

Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2000)

Heft: 1

Artikel: La controversia Galvani-Volta

Autor: Bevilacque, Fabio

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-131924>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La controversia Galvani-Volta

Fabio Bevilacqua

Introduzione

A duecento anni dalla morte di Galvani e dall'invenzione della pila l'attenzione è ancora grande per la controversia sull'elettricità animale tra Luigi Galvani e Alessandro Volta che si sviluppò tra il 1791 (pubblicazione del *Commentarius*¹ di Galvani) ed il 1798 (morte di Galvani) e che portò nel 1799 all'invenzione della pila. Che cos'era in gioco? La supremazia della fisica, l'autonomia della fisiologia e della biologia, il significato del cosiddetto metodo sperimentale, una concezione laica (Volta) ed una religiosa (Galvani) dei fenomeni della vita, la posizione della scienza italiana nel contesto internazionale, la rivalità tra Pavia e Bologna?

Nei limiti di spazio di questo contributo cercherò di dare un'introduzione ad alcuni aspetti del dibattito. Il fascino sempre vivo deriva dal fatto che molti problemi di allora sono ancora oggi in gioco!

I personaggi

Cominciamo a presentare i nostri personaggi. Luigi Galvani nacque nel 1737, laureatosi in medicina e in filosofia nel 1759 (aveva seguito anche corsi di fisica), nel 1762 sposò Lucia Galeazzi (che morì poi nel 1790), nel 1766 diventò professore di anatomia nell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, nel 1768 divenne Aggiunto di Gusmano Galeazzi (il suocero); nel 1775 gli successe nella lettura di Anatomia pratica e fu iscritto tra gli Anatomici dello Studio che aveva la sua sede nell'Archiginnasio, nel 1782 sostituì nell'Istituto la cattedra di anatomia con quella di ostetricia.

Esistono manoscritti delle sue lezioni di anatomia e ostetricia per il periodo dal 1768 al 1786; dal 1783 si occupò prevalentemente di elettrofisiologia. Galvani registrò in un Giornale il procedere delle ricerche dal 6 novembre 1780 al 25 aprile 1787. Intorno al 20 aprile 1798 fu privato della cattedra per non aver voluto giurare fedeltà alla Repubblica Cisalpina; poi, reintegrato come professore emerito giubilato, morì il 4 dicembre 1798, a sessantun anni.

Gli studi di Galvani anteriori al 1791 si possono di-



Luigi Galvani

vedere in due gruppi: quelli di anatomia e quelli di fisiologia. Questi ultimi mostrano un costante interesse per i problemi degli effetti dell'elettricità sul moto muscolare. Recenti analisi dei manoscritti di Galvani mostrano competenze e ricerche anche di chimica.

Diversa, come noto, la vita di Volta: più giovane di otto anni, abbandonò presto gli studi, ma nel 1763, a soli diciotto anni, era già in corrispondenza scientifica con padre Beccaria e l'abate Nollet, tra i maggiori esperti di elettricità. Nel 1778 fu nominato professore di Fisica Sperimentale all'Università di Pavia. Diversamente da Galvani viaggiò molto, in particolare nel 1781-2 visitò a lungo Parigi e Londra e mantenne una fitta corrispondenza con numerosi scienziati. Nel 1794, la Royal Society gli conferì la medaglia Copley per l'interpretazione dei fenomeni galvanici del 1792. Anche i rapporti con i Francesi furono diversi: nel 1801 a Parigi riceve una medaglia d'oro da Napoleone per l'invenzione della pila. Nel 1819 si ritira definitivamente a Como, ove muore nel marzo del 1827, alla veneranda età di ottantadue anni.

Come oramai ben noto Volta sarebbe passato alla

storia anche senza il dibattito con Galvani e l'invenzione della pila. La serie dei suoi contributi sia teorici che sperimentali è straordinaria.

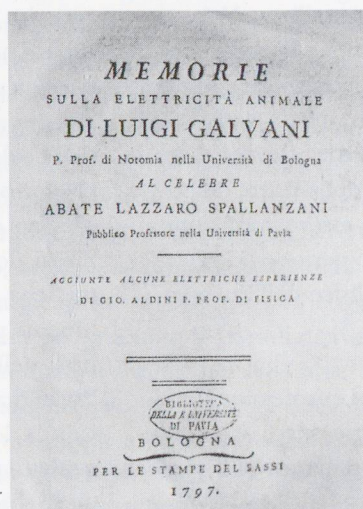
I programmi di ricerca

All'inizio della controversia, nel 1792, i programmi di ricerca dei due «scienziati» (termine ottocentesco) erano già definiti ed, ovviamente, erano ben diversi. Galvani si era via via convinto della specificità dei fenomeni elettrici del mondo organico. Credeva fortemente in una elettricità «animale», cioè in uno sbilancio elettrico che si originava negli animali, indipendente dagli stimoli elettrici esterni, «fisici», provocati ad esempio dai metalli. Rimane dubbio quanto questo approccio, con l'ipotesi di una produzione dell'elettricità nel cervello e con la riduzione del moto muscolare a scariche di questa elettricità, fosse in contrasto, per l'assenza di altre trasformazioni di compensazione, con l'impossibilità del motore perpetuo e quindi fosse incline al vitalismo. La metodologia, vero punto di forza di Galvani, era di tipo sperimentale: Galvani ebbe il merito di portare la fisiologia tra le «scienze» sperimentali, sottoponendo per lunghi anni i fenomeni individuati ad accurati esperimenti, di cui con cura annotava i risultati. L'obiettivo di Galvani era di rendere «sensibili» le ipotesi «occulte» dei fenomeni ed eliminare così dalla fisiologia le spiegazioni metafisiche. Il successo ottenuto deriva anche dalla possibilità offerta alla comunità scientifica di ripetere con facilità le esperienze fatte e descritte con precisione. Da notare inoltre che Galvani accreditava le proprie interpretazioni con leggi e analogie tratte dalla fisica, e si occupava inoltre anche di altri campi, che oggi costituiscono settori disciplinari separati. Il suo interesse era per fenomeni ancora oggi estremamente complessi che richiedono un approccio multidisciplinare.

