

## **L'elettroforo perpetuo e la pila di Volta**

Lidia Falomo, Fabio Bevilacqua  
Dipartimento di Fisica "A.Volta"  
Università di Pavia

Nella prima metà del Settecento i fenomeni elettrici, meravigliosi ed eccitanti, avevano conquistato tutta l'Europa. Gli esperimenti si erano moltiplicati e si era elettrizzato di tutto, dagli oggetti di uso comune al corpo umano, dalle tavole imbandite alle giovani dame che davano baci elettrici e pungenti, ai ragazzi che con le mani attiravano oggetti leggeri e che talvolta erano elettrizzati a tal punto che "il loro corpo veniva circondato di luce, come si soleva a volte dipingere la gloria dei Santi". Non solo praticoni e dilettanti, ma anche alcuni fisici "elettrizzanti" cominciarono a frequentare i salotti e le piazze e a praticare attività di divulgazione ed intrattenimento. Il "divulgare divertendo" veniva considerato addirittura un compito degli scienziati, giacché, come scriveva Eusebio Sguario, " ... è un delitto gravissimo per uno Scrittore, il trattar materie, che annoio, e stancando facciano sbadigliare ...".

Mentre si continuavano ad apportare migliorie alle macchine elettrostatiche<sup>1</sup> e agli strumenti atti a rivelare i segni elettrici e parallelamente si cominciavano a formalizzare le prime teorie in grado di giustificare i fenomeni elettrici osservati, accadde il fatto veramente "prodigioso" che passò alla storia come esperimento di Leida: nel 1745 Giorgio von Kleist elettrizzò un filo metallico posto dentro ad un contenitore contenente alcool e un po' di mercurio, retto con una mano. Toccato il filo con l'altra mano, ricevette una terribile scossa. Dopo qualche tempo lo stesso accadde all'avvocato Andreas Cuneus, che, tentando di elettrizzare l'acqua tramite un filo metallico in contatto con una macchina elettrostatica, tenne la bottiglia in mano, contravvenendo alla regola in uso, che prevedeva di porla su un supporto isolante. Anche lui, toccando il filo che pescava nell'acqua con l'altra mano, avvertì una scossa straordinaria. La bottiglia di Leida rivestì un ruolo molto importante nella storia dell'elettricità, in quanto stimolò la nascita di un gran numero di nuovi esperimenti e teorie, da una parte perché era possibile rendere più evidenti tutti i segni elettrici, specialmente le scariche, e dall'altra perché si cercava di trovare come e perché fosse possibile "condensare"<sup>2</sup> così tanta elettricità.

Proprio nel 1745 nasce a Como Alessandro Volta, uno dei personaggi più straordinari della cultura scientifica settecentesca. Dopo un'infanzia "silenziosa"<sup>3</sup> ed una fanciullezza travagliata da difficoltà familiari<sup>4</sup>, egli frequenta la "Scuola di Rettorica" presso il Collegio dei Gesuiti di Como. Spicca nell'italiano, si diletta a scrivere versi in latino e dedica parecchio tempo allo studio dei fenomeni naturali. Inizia quindi gli studi filosofici (Ginnasio) attirando, per la sua intelligenza e versatilità nello studio, l'attenzione di un padre gesuita che cerca di convincerlo ad entrare nella compagnia. Ma lo zio Canonico lo ritira dalle scuole dei gesuiti e lo iscrive al Seminario Benzi. Finito il Ginnasio, nonostante le insistenze dello zio che voleva avviarlo alla carriera forense, abbandona gli studi regolari e prosegue da autodidatta, interessandosi soprattutto ai fenomeni elettrici.

---

<sup>1</sup> Le prime macchine elettrostatiche erano costituite da un globo di zolfo (la prima di Otto von Guericke) o di vetro che venivano fatte girare tramite manovelle. L'elettricità veniva prodotta strofinando tali globi con una mano o, più tardi, con cuscinetti. Al posto del globo si introdussero cilindri e, successivamente, dischi di vetro. L'aggiunta di punte e collettori metallici permise di separare e raccogliere cariche dei due segni (positive e negative).

<sup>2</sup> La bottiglia di Leida (precisamente il sistema formato dalla mano che regge la bottiglia, il vetro e l'acqua) costituisce il primo condensatore della storia dell'elettricità. Ben presto ci si rese conto che l'acqua e gli altri liquidi nell'esperimento avevano solo il ruolo di conduttori, per cui potevano essere sostituiti da altri conduttori, ad esempio da un rivestimento metallico aderente alle pareti del vetro. Lo stesso per la mano. Si cominciò dopo poco a variare anche la forma e ad impiegare al posto delle bottiglie delle lastre di vetro rivestite di lamine metalliche.

