i conduttori non metallici, che entrano nel circolo, siano buoni conduttori per quanto possibile, bene imbevuti (se non sono liquidi essi stessi) d'acqua o di qualche altro fluido più conduttore dell'acqua pura; e bisogna, oltre questo, che le superficie ben umide, per mezzo delle quali essi comunicano con i conduttori metallici, e soprattutto fra loro, siano abbastanza larghe. La comunicazione deve solamente essere ristretta, o ridotta a un piccolo numero di punti di contatto, laddove si voglia concentrare l'azione elettrica su una delle parti più sensibili del corpo, su qualche nervo dei sensi, ecc. come ho già fatto notare, a proposito delle esperienze sul tatto, cioè, delle esperienze per mezzo delle quali si eccitano dolori acuti in diverse parti. Così dunque, il modo migliore che io ho trovato per produrre sulla lingua tutte le sensazioni descritte è di applicare la sua punta contro l'estremità appuntita (che non lo sia tuttavia troppo) d'una verga metallica, che faccio comunicare convenientemente, come nelle altre esperienze, con un'estremità del mio apparecchio, e di stabilire una buona comunicazione della mano, o, il che è meglio, delle due mani insieme, con l'altra estremità. Questa applicazione della punta della lingua alla punta della verga metallica può, del resto, o esistere già, quando si va a fare l'altra comunicazione per completare il circolo (allorchè si tuffa la mano nell'acqua del bacino), o farsi dopo avere stabilito questa comunicazione, mentre la mano si trova tuffata; e, in quest'ultimo caso, io credo di sentire la puntura e la scossa sulla lingua, un pochino prima del vero contatto. Sì, mi sembrerebbe sempre, specialmente se io avanzo a poco a poco la punta della lingua, che quando essa è arrivata a una piccolissima distanza dal metallo, il fluido elettrico (vorrei quasi dire la scintilla) superando questo intervallo, si slanci per colpirla. Riguardo al senso della vista, che io avrei anche scoperto poter essere affetto dalla debole corrente del fluido elettrico, proveniente dal mutuo contatto di due metalli differenti, in generale, ed in particolare da un pezzo d'argento con uno di zinco, io dovrei aspettarmi che la sensazione di luce eccitata dal mio nuovo apparecchio fosse più forte, a misura che esso

contenesse un maggior numero di pezzi di questo metallo; ciascuna coppia dei quali, disposte come si deve, aggiunge un grado di forza alla suddetta corrente elettrica, come lo mostrano tutte le altre esperienze, e specialmente quelle coll'elettrometro, aiutato dal condensatore, che io ho solamente indicato, e che descriverò altrove. Ma io fui sorpreso di trovare che con 10, 20, 30 coppie, e più, il lampo prodotto, non sembrasse nè più lungo ed esteso, nè molto più vivo che con una sola coppia. E' vero, intanto, che questa sensazione di luce debole e passeggera è eccitata da un tale apparecchio più agevolmente e in parecchi modi. Effettivamente, per riuscire con una sola coppia, non ci sono, all'incirca, che le maniere seguenti: cioè, o che uno dei pezzi metallici sia applicato al bulbo stesso dell'occhio, o alla palpebra, ben umettata, e che la si faccia toccare con l'altro metallo applicato all'altro occhio, o tenuto in bocca, il che dà il più bel guizzo; o che s'impugni questo secondo pezzo metallico, con la mano ben umettata, e lo si porti al contatto del primo; o infine che si applichino queste due lastre a certe parti dell'interno della bocca, facendole anche comunicare tra loro. Ma, con un apparecchio di 20, 30 coppie ecc. si produce il medesimo guizzo di luce, applicando in cima ad una lamina o verga metallica, che sia in comunicazione con una delle estremità di questo apparecchio, mentre con una mano si comunica convenientemente con l'altra estremità; applicando, dico, o facendo toccare a questa lamina, non soltanto l'occhio, o qualsiasi altra parte della bocca, ma la fronte, il naso, le gote, le labbra, il mento, e persino la gola; in una parola, tutte le parti e punti del viso, che dobbiamo soltanto avere ben umettate, prima di portarle a contatto della lamina metallica. Del resto la forma, come la forza, di questa luce passeggera, che si percepisce, varia un po', variando le parti della faccia sulle quali si porta l'azione della corrente elettrica; se è sulla fronte, per esempio, questa luce è mediocrementemente vivace, ed appare come un cerchio luminoso, sotto la quale figura essa si presenta anche in parecchie altre prove.

Ma la più curiosa di tutte queste esperienze è di tenere la lamina metallica serrata tra le labbra, ed in contatto con la punta della lingua; poichè quando in seguito si viene a completare il circolo in maniera conveniente, si eccita,

tutt'insieme, se l'apparecchio è sufficientemente grande e in buon ordine, e la corrente elettrica è assai forte e in buona disposizione, una sensazione di luce negli occhi, una convulsione nelle labbra, e pure nella lingua, una puntura dolorosa sulla sua punta, seguita infine dalla sensazione di sapore.