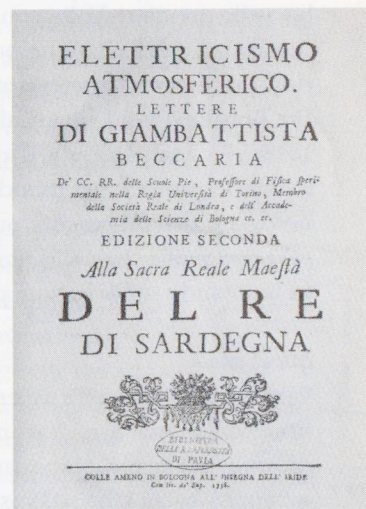
Il programma di ricerca di Volta era ben diverso, complesso ed originale. Volta infatti non accettava di quantificare e matematizzare l'elettrostatica con la bilancia di torsione e con il modello della gravitazione newtoniana adottato da Coulomb. Interpretava invece tutto il settore delle nuove discipline sperimentali «baconiane» (vedi più avanti): elettricità, chimica, termologia, meteorologia, pneumatica, con il prodotto di una grandezza intensiva (non additiva) ed una estensiva (additiva) il cui esempio più famoso è il prodotto (in)tensione x capacità della nota legge $Q=CT$ (ove Q è la quantità di carica e T viene oggi indicata con V proprio in onore di Volta). Questo tipo di legge è anche indice di un approccio lineare all'interpretazione della natura, non è infatti un risultato esclusivamen-

te «sperimentale», deriva dalla linearizzazione del proprio elettrometro attuata da Volta. Inoltre questo approccio lineare, che ben si collega alle relativamente scarse competenze di Volta in matematica, lascia anche supporre che la famosa «vis attrattiva» possa essere identificata con ciò che Faraday chiamava stato elettrotonico e noi potenziale.

Ulteriore carattere del programma di Volta è la continua concretizzazione delle proprie idee teoriche nella costruzione di strumenti di grande validità ed immediato successo internazionale. Lo stesso successo non arrivò invece agli aspetti teorici e Volta fu spesso considerato, in maniera riduttiva, solo come un fortunato costruttore di strumenti. Il programma di Volta comunque fu di tipo decisamente fisicalistico, con un esplicito rifiuto ad ammettere la specificità dei fenomeni del mondo organico ed in particolare l'elettricità animale. Nella strategia di Volta le nuove scoperte di Galvani andavano interpretate in termini fisici e non biologici, anche a costo di modificare la stessa fisica introducendo nuove leggi, come quelle sul contatto tra due metalli (1792). La strategia si rivelò particolarmente fertile sia sotto il profilo teorico che sperimentale e ciò fu immediatamente riconosciuto dalla comunità scientifica internazionale (medaglia Copley 1794).



Frontespizio di una memoria di Luigi Galvani



Le ricerche di Volta sulla triboelettricità

Il contesto

Politico

La controversia tra Galvani e Volta ebbe luogo in un periodo di intense e drammatiche trasformazioni sociali e politiche, alle quali è strettamente legata. In Lombardia ad un periodo di riformismo illuminato dell'impero austriaco (comunque non illuminato abbastanza da consentire a Volta l'agognato matrimonio con l'attrice Marianna Paris) seguiva, sulla scia della vittoriosa rivoluzione francese, l'arrivo delle truppe guidate da Napoleone, la Repubblica Cisalpina, un breve ritorno degli Austriaci, il Regno d'Italia (1796-9, 1800-1814) e poi la dura e non più illuminata restaurazione successiva al Congresso di Vienna. La vita dei nostri scienziati, se non le loro teorie, si intreccia con questi eventi. Franklin fu fortemente impegnato nella rivoluzione americana, Napoleone fu nominato comandante dell'armata d'Italia da Lazare Carnot, grande scienziato, politico e ispiratore del figlio Sadi Carnot. Volta fu inviato dalla città di Como a ricevere il generale «liberatore-invasore». All'arrivo dei Francesi a Bologna, Galvani si rifiutò di giurare fedeltà al nuovo regime e perse, seppur temporaneamente, la cattedra. Volta perse per un anno la cattedra al ritorno degli austriaci, e fu proprio il periodo in cui scrisse la memoria che annunciava l'invenzione della pila. Dopo il ritorno dei Francesi, Napoleone, oramai imperatore, nominato membro dell'Institut (ex Accademia delle Scienze) al posto di Lazare Carnot oramai in volontario esilio, volle premiare Volta con gran rilievo. Volta assunse anche della cariche politiche durante il periodo «francese». Interessanti le parole scritte da Du Bois-Reymond in un altro anno «storico», il 1848: «La tempesta che l'apparizione del Commentario provocò nel mondo della fisica, della fisiologia e della medicina può essere confrontata solo con quella che nello stesso periodo (1791) stava montando sull'orizzonte politico dell'Europa».

Istituzionale

Vanno ricordati qui tre aspetti: la professionalizzazione delle «scienze» baconiane successiva alle riforme teresiane, la matematizzazione delle «scienze» baconiane successiva alla rivoluzione francese, l'acquisizione di uno status professionale da parte della facoltà di scienze, che a inizio secolo si separa dal ruolo propedeutico svolto nella facoltà di arti.