<sup>3</sup> Si dice che i genitori temessero che Alessandro, settimo di nove figli, fosse muto e che a convincerli del contrario sia stato un secco "no" pronunciato a quattro anni per rifiutare una bevanda amara. Sin verso i sette anni egli fu molto incerto nel parlare, ma subito dopo rivelò una particolare vivacità intellettuale e capacità nello studio.

<sup>4</sup> Il padre Filippo, morto prematuramente nel 1752, lasciò la famiglia in gravi difficoltà economiche. Alessandro, la madre e due sorelle furono ospitati dallo zio canonico Alessandro, gli altri tre fratelli (due sorelle ed 1 fratello erano morti in tenera età) dallo zio Antonio, Arcidiacono.

Legge i testi di Petrus van Musschenbroek, di Jean-Antoine Nollet e di Giambattista Beccaria, tra i più autorevoli studiosi del tempo nel campo dell'elettricità e a soli 18 anni è in corrispondenza con gli ultimi due, ai quali coraggiosamente espone le proprie teorie. Un paio di anni più tardi ha la fortuna di poter utilizzare per i propri esperimenti il gabinetto di fisica che il suo amico Cesare Gattoni si fa costruire nella propria casa a Como. Comunica a Beccaria i primi risultati ottenuti nel 1765 e resta in corrispondenza con lui sino al 1769, anno in cui pubblica una memoria in latino, il *De vi attractiva ignis electrici*, in forma di lettera aperta diretta allo stesso Beccaria. In tale lettera Volta espone il proprio dissenso sulle teorie dell'elettrologo torinese, in particolare su quella più recente e più cara: l'*elettricità vindice*. Da questa disputa scientifica, durata alcuni anni, nasce il primo strumento inventato da Volta, l'*elettroforo perpetuo*, così come dalla disputa con Luigi Galvani sull'elettricità animale nasce l'ultimo strumento inventato da Volta, la *pila*. I contrasti interpretativi, che sembrano stimolare in particolar modo l'orgoglio e l'applicazione di Volta, terminano entrambi con l'invenzione di uno strumento, il primo dei quali gli procura la fama, il secondo una "gloria imperitura". Ma esaminiamo un po' più in dettaglio questi due strumenti, sui quali si vuole in particolar modo concentrare l'attenzione nel presente libro, ed il processo che ha portato alla loro invenzione.

Secondo la teoria di Beccaria dell'elettricità vindice quando si uniscono un isolante ed un conduttore (o due isolanti) elettrizzati uno positivamente e l'altro negativamente, le loro elettricità, contrarie, si annullano. Nel momento in cui i due corpi vengono separati, l'isolante "rivendica a sé", e riprende, l'elettricità che aveva prima che i corpi venissero uniti. Volta si oppone fermamente a questa interpretazione e per confutarla si concentra soprattutto su uno strumento analogo alla bottiglia di Leida, il quadro di Franklin, formato da una lastra di vetro sulle facce del quale venivano applicate due sottili lamine metalliche.



Elettroforo conservato presso il Museo per la Storia dell'Università di Pavia

Per rendere più evidente la propria teoria, apporta alcune importanti modifiche: sostituisce al vetro uno strato di resina<sup>5</sup>, colato su un piatto conduttore (che prende il posto dell'armatura inferiore) e all'armatura superiore uno scudo arrotondato<sup>6</sup>, munito di manico isolante "... per poterlo comodamente levare e riporre". Il nuovo strumento, annunciato in una lettera a Joseph Priestley del 1775, sembra in effetti rispondere magnificamente ai presupposti teorici di Volta: caricato lo strato di resina, esso conserva tenacemente l'elettricità che gli è stata impressa; quando lo scudo metallico viene appoggiato sulla resina e si toccano alternativamente o contemporaneamente lo scudo e il

<sup>5</sup> La resina conserva più a lungo del vetro l'elettricità impressa sulla sua superficie. La "ricetta" migliore per lo strato di resina è indicata dallo stesso Volta: "Tre parti di trementina, due di ragia ed una di cera bollite insieme per più ore, mescondovi in fine alquanto di minio ad oggetto di avvivare il colore ..."