Non mi resta che dire una parola sull'udito. Questo senso, che io avevo inutilmente cercato di eccitare con due sole lastre metalliche, per quanto le più attive fra tutti i *motori* di elettricità, cioè, una d'argento, o d'oro, e l'altra di zinco, sono finalmente arrivato ad influenzarlo col mio nuovo apparecchio, composto di 30 o 40 coppie di questi metalli. Ho introdotto, ben in fondo nelle due orecchie, due specie di sonde o verghe metalliche, con le punte arrotondate; e le ho fatte comunicare immediatamente colle due estremità dell'apparecchio. Nel momento in cui il circolo è stato così completato, ho ricevuto una scossa in testa; e, qualche momento dopo (continuando le comunicazioni senza alcuna interruzione), ho cominciato a sentire un suono, o piuttosto un rumore nelle orecchie, che non saprei ben definire; sarebbe una specie di scricchiolio a tratti, o crepitio, come se qualche pasta o materia tenace bollisse. Questo rumore continuò senza tregua, e senza aumento, per tutto il tempo che il circolo fu completo, ecc. La sensazione sgradevole, e che io ritenevo dannosa, della scossa nel cervello ha fatto sì che non ho ripetuto più volte questa esperienza. Resta il senso dell'odorato, che io ho tentato fino ad ora inutilmente col mio apparecchio. Il fluido elettrico, che messo in corrente in un circolo completo di conduttori, produce nelle membra e parti dei corpi viventi che si trovano compresi in questo circolo, degli effetti corrispondenti alla loro eccitabilità; che, stimolando particolarmente gli organi o nervi del tatto, del gusto, della vista e dell'udito, vi eccita qualche sensazione propria ad ognuno di questi sensi, come abbiamo trovato, non produce nell'interno del naso che un pizzicore più o meno doloroso, e delle commozioni più o meno estese, secondo che la detta corrente è più o meno forte. E da dove proviene dunque, che esso non ecciti alcuna sensazione di odore, per quanto esso arrivi, come sembrerebbe, a stimolare i nervi di questo senso? Non si può dire che il fluido elettrico da sè stesso non sia atto a produrre sensazioni di odore; poichè,

allorchè si spande nell'aria a forma di pennacchi ecc., nelle esperienze ordinarie delle macchine elettriche, porta al naso un odore assai marcato, somigliante a quello del fosforo. Dirò dunque con più verosimiglianza e su un fondamento di analogia colle altre materie odorifere, che occorre giustamente che esso si espanda nell'aria, per eccitare l'odorato; che esso ha bisogno, come gli altri effluvi, del veicolo dell'aria per influire su questo senso in modo adeguato a suscitavi le sensazioni d'odore. Ora, nelle esperienze del caso, vale a dire della corrente elettrica in un circolo di conduttori tutti contigui, e senza la minima interruzione, questo non può assolutamente aver luogo.

Tutti i fatti che io ho riferiti in questo lungo scritto, riguardanti l'azione che il fluido elettrico, eccitato e mosso dal mio apparecchio, esercita sulle differenti parti del nostro corpo, che la sua corrente invade e attraversa; azione che, per di più, non è momentanea, ma continua e durevole, per tutto il tempo in cui, non essendo affatto interrotte le comunicazioni, questa corrente segue il suo corso; azione, infine, i cui effetti variano secondo la differente eccitabilità di queste parti, come s'è visto; tutti questi fatti già abbastanza numerosi, ed altri che si potranno ancora scoprire moltiplicando e variando le esperienze di questo genere, apriranno un campo abbastanza vasto di riflessioni e di vedute, non soltanto curiose, ma interessanti particolarmente la medicina. Ce ne sarà per occupare l'anatomista, il fisiologo, il praticante.

Si sa, per l'anatomia che n'è stata fatta, che l'organo elettrico della torpedine, e dell'anguilla tremante, consiste in parecchie colonne membranose, riempite da un'estremità all'altra da un gran numero di lamelle o pellicole, in forma di dischi sottilissimi, sovrapposti gli uni agli altri, o sostenuti ad intervalli piccolissimi, nei quali scorre, come sembrerebbe, qualche umore. Ora non si può supporre che alcuna di queste lamelle sia isolante come il vetro, la resina, la seta ecc. e meno ancora che esse possano o elettrizzarsi per sfregamento o essere disposte o caricate a guisa di piccoli quadri Frankliniani, o di piccoli elettrofori; e nemmeno che esse siano conduttori abbastanza cattivi da fare l'ufficio di un buono e durevole condensatore, come l'ha immaginato Mr. Nicholson.