A Severino Boezio (480-524) dobbiamo il termine «quadriovio» per indicare la «quadruplicata strada» all'insegnamento-apprendimento delle scienze: l'aritmetica, la geometria, la musica, l'astronomia. Gli insegnamenti non matematici furono poi indi-

cati con il nome di «trivium»: grammatica, logica e retorica. Già dai tempi di Cassiodoro ed Isidoro di Siviglia le sette discipline prese insieme venivano definite come «arti liberali» e costituirono a lungo il tentativo di trasmettere alle nuove generazioni l'eredità della cultura greco-romana. Ancora nel Settecento costituivano la base delle Facoltà di Filosofia, corsi propedeutici alle specializzazioni universitarie di Diritto, Medicina, Teologia. Ma l'educazione «liberale» classica veniva a scontrarsi con alcune delle novità emerse da quella complessa serie di eventi che va sotto il nome di «Rivoluzione Scientifica»: accanto alle scienze «classiche», quelle del quadriovio, opportunamente rinnovate, si affermarono infatti a partire dal Seicento nuovi domini di ricerca, agli inizi di carattere prevalentemente sperimentale: l'elettricità, il magnetismo, la termologia, la chimica, alcuni aspetti dell'ottica. Queste discipline, definite «fisica particolare» nella terminologia aristotelica dell'epoca, e «scienze baconiane» dallo storico della scienza americano Thomas Kuhn, recentemente scomparso, entrarono sulla scena universitaria nel Settecento, attraverso un processo di professionalizzazione prima e di matematizzazione poi (agli inizi dell'Ottocento). A Bologna furono istituite già nel 1737 cattedre di chimica e di fisica sperimentale, ma sono le riforme dell'Università di Pavia, promosse da Maria Teresa e da Giuseppe II, che giocarono un ruolo molto importante in questa vicenda: la professionalizzazione delle scienze baconiane (l'attribuzione di cattedre e di gabinetti sperimentali a scienziati esperti nei nuovi settori) realizzata all'Università di Pavia la portò in pochi anni ai vertici mondiali.

Ancora più importante fu la fondazione a Parigi dell'Ecole Polytechnique nel 1795, in pieno periodo rivoluzionario. Qui ebbe luogo quella matematizzazione delle scienze baconiane (applicazione ai nuovi domini sperimentali delle tecniche matematiche, specialmente la teoria del potenziale, sviluppate per le scienze classiche) che consacrò all'inizio dell'Ottocento la Francia come la nazione all'avanguardia nelle conoscenze scientifiche.

Con la dominazione francese la situazione a Pavia veniva a modificarsi, e possiamo vedere che il piano di studi dell'Università nel 1808 (tutto racchiuso in una sola pagina) vede solo tre Facoltà: Scienze, Medicina e Diritto. Le scienze, incluso quelle baconiane, acquisivano dignità autonoma, ma venivano inserite tra le specialità professionali ed uscivano dalla facoltà culturale propedeutica, quella delle arti. Al trivio rimaneva il primato culturale.

Ricordo qui che la prima cattedra bolognese di Fisica sperimentale fu data a Galeazzi, maestro (e

suocero) di Galvani, e che per Volta fu istituita nel 1778 una seconda cattedra di fisica. Volta ottenne la cattedra di Fisica Sperimentale e Barletti venne spostato su quella di Fisica Generale.

Culturale

Per capire la controversia occorre brevemente ricordare alcuni aspetti di rilievo della cultura dell'epoca. Il complesso insieme di eventi che va sotto il nome di «rivoluzione scientifica» aveva in realtà svariate caratteristiche. Da una parte avvenne una trasformazione concettuale nelle scienze «classiche» (astronomia, meccanica, ottica, armonia) dall'altra iniziò una vasta sperimentazione nei già ricordati nuovi settori «baconiani» (elettricità, magnetismo, chimica, termologia). Tre paradigmi erano in competizione: quello cartesiano, leibniziano e newtoniano. Pur tutti e tre in senso lato meccanicisti, divergenze vi erano sul ruolo passivo o attivo della materia, sul privilegiare la dinamica o la statica, sull'accettare forze perenni o principi di conservazione. Newton fu influente su entrambi i settori (classico e baconiano) con due approcci diversissimi tra loro ed esposti nei *Principia* (1687) e nell'*Opticks* (1704). I *Principia* determinarono l'affermazione per più di due secoli dell'approccio newtoniano nelle scienze classiche, mentre nel settore baconiano la tendenza alla quantificazione, fortemente sostenuta dallo spirito scientifico dell'illuminismo tardo settecentesco, si svolgeva lungo percorsi alternativi e in competizione, con ripresa di tematiche leibniziane e cartesiane. Rilevante qui il ruolo e l'impegno dei gesuiti che, sconfitti nel settore della astronomia-meccanica, cercavano una «rivincita». I lavori teorici di Volta sono profondamente inseriti in questi dibattiti.

Epistemologico

Anche i criteri di scientificità, cioè di validità delle conoscenze, erano in evoluzione: si passava dalla distinzione medievale tra qualità sensibili (valide) e qualità occulte (non valide), a quella galileiana tra qualità primarie quantificabili (valide) e qualità secondarie non quantificabili (non valide). Il problema era che le qualità primarie spesso non erano direttamente sensibili ed anzi, nel caso della gravitazione newtoniana, decisamente occulte. Il conflitto tra le due epistemologie era netto. Il cosiddetto metodo sperimentale non si basava sull'osservazione: il sole sorge e tramonta, i corpi più pesanti cadono più velocemente, il pendolo non risale alla stessa altezza. Galileo al paradigma aristotelico basato sull'osservazione aveva sostituito un approccio fortemente platonico basato sull'esistenza di leggi matematiche non direttamente os-

servabili ma ipotizzabili sulla base di complesse argomentazioni e corroborabili tramite complesse sperimentazioni basate su nuovi strumenti. Questa epistemologia e metodologia si era affermata nelle scienze classiche ma incontrava difficoltà nel processo di misurazione e quantificazione dei nuovi domini osservativi baconiani, come anche in fisiologia, ove sembrava prioritario eliminare le qualità occulte. In questi settori ebbero influenza concezioni di tipo leibniziano che si rivelarono particolarmente fertili e durature. Infine va ricordato che in questo periodo si sviluppa la critica dell'induzione da parte di Hume e l'analisi della conoscenza scientifica di Kant, che introduce tra l'altro interessanti considerazioni sul ruolo della componente sistemica dei principi. L'attività di Galvani è innovativa per la fisiologia, che diventa campo di precise e accurate indagini sperimentali di tipo «baconiano», ma è ovviamente legata all'epistemologia qui definita aristotelica, cioè al tentativo di rendere «sensibili», e quindi scientifiche, le qualità «occulte». L'attività di Volta è invece più strettamente legata all'introduzione di termini teorici ed ai processi di quantificazione di questi termini, che però non sono portati avanti lungo linee newtoniane-coulombiane.