<sup>6</sup> La forma arrotondata dello scudo conduce ad una minore dissipazione di elettricità rispetto all'armatura, terminante con spigoli e punte. Esso era fatto di metallo o di legno metallizzato, più leggero e maneggevole.

piatto, l'elettricità dello strato di resina non si estingue realmente, come vuole Beccaria, ma anzi continua a rimanervi aderente, inducendo, "perché abbia luogo un certo qual equilibrio" elettricità contrarie nello scudo e nel piatto.<sup>7</sup>

Sollevando lo scudo, esso risulta quindi elettrizzato. Una volta scaricato, può essere di nuovo appoggiato sullo strato di resina, toccato (cioè messo a terra) e risollevato: esso risulta nuovamente carico. Ripetendo le stesse operazioni, lo scudo può continuare a fornire elettricità per tempi lunghissimi, cosa che in un certo qual modo, come scrive Volta "... ha sorpreso me e quanti finora furono a parte di un tale spettacolo" e fa meritare allo strumento il nome di *elettroforo perpetuo*. Semplice e compatto, esso permette di avere a disposizione, praticamente in ogni momento e senza il continuo strofinio imposto dalle altre macchine elettrostatiche, una grande quantità di elettricità: il suo successo è enorme e presto esso viene utilizzato in quasi tutti i gabinetti di fisica europei.

E se sorpresa suscita in Volta e negli spettatori il funzionamento dell'elettroforo, a maggior ragione ciò accade per la pila, il " ... nuovo apparato scuotente; il quale ha cagionato tanto stupore a tutti i Fisici, e a me tanta soddisfazione". E se perpetua è la carica portata e fornita (in modo discreto) dall'elettroforo, perpetuo è il moto del fluido elettrico nella pila: "cette circulation sans fin du fluide électrique (ce mouvement perpetuel), peut paroître paradoxé, peut n'être pas explicable: mais elle n'en est pas moins vraie et réelle ...". Nel comunicare l'invenzione dei propri strumenti Volta esprime, prima dell'aggettivo "perpetuo", dal significato così forte in fisica, un sentimento di stupore, di meraviglia, di sorpresa, quasi a giustificarsi per aver usato un termine che può procurargli critiche, ma che al tempo stesso lo riempie di orgoglio.

Ma vediamo un po' più in dettaglio come si arrivò alla ideazione della pila, uno strumento così innovativo "Da potersi paragonare forse solo, in età remota, alla scoperta del fuoco" (A. Righi, Commemorazione del I centenario della morte di Volta). Essa fu il risultato da parte di Volta della celebre controversia che lo oppose a Galvani, controversia che coinvolse tutta la comunità scientifica (e non solo!) nell'ultimo decennio del 1700.

Tutto ha inizio nel 1791, anno in cui Galvani pubblica una memoria destinata a suscitare grande scalpore, il *Commentarius de viribus electricitatis in motu musculari*, nella quale descrive i propri esperimenti, portati avanti da diversi anni e sostanzialmente riconducibili a tre diverse tipologie:

- le zampe di una rana, decapitata, scuoiata e "preparata"<sup>8</sup>, presentano vistose contrazioni quando una lancetta metallica viene avvicinata ai nervi crurali nello stesso istante in cui a distanza scocca una scintilla;

- le stesse contrazioni si manifestano in presenza di elettricità atmosferica, durante i temporali;

- le contrazioni si manifestano inoltre anche mettendo semplicemente in contatto nervo e muscolo tramite un archetto, in special modo quando sono utilizzati due metalli diversi.

Per tentare di spiegare questi risultati Galvani ipotizza l'esistenza di un'elettricità propria degli animali, che si origina nel cervello, scorre attraverso i nervi e si accumula nei muscoli.<sup>9</sup>

Volta legge il *Commentarius* nel marzo del 1792 e pone l'attenzione in particolar modo sul terzo tipo di esperimenti, che in un primo tempo gli sembra possano effettivamente provare l'esistenza di

---

<sup>7</sup> Nella forma matura della teoria delle atmosfere elettriche (che per quanto riguarda gli effetti è analoga a quella che oggi viene chiamata induzione elettrostatica) Volta spiega l'elettizzazione dello scudo nel seguente modo: quando si pone sullo strato di resina elettrizzato lo scudo, esso viene *attuato* dalla sua atmosfera, acquista un'elettricità *omologa accidentale*, cioè una *tensione*, uno sforzo, per cui tende a disfarsi dell'elettricità, e se ne disfa non appena "gli se ne apre la via", mettendolo a terra. In questo modo lo scudo acquisisce un'elettricità *reale contraria*. La stessa cosa accade al piatto, che con la propria elettricità reale contraria contribuisce a mantenere più a lungo la carica dello strato di resina.