L'ipotesi di questo sapiente e laborioso fisico, per la quale egli fa di ciascun paio di queste pellicole, che egli vorrebbe paragonare a fogli di talco, tanti piccoli *elettrofori* o *condensatori*, è, in verità, molto ingegnosa; è forse quello che s'è immaginato di meglio per la spiegazione dei fenomeni della torpedine, attenendosi ai principj e leggi conosciute fin'ora sull'elettricità.

Ma, oltre al meccanismo per mezzo del quale dovrebbe avvenire, per ciascun colpo che questo pesce volesse dare, la separazione rispettiva dei piatti, di tutti o di un gran numero di questi elettrofori o condensatori; dovrebbero, dico, avvenire tutte insieme queste separazioni, e stabilirsi da una parte una comunicazione fra loro di tutti i piatti *elettrizzati in più*, e d'altro lato, una comunicazione, fra tutti quelli *elettrizzati in meno*, come vuole Mr. Nicholson; oltre che questo meccanismo molto complicato apparirebbe molto difficile e poco naturale; oltre che la supposizione di una carica elettrica originariamente impressa e così duratura nelle pellicole che fanno l'ufficio d'elettrofori, è affatto gratuita; una tale ipotesi cade interamente, visto che queste pellicole dell'organo della torpedine non sono e non possono essere in alcun modo isolanti o suscettibili di una vera carica elettrica, e meno ancora capaci di ritenerla.

Ogni sostanza animale, finchè fresca, circondata da umori e più o meno succosa di per sè stessa, è un abbastanza buon conduttore: dico di più, ben lungi dall'essere così *coibente* come le resine e il talco, alle cui foglie Mr. Nicholson cerca di paragonare le pellicole di cui si parla, non v'è, come mi sono assicurato, sostanza animale vivente o fresca, che non sia miglior *deferente* dell'acqua, eccettuato solamente il grasso, e qualche umore oleoso.

Ma nè questi umori, nè il grasso, soprattutto semifluido o interamente fluido, come si trova negli animali viventi, possono ricevere una carica elettrica alla maniera delle lastre isolanti, e trattenerla; d'altra parte non si trova che le pellicole e gli umori dell'organo della torpedine siano grassi o oleosi.

Così, dunque, questo organo formato unicamente da sostanze conduttrici, non può essere paragonato nè all'elettroforo o condensatore, nè alla bottiglia di Leida, nè a una qualunque macchina eccitabile, sia per sfregamento, sia per qualche altro mezzo capace di elettrizzare dei

corpi isolanti, che si sono sempre creduti, prima delle mie scoperte, i soli originariamente elettrici.

A qual elettricità dunque, a quale strumento deve essere paragonato questo organo della torpedine, dell'anguilla tremante ecc.? A quello che io ho costruito, secondo il nuovo principio di elettricità che ho scoperto qualche anno fa, e che le mie esperienze successive, soprattutto

quelle che mi occupano presentemente, hanno così bene confermato, ossia che i conduttori sono, in certi casi, anche motori di elettricità, nel caso di mutuo contatto tra essi, di differente specie ecc.; a questo apparecchio, che io ho chiamato *Organo elettrico artificiale* e che, essendo in fondo la stessa cosa dell'organo naturale della torpedine, gli rassomiglia anche per la forma, come ho già esposto.

bibliografia

l'articolo e la lettera forniscono molto materiale per racconti e spiegazioni: i “circoli” della corrente, gli esperimenti fisiologici, la torpedine e i pesci elettrici. Una referenza completa sull'argomento è il libro

Marco Piccolino, Marco Bresadola
RANE, TORPEDINI E SCINTILLE
Bollati Boringhieri, Torino, 2003 , pagine 728

Il prof. Piccolino è autore di diversi saggi e articoli sulla storia della scienza e la didattica, in particolare su temi di elettrofisiologia (a cavallo tra fisica e medicina) in cui è specialista. Alcuni suoi lavori sono stati pubblicati sulla rivista *Naturalmente* (bollettino di informazione degli Insegnanti di Scienze Naturali).

Di recente, *Naturalmente* ha preparato un CD molto interessante con l'archivio completo dei numeri arretrati.

Un imponente lavoro su Volta (archivistico, museale, didattico) è stato fatto presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia, dove Volta era docente. Si segnalano due interessanti link

“ALESSANDRO VOLTA”,
biografia, bibliografia, opere scelte, manoscritti, strumenti ideati da Volta, gabinetto di fisica virtuale
<http://ppp.unipv.it/Volta/>

“1799... E LA CORRENTE FU. DUECENTO ANNI DALLA PILA DI VOLTA”,
<http://ppp.unipv.it/Mostra/index.htm>

Il medesimo Dipartimento, nell'ambito del “Pavia Project Physics” ha preparato diversi quaderni, CD-ROM, guide didattiche, non solo su Volta, ma su molte altre pagine della storia della scienza. (Due esempi: Galvani e Coulomb).