Scientifico

Veniamo più direttamente ai dibattiti nel campo dell'elettricità e della fisiologia. La prima passa nel Settecento dai giochi di società ai gabinetti sperimentali, con la formulazione di alcune generalizzazioni empiriche, soprattutto relative agli isolanti e conduttori ed alla produzione di elettricità per strofinio, e con la realizzazione di generatori elettrostatici, del «primo condensatore», le bottiglie di Leyda, e di elettroscopi.

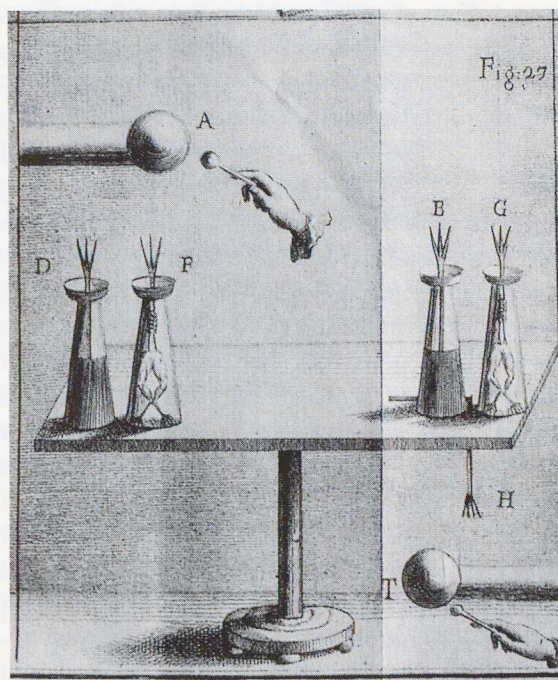
In Francia, Coulomb, un ingegnere esperto di attrito, applica la propria bilancia di torsione alla quantificazione delle attrazioni e repulsioni elettrostatiche secondo il paradigma gravitazionale newtoniano. Produce nel 1784 una legge che avrà grande successo, anche per la possibilità che così si apriva di applicare all'elettrostatica le tecniche matematiche della teoria del potenziale sviluppate per la meccanica celeste, ma che non viene mai accettata da Volta. Volta invece prosegue per la propria strada, anch'essa estremamente fertile e di successo, legata come ricordato al prodotto di grandezze estensive ed intensive. Dato il predominio della fisica francese, che aumenta con gli sviluppi della scuola laplaciana e della fondazione dell'Ecole Polytechnique, il Volta teorico viene comunque considerato eretico.

In fisiologia nella seconda metà del secolo giocano

un ruolo molto importante tre vicende: i dibattiti vitalismo-meccanicismo, lo sviluppo delle teorie halleriane della sensibilità e irritabilità, l'applicazione dell'elettricità alla pratica medica. Partendo da quest'ultimo vediamo che quando Galvani iniziò i propri esperimenti già da tempo si erano sviluppati i tentativi di utilizzare l'elettricità in medicina. Tentativi spesso superficiali operati da ciarlatani. D'altra parte vi era il problema di individuare più specificamente il fluido nerveo ipotizzato da Haller, ed una delle possibilità, quella perseguita da Galvani, consisteva nell'identificarlo con il fluido elettrico. Assumendo tale fluido come specifico del mondo organico e non riconducibile all'elettricità «esterna» sorgeva il problema di come tale fluido si generasse. Un'ipotesi era quella che si sviluppasse nel cervello e fosse portato poi dai nervi nei muscoli, ove costituiva la base dell'«irritabilità» e quindi del moto muscolare. Mentre l'esistenza di una elettricità animale autonoma non era di per sé in contrasto con le leggi della fisica, l'ipotesi che il cervello venisse a produrre autonomamente capacità di lavoro (muscolare) senza una corrispondente compensazione contraddiceva l'impossibilità del motore perpetuo, ribadita dall'Accademia nel 1778, e spingeva questi approcci verso il vitalismo. L'attività di Galvani è notevolissima perché riesce a produrre risultati scientifici in un contesto estremamente problematico.

Il dibattito Galvani-Volta: cronologia

Veniamo adesso più specificamente al dibattito tra Galvani e Volta: questa complessa vicenda può essere schematizzata in riferimento ad alcuni momenti particolarmente importanti. Dapprima le esperienze di Galvani sulle contrazioni delle rane anteriori al *Commentarius* del 1791, poi le immediate reazioni di Volta del 1792 che, dapprima cauto, propone subito dopo una teoria del contatto tra metalli eterogenei. Vi è una situazione di parità interpretativa che viene superata dai galvaniani nel 1794 con un esperimento che elimina i metalli. Ma già l'anno dopo Volta produce una teoria che spiega il nuovo esperimento riportando la situazione in parità. Galvani nel 1797 ancora mostra la fertilità del proprio approccio con nuovi fenomeni a favore dell'elettricità animale. Poi Volta prende il sopravvento, realizzando nello stesso 1797 uno strumento che consente di misurare l'elettricità dei metalli senza rivelatori organici e quindi raggiungendo il risultato più strepitoso con l'invenzione della pila nel 1799, un anno dopo la morte di Galvani. Volta aveva il supporto della comunità scientifica internazionale



Bottiglie di Leyda

(medaglia Copley della Royal Society nel 1794 e medaglia d'oro dell'Institut des Sciences nel 1801) mentre Galvani ebbe un rapporto negativo da una commissione dello stesso Institut.