<sup>8</sup> "Tagliata ... trasversalmente al di sotto degli arti superiori, sventrata ... lasciati lì soli arti inferiori uniti tra loro, con i lunghi nervi crurali inseriti, e questi, o sciolti, e liberi od appesi alla spinal midolla lasciata intatta nel suo canal vertebrale".

<sup>9</sup> Ogni fibra muscolare è per Galvani simile ad una piccolissima bottiglia di Leida: nelle facce interna ed esterna di essa è accumulata una duplice elettricità (positiva e negativa) e ciascuna delle tre azioni prima citate (la scintilla, il fulmine, la comunicazione con l'archetto) provoca la scarica del fluido elettrico e la contrazione dei muscoli. Il nervo esercita la stessa funzione del filo metallico che penetra nella bottiglia di Leida.

un'elettricità animale; le contrazioni nei primi due casi sono infatti secondo Volta spiegabili con la teoria delle atmosfere elettriche.

Ripete gli esperimenti di Galvani, cerca di stabilire quale sia la minima elettricità artificiale in grado di provocare le contrazioni degli arti della rana e scopre che essa è debolissima, per cui la rana si comporta come un sensibilissimo rivelatore di elettricità.<sup>10</sup> Già dopo un paio di mesi egli comincia a porre la propria attenzione sul ruolo giocato nelle contrazioni dal contatto tra due metalli diversi e ben presto arriva ad affermare che metalli diversi posti a contatto non sono solo conduttori ma anche motori di elettricità: "sono in un proprio senso eccitatori e motori".

Proseguendo nel dibattito, Galvani riesce ad ottenere contrazioni delle zampe delle rane anche solo mettendo a contatto nervo e muscolo (escludendo quindi i metalli); Volta reagisce formulando l'ipotesi che anche i corpi umidi possano essere motori di elettricità.

La situazione di indecidibilità tra i due programmi di ricerca è ben sintetizzata dallo stesso Galvani: "Egli [Volta] vuole questa elettricità la stessa che quella comune a tutti i corpi; io, particolare e propria dell'animale: egli pone la causa dello sbilancio negli artifici che si adoprano, e segnatamente nella differenza dei metalli; io, nella macchina animale: egli in somma tutto attribuisce ai metalli, nulla all'animale; io, tutto a questo, nulla a quelli, ove si consideri il solo sbilancio."

Nel 1796 Volta riesce a misurare, servendosi di uno strumento di propria invenzione, l'elettrometro condensatore, la tensione<sup>11</sup> generata ai capi di una coppia di metalli diversi; Galvani con un esperimento pubblicato nel 1797 (che può essere considerato come il punto di partenza dell'elettrofisiologia) ottiene delle contrazioni dalle due zampe della rana, separate, portando il nervo di una di esse a contatto con due punti differenti dell'altro nervo, piegato a forma di piccolo arco.

Galvani riesce così ad eliminare anche il contatto tra corpi umidi differenti, ma il suo esperimento passa quasi inosservato; Volta tenta di moltiplicare gli effetti ottenuti sovrapponendo coppie di dischi di due metalli diversi<sup>12</sup> (rame e stagno, o, meglio, argento e zinco) e sul finire del 1799 ci riesce, interponendo tra le coppie sovrapposte un conduttore umido (un disco di cartone, o di altro materiale, imbevuto di acqua salata o acidulata): è la pila.

Volta ne dà l'annuncio il 20 Marzo del 1800, con una lettera a Sir Joseph Banks, presidente della Royal Society di Londra, la più prestigiosa Accademia scientifica dell'epoca. In questa lettera lo strumento viene più volte chiamato *Organo elettrico artificiale* (in quanto "... semblable dans le fond, ..., et même tel que je viens de le construire, pour la forme, à l'organe électrique naturel de la torpille, de l'anguille tremblante, etc. ...") o *apparato elettromotore*; il nome pila fu imposto dai francesi e presto adottato dallo stesso Volta.

Il successo dello strumento, il primo generatore di corrente elettrica continua, è immediato e travolgente. Subito dà inizio all'elettrochimica, all'elettrodinamica e, quindi, all'elettromagnetismo; la pila può essere ritenuta, come affermato da Einstein, "la base fondamentale di tutte le invenzioni moderne".

E con il successo non tardano ad arrivare gli onori: Volta presenta la pila a Napoleone, che nel 1801 lo premia con la medaglia d'oro dell'Institut de France, nel 1809 lo nomina Senatore del Regno d'Italia e nel 1810 gli conferisce il titolo di Conte.

---

<sup>10</sup> "La rana così preparata ci presenta un *Elettrometro animale*, che tale si può dire, più sensibile senza paragone d'ogn'altro sensibilissimo Elettrometro".