Jstor è un archivio on-line americano (che raccoglie oltre cento librerie e istituzioni). www.jstor.org è accessibile tramite le istituzioni abbonate (come l'Università di Trento). Jstor cataloga intere raccolte di riviste scientifiche, dal seicento in poi, e le rende disponibili ad alta risoluzione. La riproduzione dell'immagine a pag. rientra negli usi consentiti (per attività di ricerca; insegnamento in classe e attività scolastiche correlate; compiti per gli studenti).

ATTENZIONI DI FISICA E CHIMICA

La teoria di Volta del “potere elettro-motore dei metalli”

La teoria proposta da Volta per rendere conto del funzionamento della pila non è completa. Essa si basa sul concetto di “potere elettro-motore dei metalli”, ossia sul fatto (che Volta aveva potuto misurare) che un disco di alluminio che combacia con un disco di rame gli cede elettroni.

Tuttavia questa teoria è sufficiente per rendere conto di un aspetto dell’esperimento fatto in classe: il verso del circolo della corrente, con conseguente identificazione dei poli positivo e negativo, e accensione del LED.

Tale teoria molto adatta didatticamente, per l’introduzione della pila, per il racconto, per illustrare chiaramente il polo positivo e il polo negativo.

In figura è schematizzato il verso della corrente elettrica I tra due dischi che combaciano. Dal rame all’alluminio. Volta ebbe conferma sperimentale di ciò con i suoi strumenti*.



Da questa semplice osservazione è possibile ricostruire il verso della corrente nel circuito formato da pila e LED.

Infatti, il verso della corrente in una ripetizione (sempre la medesima) di rame – carta ammollita – alluminio (o rame – alluminio – carta ammollita),



è quello stabilito da Volta, sempre dal rame all’alluminio che combacia.

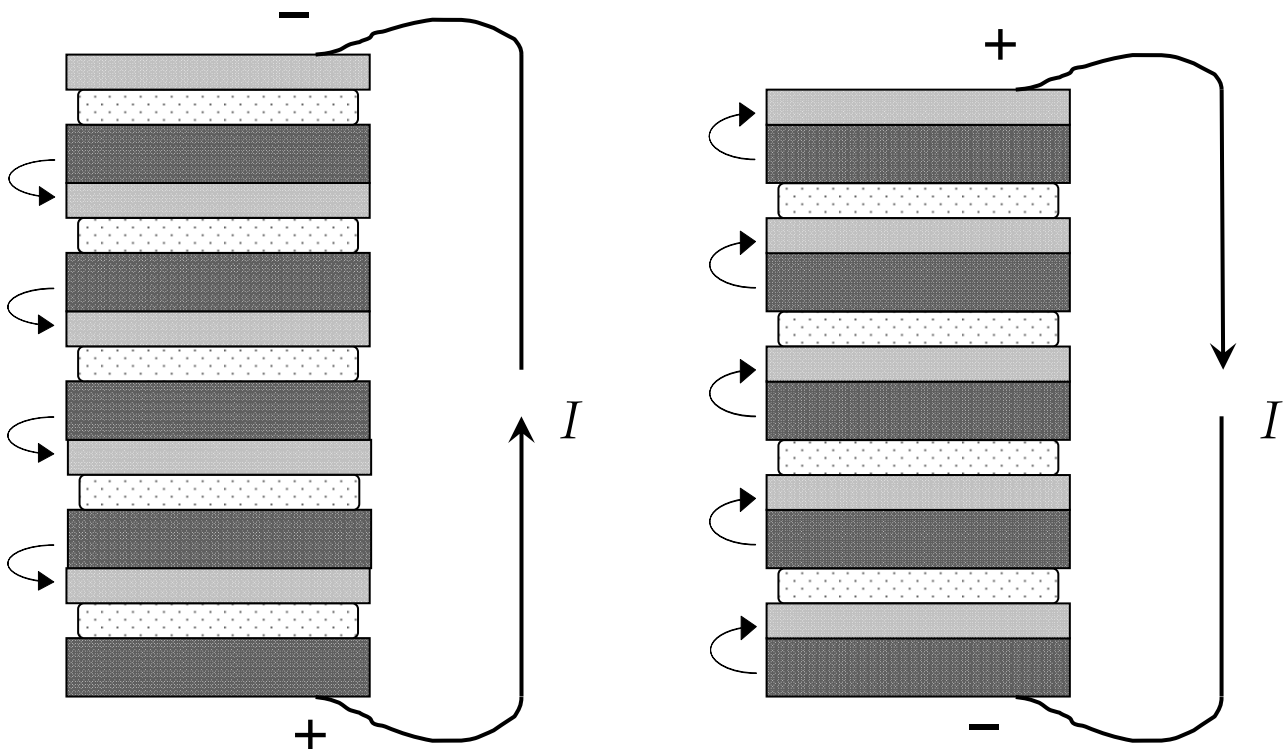
Si hanno pertanto i diagrammi a pagina seguente sul verso della corrente.