Galvani: 1781 Primo Esperimento

Il cosiddetto primo esperimento di Galvani è del 1781. Sperimentando con rane preparate «alla solita maniera», cioè decapitate e lasciate nella parte superiore con i soli nervi crurali e midollo spinale, egli, con l'aiuto forse della moglie (Galvani faceva le proprie esperienze in casa) si accorge che se i nervi della rana sono toccati da un conduttore metallico in presenza di una scarica elettrica a distanza, si verificano delle contrazioni. L'interpretazione, difficile, vede Galvani propendere per un'azione di stimolo esterno da parte di atmosfere elettriche materiali su un'elettricità animale che si scarica.

Galvani: 1786 Elettricità atmosferica

Galvani prosegue le sperimentazioni per sei anni e nel 1786 prova con successo che le contrazioni avvengono anche in presenza di scariche di elettricità atmosferica se la rana è poggiata su una lastra metallica.

Galvani: 1786 Secondo Esperimento

Ma nello stesso 1786 viene effettuato un esperimento fondamentale, il «secondo»: poggiando la rana su una ringhiera metallica, Galvani si accorge che le contrazioni avvengono anche senza scariche elettriche esterne, solamente per lo stabilirsi del collegamento metallico tra nervo e muscolo. Scartata l'ipotesi di un effetto dovuto al metallo, Galvani, che nota contrazioni più forti in caso di contatto stabilito tramite un arco bimetallico, si rafforza nell'idea di un'elettricità animale.

Ipotizza che il muscolo della rana sia un serbatoio dell'elettricità che fluisce attraverso i nervi, un condensatore, e che funzioni come una bottiglia di Leyda che si scarica al contatto tra armatura interna (i nervi ne costituiscono l'elettrodo) ed esterna (superficie dei muscoli).

Galvani: 1791-2 Il «De Viribus»

I risultati di dieci anni di sperimentazione sono finalmente pubblicati nel 1791 a Bologna, un anno dopo la morte della moglie. Il *Commentarius* è diviso in 4 parti: 1. Contrazioni con elettricità artificiale (primo esperimento); 2. Contrazioni con elettricità atmosferica; 3. Ipotesi elettricità animale, contrazioni con arco monometallico, maggiori contrazioni con archi bimetallici (secondo esperimento); 4. Tesi elettrofisiologiche basate sull'elettricità animale. Nella quarta parte Galvani evidenzia il proprio programma di ricerca. Rapidamente viene pubblicato un estratto e poi nel 1792 una seconda edizione a Modena, con introduzione e note del nipote Aldini, fisico. Assistente di Galvani durante gli esperimenti era però un altro nipote, Camillo. È interessante notare che in una tavola del *Commentario* compare un apparato molto vicino alla futura pila a corona di tazze.

La quarta parte così venne sintetizzata da Du Bois-Reymond: 1) gli animali hanno una loro particolare elettricità che si chiama elettricità animale; 2) gli organi per i quali questa elettricità animale ha la maggiore affinità e nei quali è distribuita, sono i nervi, ed il più importante organo della sua secrezione è il cervello; 3) la sostanza dei nervi è particolarmente adatta come conduttrice dell'elettricità, mentre gli strati esterni grassi impediscono all'elettricità di disperdersi e permettono il suo accumulo; 4) i recettori dell'elettricità animale sono i muscoli ed essi sono, come la bottiglia di Leyda, negativi esternamente e positivi internamente; 5) il meccanismo di moto consiste nella scarica del fluido elettrico dall'interno dei muscoli all'esterno attraverso il nervo e questa scarica della bottiglia di Leyda muscolare fornisce uno stimolo elettrico alle fibre muscolari irrimediabilmente che perciò si contraggono.

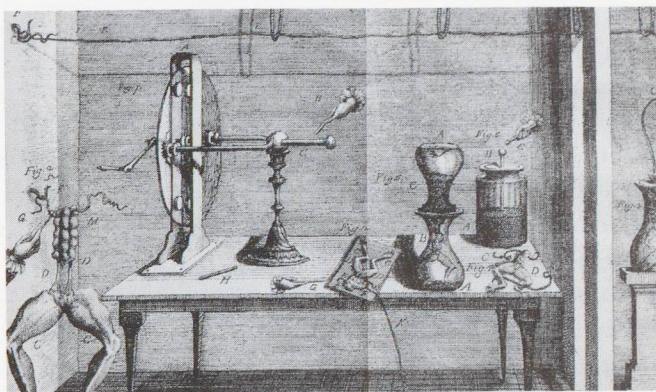
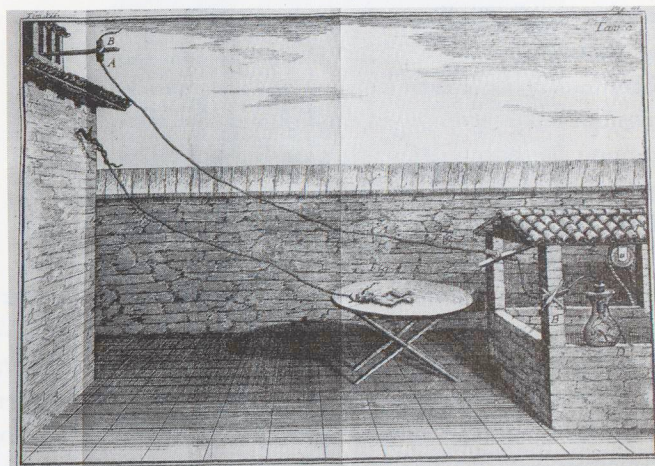
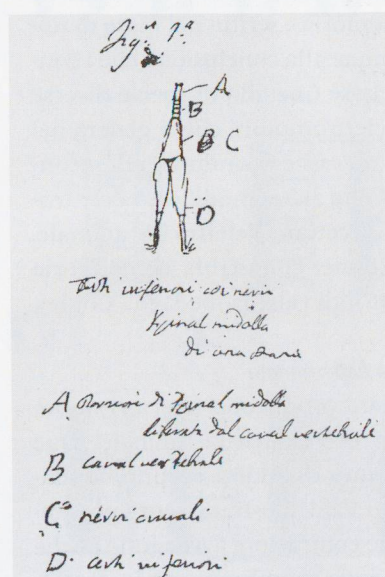


Tavola tratta dalla prima edizione del *De viribus* di Galvani.