<sup>11</sup> La tensione è per Volta la grandezza intensiva coinvolta nei fenomeni elettrici, analoga alla pressione e alla temperatura rispettivamente nei fenomeni pneumatici e termici. Volta nel proprio programma di ricerca fa ampio uso di analogie tra le diverse discipline della fisica, cercando leggi e principi unificatori.

<sup>12</sup> Per quanto riguarda l'interpretazione del funzionamento della pila, va sottolineato che Volta rimane sempre legato alla teoria del contatto tra i due diversi metalli e nega l'interpretazione chimica, che presto diviene prevalente.

Non solo sotto il dominio francese Volta ebbe grandi onori e non solo di Napoleone fu suddito devoto<sup>13</sup>. Tornando infatti agli anni successivi all'invenzione dell'elettroforo, nel 1778 il Conte Firmian<sup>14</sup>, ministro dell'Impero Asburgico per la Lombardia, gli concesse la cattedra di Fisica Sperimentale all'Università di Pavia, che grazie alla politica innovatrice di Maria Teresa e del suo successore, Giuseppe II, entrò nel novero delle migliori università di Europa. Ebbe da Firmian e direttamente dall'Imperatore i fondi richiesti per compiere diversi viaggi attraverso l'Europa e per acquistare gli strumenti che riteneva necessari per il Gabinetto di Fisica<sup>15</sup> e per le proprie lezioni, anche pubbliche, che divennero frequentatissime.

Negli anni intercorsi tra le invenzioni dell'elettroforo e della pila compì molti altri studi e raggiunse altri risultati molto importanti. Per quanto riguarda l'elettricità, stabilì la legge che lega carica, capacità e tensione ( $Q=CT$ ), si occupò di elettrometria e di meteorologia elettrica, inventò il condensatore, gli elettrometri a pagliuzze, l'elettrometro condensatore. Compì approfonditi studi sulle arie, scoprì il metano, inventò la pistola elettrico-flogo-pneumatica e l'eudiometro ad aria infiammabile, per la misura della quantità di ossigeno nell'aria. Determinò la legge di dilatazione dell'aria e le leggi dei vapori. Divenne membro di un gran numero di Accademie scientifiche italiane ed europee.

Gli onori a lui tributati non terminarono con il 1827, anno della morte: si potrebbe addirittura tracciare una piccola storia delle celebrazioni voltiane, l'ultimo atto delle quali si è tenuto nel 1999, bicentenario dell'invenzione della pila. In occasione di tali celebrazioni non solo si è approfondita e rivisitata l'opera scientifica e si sono tenute un gran numero di manifestazioni, ma si è intervenuto anche sui luoghi voltiani, che costituiscono oggi una interessante meta di "turismo scientifico".<sup>16</sup>

Fig.2 Ricostruzione tridimensionale digitale della pila di Volta. Nell'ambito dell'informatizzazione del Gabinetto di fisica voltiano, le invenzioni e gli strumenti più importanti sono stati presentati, descritti e spiegati con animazioni tridimensionali.

Fig.3 Vista di parte del Gabinetto di Fisica di Volta.

---

<sup>13</sup> Seppe destreggiarsi tra gli avvenimenti bellici e politici e i frequenti cambi di governo: dall'Impero Asburgico all'invasione francese del 1796, dal ritorno degli austriaci nel 1799 alla nuova vittoria dei francesi nel 1800 e, infine, alla restaurazione del governo austriaco nel 1814.

<sup>14</sup> Lo stesso Firmian già lo aveva nominato nel 1774 Soprintendente e Reggente delle Scuole di Como e l'anno dopo gli aveva dato la cattedra di Fisica Sperimentale presso il R. Ginnasio di Como.

<sup>15</sup> In occasione delle celebrazioni per il bicentenario dell'invenzione della pila il Gabinetto di Fisica di Volta è stato ricostruito presso il Museo per la Storia dell'Università di Pavia, con gli strumenti da lui utilizzati per la ricerca e la didattica e gli arredi originali.

<sup>16</sup> A Pavia oltre al ricostruito Gabinetto di Volta è possibile visitare il restaurato "Teatro fisico" (oggi aula Volta), in cui lo scienziato teneva le proprie lezioni, l'antico nucleo dell'Università (con il cortile a lui dedicato e le altre aule storiche) e la Biblioteca Universitaria, in cui sono conservati numerosissimi libri e riviste dell'epoca e nella quale è possibile ammirare lo splendido "Salone Teresiano". Chi si accontenta di una "visita virtuale" può collegarsi ai siti <ppp.unipv.it/Musei> e <ppp.unipv.it>.