È da notare come in un caso la corrente esce dal rame (che è quindi il polo positivo) e

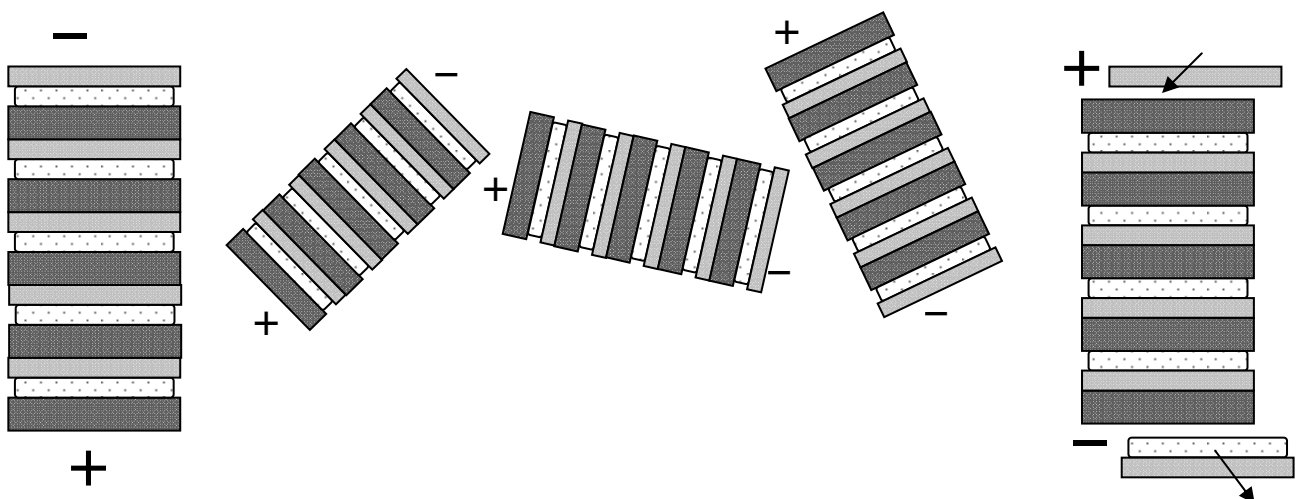
* Ne comunicò il risultato in tre lettere al prof. Gren dell’agosto 1796, intitolate “Sul Galvanismo, ossia sull’Elettricità Eccitata dal Contatto de’ Conduttori Dissimili”. cfr <http://ppp.unipv.it/Volta/Pages/Page3.html>.

... Egli nasce dunque nel contatto mutuo dell’argento (*rame NdR*) per esempio collo stagno (*alluminio NdR*) una forza, un niso, per cui il primo *dà* del fluido elettrico, il secondo lo *riceve*, l’argento tende a versarne, e ne versa nello stagno, ec. Questa forza o tendenza produce, se il circolo è altronde compito per mezzo di conduttori umidi, una corrente, un giro continuo di esso fluido, che va, giusta la direzione sopraindicata (§ prec.), dall’argento allo stagno, e da questo per la via del conduttore o conduttori umidi ritorna all’argento per ripassare nello stagno ec.: se il circolo non è compito, se i metalli trovansi isolati, un’accumulazione di detto fluido elettrico nello stagno (*alluminio NdR*) a spese dell’argento (*rame NdR*); un’*elettricità* cioè positiva, ossia *in più* nel primo, ed una negativa, ossia *in meno* nel secondo: elettricità picciola è vero... (2nda lettera, § LVII).

rientra nell'alluminio (polo negativo). Nell'altro caso avviene il contrario, con il rame polo negativo e l'alluminio polo positivo.



La spiegazione di questo fatto, che sembra molto strano perché si è portati a pensare che polo positivo o negativo debba dipendere “univocamente” dai materiali, è chiara: si tratta sempre della stessa colonna di monetine e dischetti, girata “a testa in giù”:



La polarità della pila possiamo oggi verificarla con il LED. Anche il led ha un polo positivo e un polo negativo (si veda pag. xx), e si accende quando viene collegato con la giusta polarità (+ con +, e - con -).

Dall'accensione del LED gli studenti stabiliscono la polarità della pila e il verso della corrente, verificando così che essa passa dal rame all'alluminio.

Naturalmente, il verso è invertito se invece della corrente si considera il flusso di elettroni, che vengono ceduti dall'alluminio al rame.

Pertanto Volta è nel giusto rispetto al flusso della corrente (“il *rame* tende a versarne, e ne versa nell'*alluminio*, etc”) ma non rispetto al flusso degli elettroni.