Le rane preparate da Galvani per verificare gli effetti dell'elettricità atmosferica sul moto muscolare.



La rana «preparata alla solita maniera», in uno schizzo di Galvani risalente al novembre del 1782

Volta: 1792 *Prime Reazioni*

Volta riceve il lavoro nel marzo del 1792 ed affronta immediatamente il problema, in poche settimane passa «dall'incredulità al fanatismo» e poi al dubbio. In ogni caso è conscio che si tratta di fenomeni della massima importanza e si dedica con passione alla sperimentazione ed all'interpretazione. Tra il 24 marzo ed il 5 maggio scrive la prima memoria, le cui tesi principali così si possono riassumere:

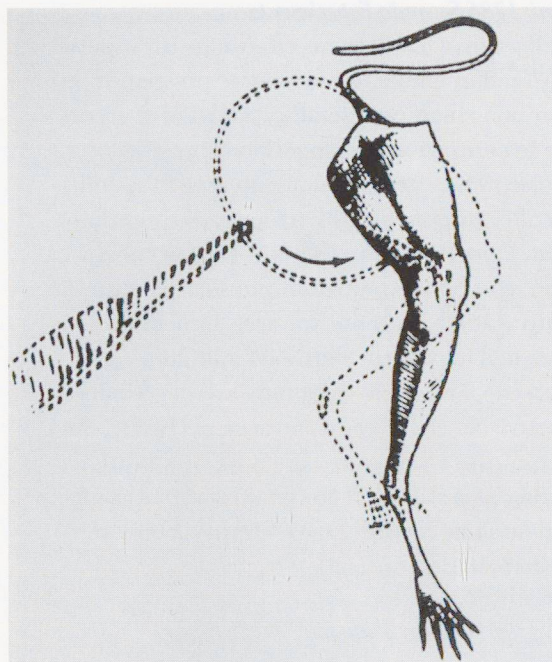
a) dapprima accettazione dell'esistenza di un'elettricità animale e di archi metallici che agiscono solo come «conduttori»; b) poi, scoperta che due metalli sono necessari per ottenere contrazioni quando si sperimenta con animali interi; c) il che porta all'ipotesi che i metalli possano essere «elettromotori», cioè che l'elettricità delle contrazioni non sia prodotta all'interno degli animali, ma sia prodotta dai metalli attraverso i quali si stabilisce il contatto e che le rane funzionino solo come dei sensibili elettroscopi; d) infine Volta dà una spiegazione alternativa del primo esperimento di Galvani riconducendo le contrazioni a distanza all'azione di atmosfere elettriche immateriali.

Volta: 1792 *Teoria speciale del contatto*

Immediatamente (14 maggio) Volta inizia una seconda memoria in cui prende decisamente partito a favore dell'azione dei metalli, considerati i «veri motori di elettricità». Volta si accorge che l'arco bimetallico agisce anche sui soli nervi della rana (applicato cioè in due punti diversi dello stesso nervo senza toccare il muscolo), e sulla lingua (producendo un particolare sapore). Scrive dunque la famosa frase: «È la diversità de' metalli che fa». Nella «terza memoria», scritta nel mese di novembre, arriva dunque alla conclusione che i conduttori di prima classe (metalli) di specie diverse hanno un potere elettromotore che si genera nel punto di contatto tra essi e i conduttori di seconda classe (umidi). Volta aveva modificato l'elettrologia pur di non accettare l'elettricità animale. Questa interpretazione, conosciuta come teoria speciale del contatto, gli valse la medaglia Copley.

Galvani: 1794 *Terzo Esperimento*

Nel 1794 i galvaniani producono ulteriori nuove evidenze a favore dell'elettricità animale. Due scritti di Galvani, uno di Aldini ed uno, fondamentale, di Eusebio Valli, mostrano senza possibilità di dubbio che le contrazioni avvengono anche senza metalli, ponendo semplicemente in contatto i nervi crurali con i muscoli delle zampe delle rane. La vittoria di Galvani sembra certa, le nuove esperienze sono senza dubbio clamorose.



Il terzo esperimento di Luigi Galvani a sostegno dell'esistenza di un'elettricità animale intrinseca.

Volta: 1795 *Teoria generale del contatto*

Ma Volta non abbandona la partita: nella «terza lettera a Vassalli» (7 ottobre) afferma che: «Esse (esperienze) mostrano soltanto, che sono io andato troppo innanzi asserendo, che non si potrebbe mai coll'applicazione di soli conduttori umidi, ossia di 2a classe, senza l'intervento cioè di alcun metallo o conduttore di 1a classe, eccitare le convulsioni nelle rane». Stimolato da una nota di Valli che asseriva essere spesso umidi i contatti tra nervi e muscoli, ipotizza quindi che anche conduttori di seconda classe possano essere generatori: «È la diversità de' conduttori che è necessaria», indipendentemente se siano metalli o umidi. Fin qui però Volta pur essendo riuscito a reinterpretare tutte le esperienze di Galvani, non aveva prodotto nuovi elementi, né si era potuto staccare dalla necessità di assumere un corpo organico (rana, lingua) come rilevatore di piccolissime elettricità messe in gioco dall'ipotizzato contatto eterogeneo tra conduttori. La situazione era quindi di indecidibilità tra i due programmi di ricerca.