Volta è altresì nel giusto quando parla di “un'accumulazione di detto fluido elettrico nell'*alluminio* a spese del *rame*; un'*elettricità* cioè positiva, ossia *in più* nel primo, ed una negativa, ossia *in meno* nel secondo”.

Se per fluido elettrico si intendono gli elettroni, tuttavia, mezza frase va capovolta: essi si accumulano nel rame a spese dell'alluminio. Ma l'alluminio rimane con carica positiva (elettroni in meno) e il rame con carica negativa (elettroni in più).

La tendenza dell'alluminio a cedere elettroni al rame non è dovuta alla diversa maggiore conducibilità elettrica, come si potrebbe pensare in primo luogo. E se anche lo fosse, è invece il rame ad avere la maggiore conducibilità.

Questa tendenza non è spiegata nemmeno dalla maggiore densità del materiale. E se anche lo fosse, è l'alluminio il più leggero (meno denso) dei due: in un nm^3 di alluminio ci sono 60 atomi, in un nm^3 di rame sono 85.

La tendenza nel cedere elettroni è dovuta alla diversa densità di elettroni di conduzione (o “elettroni liberi”) nei due diversi metalli. Ogni atomo di alluminio fornisce 3 elettroni liberi, mentre ogni atomo di rame ne fornisce 1. Il “fluido elettrico” quindi è più denso nell'alluminio (con 180 elettroni per nm^3) e più rarefatto nel rame (con 85 elettroni per nm^3). Di conseguenza instaura un flusso di elettroni dall'alluminio al rame, ad almeno parziale riequilibrio di questa densità. Così facendo, il rame si carica (-) e l'alluminio (+).

Considerando la carica e il potenziale, si capisce che, inizialmente, i due metalli hanno un potenziale diverso e una carica mediamente nulla. Una volta posti a contatto, si instaura il flusso di carica fino a che i due metalli abbiano lo stesso potenziale. A questo punto i due metalli sono carichi, con segno opposto.

A questo punto appare più nitido anche il limite della teoria di Volta. Come spiegare, infatti, il carattere “perpetuo” del flusso di corrente nella pila? Perché la corrente continua a circolare? perché lo squilibrio iniziale di elettricità, dopo essere stato equilibrato, viene di nuovo ri-squilibrato, e così continuamente?

La pila di Humphry Davy e la “teoria elettro-chimica”

L'attenzione di molti si concentrò subito sui conduttori umidi, i dischetti imbevuti d'acqua salata. Anche l'inglese Humphry Davy cominciò a costruire pile secondo le indicazioni di Volta. Ma con una differenza: usò un solo metallo a contatto con vari dischetti di carta, imbevuti in soluzioni diverse.

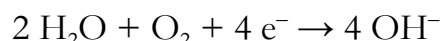
Costruì così una pila funzionante e riuscì a mostrare che a muovere il fluido elettrico non era “la differenza dei metalli”, giacché il metallo era solo uno. Era qualcos'altro. Erano le reazioni chimiche.

Nella pila, sono le reazioni chimiche la causa del moto del fluido elettrico. Per esempio,

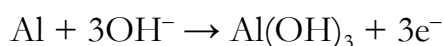
all'interfaccia tra alluminio e d'acqua salata avvengono delle reazioni chimiche che forniscono all'alluminio gli elettroni che questo cede al rame. È attraverso queste reazioni chimiche che l'alluminio è continuamente fornito di elettroni, di cariche da cedere al rame.

Le reazioni chimiche muovono le cariche. Questa è l'origine della parola "elettrochimica". Le reazioni chimiche alle interfacce sono all'origine del funzionamento della pila. Fu proprio grazie alla pila che la teoria chimica e la teoria dell'elettricità vennero "collegate", "unificate". Nel seguito, si dà una breve schematizzazione di queste reazioni.

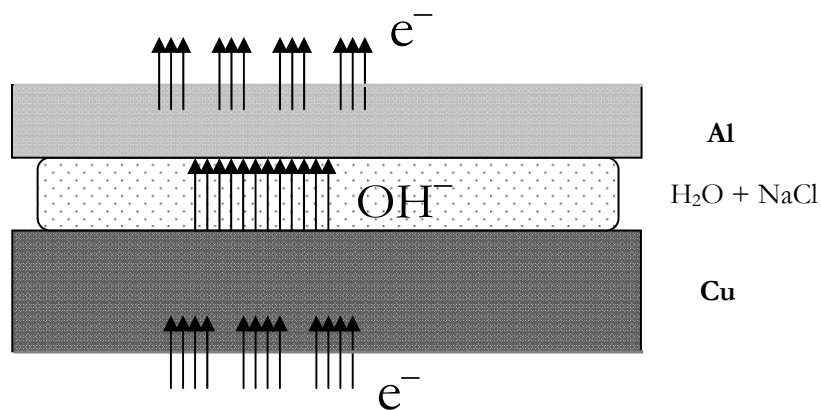
All'interfaccia tra rame e acqua salata avviene una prima reazione. Gli elettroni forniti dal rame (e^-) vengono presi dall'acqua (H_2O) e dall'ossigeno (O_2) in essa disciolto per formare degli ioni negativi (OH^-):