Volta: 1797 *L'elettrometro condensatore*

Nel 1797 Volta supera queste difficoltà e ribalta una situazione che nel 1794 sembrava compromessa. Perviene a realizzare un elettrometro condensatore che permette di misurare piccolissime quantità di carica, tramite una diminuzione di capacità ed un conseguente aumento della tensione.

Finalmente Volta raggiunge la rilevazione dello sbilanciamento del fluido senza utilizzare la rana.

Galvani: 1797 Memorie a Spallanzani

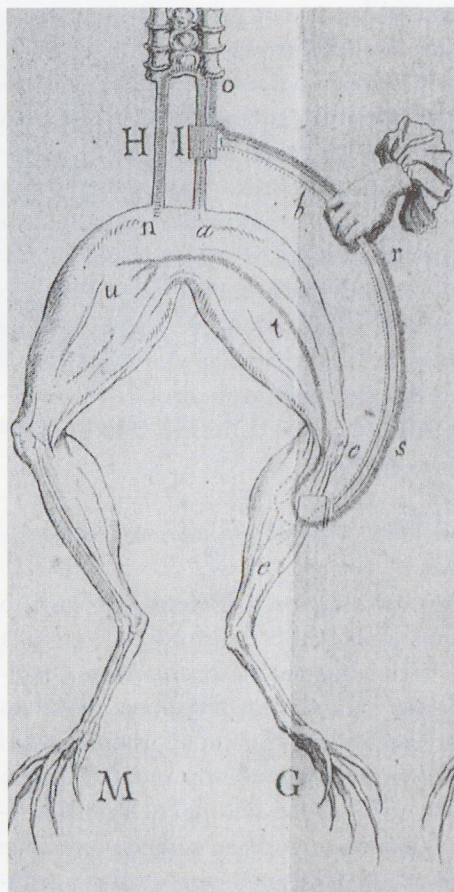
Galvani è oramai in difficoltà, pubblica ulteriori memorie con qualche nuova esperienza nello stesso 1797 e riafferma le differenze con Volta: «Egli vuole questa elettricità la stessa che quella comune a tutti i corpi; io, particolare e propria dell'animale: egli pone la causa dello sbilancio negli artifici che si adoprano, e segnatamente nella differenza dei metalli; io, nella macchina animale: egli stabilisce tal causa accidentale ed estrinseca; io, naturale ed interna: egli in somma tutto attribuisce ai metalli, nulla all'animale; io, tutto a questo, nulla a quelli, ove si consideri il solo sbilancio».

Volta: 1799 La pila

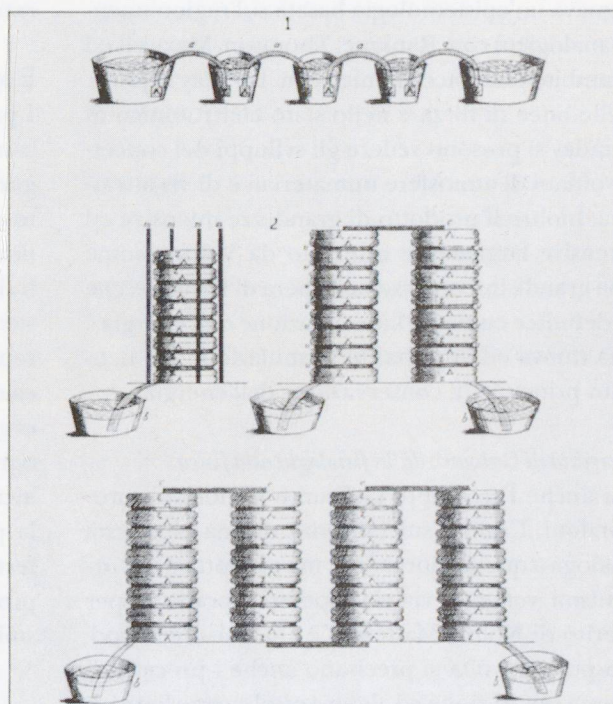
Alla fine del 1799, in maniera ancora non completamente chiara, Volta inventa lo strumento che più lo renderà famoso: la pila. Ne offre una descrizione in due versioni, a corona di tazze ed a colonna, ma basa l'interpretazione su coppie di elementi Argento-Zinco separate da un conduttore umido. Ciò vuol dire che Volta considerava il contatto bimetallico come il vero motore di elettricità e rifiutava l'interpretazione chimica. È interessante notare una prefigurazione della legge di Ohm abbastanza accurata.

Volta: 1801-14 L'identità dei due fluidi

Il successo dello strumento fu ovviamente straordinario e noi possiamo dire oggi anche duraturo. Nonostante qualche perplessità degli scienziati francesi più favorevoli all'interpretazione coulombiana, Napoleone, membro dell'Institut, volle solennemente premiare Volta nel 1801. Volta, il cui programma si era oramai esaurito, non coglie i nuovi elementi di dibattito che la pila stessa creava (interpretazione chimica, contrasto con l'approccio coulombiano), ma ribadisce l'unicità del fluido elettrico con quello galvanico, preoccupato ancora di negare l'elettricità animale.



Un caso considerato da Galvani nelle *Memorie sulla elettricità animale*. All'interno dei muscoli si distinguono gli archi occulti lungo i quali egli riteneva che l'elettricità animale si scaricasse



Incisione raffigurante le classiche pile voltiane. In alto: pila a corona di tazze; in basso: pile a colonna

Sviluppi successivi

Il dibattito ai primi dell'Ottocento

Ai primi dell'Ottocento il successo della pila oscura per alcuni decenni il contributo di Galvani, ma lo stesso Volta ha dei problemi: sono gli strumenti di Volta che hanno successo più che le sue teorie. Si afferma infatti la scuola di Laplace basata su un approccio molecolare e poi la fisica newtoniana-coulombiana basata sulla legge dell'inverso del quadrato. Si sviluppa la teoria del potenziale e poi la grande trasformazione che vede principalmente a Parigi la matematizzazione delle scienze «baconiane» ed il loro definitivo affiancarsi alle scienze «classiche».