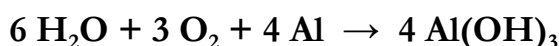
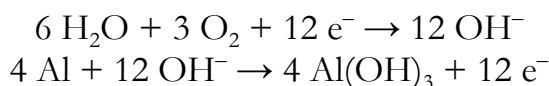
La soluzione, ricca di ioni OH^- , è pertanto basica. All'interfaccia tra alluminio e acqua salata avviene la seconda reazione. Gli ioni negativi (OH^-) si combinano con l'alluminio (Al) formando l'idrossido di alluminio ($Al(OH)_3$) e lasciando gli elettroni (e^-) all'alluminio.



Il rame continua così a cedere elettroni, l'alluminio ad acquistarne. Tra l'alluminio e il rame separati dal disco ammollito si stabilisce una differenza di potenziale, costruita dalle reazioni chimiche, di circa 0.6 volt.



Le due reazioni (o semi-reazioni) si possono collegare, sommare e semplificare:



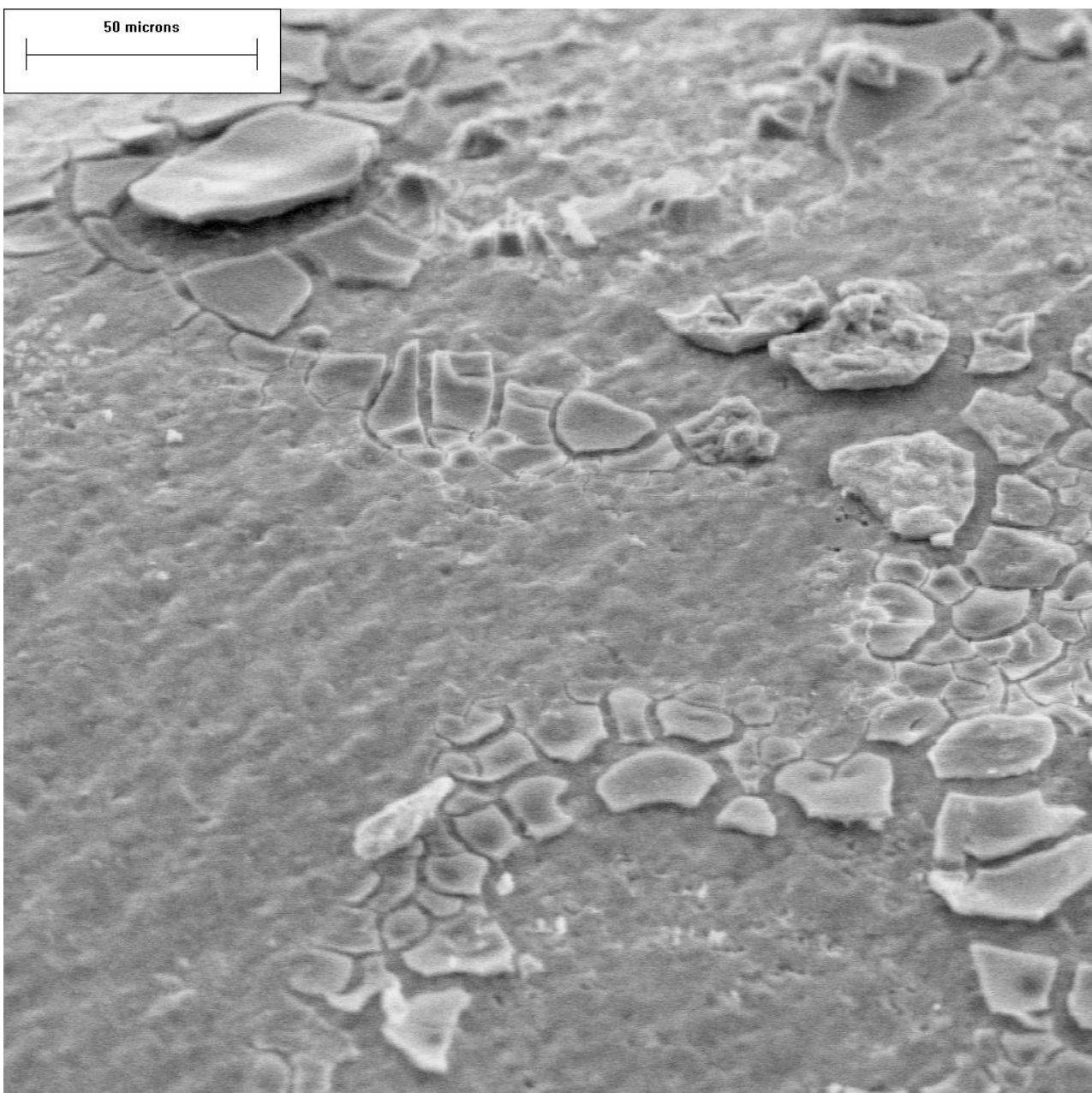
La reazione chimica alla base di questa pila è dunque la trasformazione dell'acqua, dell'ossigeno in essa disciolto e dall'alluminio in idrossido d'alluminio. È questa reazione che mette in moto le cariche per il funzionamento della pila.

L'idrossido di alluminio è un cristallo bianco, ed elettricamente è un isolante. La formazione di uno strato di idrossido sull'alluminio quindi ostacola il funzionamento

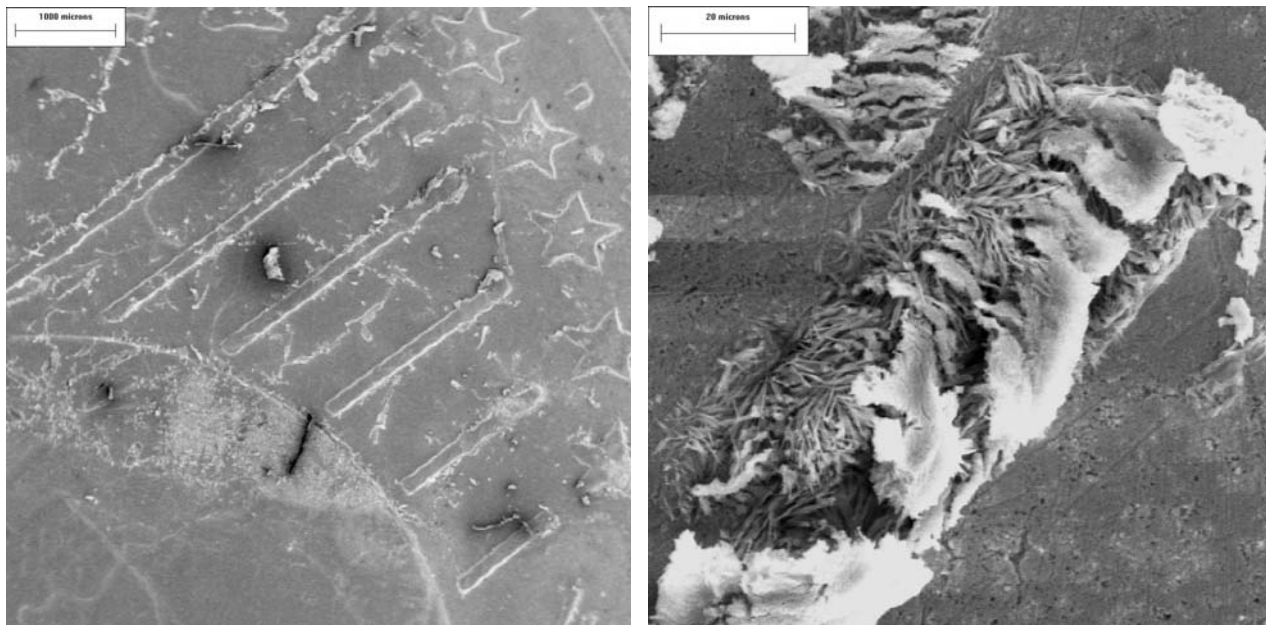
della pila. Si dice in questi casi che “l’elettrodo è polarizzato”. Quando lo strato copre interamente l’interfaccia la pila non funziona più.

Le cose sono poi ulteriormente complicate dagli ioni Na^+ e Cl^- . La presenza di queste cariche mobili è importante per aumentare la conducibilità della soluzione. Essi si muovono secondo la corrente, Cl^- nel verso degli OH^- e Na^+ nel verso opposto. Contribuiscono così al trasporto di carica. Inoltre, prendono parte ad altre reazioni chimiche. Le analisi al microscopio elettronico permettono di rilevare la presenza di cloro sull’alluminio, e di sodio sul rame.

Con il microscopio elettronico si possono prendere belle immagini (in bianco e nero) dei componenti della pila. Qui si vede lo strato di idrossido di alluminio, rotto in alcuni punti, che si forma sulla superficie dell’alluminio.



Sulla moneta di rame i depositi di materiale (sodio) si concentrano in prossimità dei rilievi, dove cioè la superficie presenta angoli, punte.



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 ANDREATA DI PERGINE PROF ATANASIO	CLAUDIO DELLA VOLPE	ROMINA BELLI
MARCO PICCOLINO	LA DIREZIONE DELLA RIVISTA NATURALMENTE	IL GRUPPO DI DOCENTI DI TECNOLOGIA “I 33 TARENTINI”	IL GRUPPO DI DOCENTI DI SCIENZE “I 59 TARENTINI”	JSTOR