L'eredità di Volta: fertilità al di fuori del paradigma coulombiano

Ma l'eredità di Volta non si disperde. Per quanto grandi i successi la scuola di fisica francese crolla negli anni Trenta in maniera sorprendente e radicale. Lo stesso Sadi Carnot non aveva utilizzato l'impianto coulombiano ma un approccio basato sul ristabilimento dell'equilibrio molto vicino a quello voltiano. Notevoli sviluppi dell'elettromagnetismo si hanno lungo linee non coulombiane: come i contributi di Oersted e di Faraday, ma anche, in parte, quello di Ohm, che si richiama esplicitamente a Volta. In Gran Bretagna si sviluppa l'elettrochimica, ma va sottolineato che la fisica di punta non emerge dalla tradizione oxbridgense legata all'elaborazione di sofisticati sviluppi della teoria del potenziale, ma in ambito scozzese (ove regnava un'epistemologia basata sul ragionamento analogico) con Rankine, Thomson, Maxwell ed in ambito extra-accademico con Faraday e Joule. Nelle linee di forza e nello stato elettrotonico di Faraday si possono vedere gli sviluppi dei concetti voltiani di atmosfere immateriali e di vis attrattiva. Inoltre il prodotto di grandezze intensive ed estensive largamente utilizzato da Volta assume una grande importanza nell'opera di Rankine, che lo definisce come «la fattorizzazione dell'energia», una nuova ed importante formulazione del neonato principio di conservazione dell'energia.

L'eredità di Galvani: dalla fisiologia alla fisica

Ma anche l'eredità di Galvani è di notevoli proporzioni. I dubbi sull'esistenza di una elettricità analoga a quella inorganica, ma prodotta negli organismi, vengono via via superati soprattutto per merito di Nobili, Matteucci e Du Bois-Reymond. Un po' alla volta si precisano anche i processi di questa separazione ed alcuni sottolineano brani di Galvani che invece di alludere al potere del cervello, ipotizzano il ruolo di una membrana di se-

parazione. Sulla scia di quanto successo a fine secolo, alla metà dell'Ottocento è la fisiologia che rinnova la fisica. Mayer ed Helmholtz sono due fisiologi che formulano il principio di conservazione dell'energia e rinnovano la fisica. Soprattutto con l'opera di Helmholtz accanto alla fisica sperimentale e alla fisica matematica trova ora posto la fisica teorica. È in questo nuovo contesto che iniziano a trovare soluzione i complessi problemi affrontati da Galvani. Con la concezione della conservazione dell'energia applicata anche al metabolismo animale è ora possibile concepire un'elettricità animale senza abbracciare il vitalismo, ovvero la conservazione dell'energia permette di superare i due riduzionismi, fisicalistico e biologico, che erano stati molto fertili nelle fasi iniziali del dibattito ma che poi avevano esaurito la loro carica innovativa.

Fine Ottocento: Il dibattito sui fondamenti

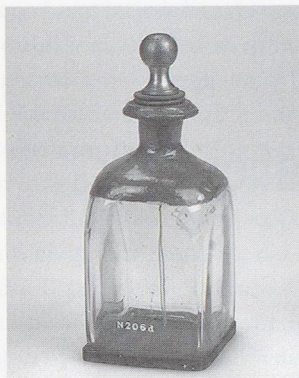
Alla fine dell'Ottocento sono i settori una volta definiti «baconiani» che, oramai discipline con paradigmi propri, sfidano il meccanicismo: la termodinamica, l'energetica, l'elettrodinamica hanno tendenze egemoni nella fisica, mostrando ancora una volta la fertilità di approcci non newtoniani-coulombiani. Occorre qui anche ricordare l'importanza dei dibattiti in termodinamica ed energetica che riguardano la fattorizzazione dell'energia. Tutto questo mostra e spiega come i contributi di Volta e Galvani, pur se considerati eretici a fine Settecento, erano inseriti in percorsi duraturi.

E oggi?

I problemi affrontati da Galvani e Volta erano e sono estremamente complessi. A tutt'oggi la spiegazione della pila richiede sia la teoria del contatto che quella elettrochimica, la biofisica è in continua evoluzione e i paradigmi della fisica e quelli della biologia sono ancora, in parte, in contrasto: nonostante la biologia molecolare, la differenza tra un'entropia in aumento secondo la fisica ed un'evoluzione verso forme più complesse di organizzazione secondo la biologia permane. In ogni epoca la controversia tra Galvani e Volta ha avuto qualcosa da insegnare, oggi ci illumina sulla possibilità di interpretazioni alternative, sulla fertilità, anche prolungata nel tempo, di alcuni programmi di ricerca, sul rapporto tra riduzionismi ed approcci interdisciplinari.

Note

1. *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari. Commentarius.*
2. Tra questi: 1762 Tesi: Delle ossa; 1766 Dissertazione: Dei reni e degli ureteri degli uccelli; 1767 Dissertazione: Disquisizioni anatomiche circa la membrana pituitaria; 1783 Memoria: Dell'orecchio degli uccelli.
3. 1773: Dissertazione latina sopra l'irritabilità halleriana; 1773: Dissertazione latina sopra il moto muscolare osservato da lui specialmente nelle rane; 1780 (Carnevale) Lezioni anatomiche; 1780 (2 marzo): Dissertazione latina sopra l'influsso dell'elettricità nel moto muscolare; 1782: Saggio sulla forza nervosa e sua relazione coll'elettricità (25 novembre); 1783: Dell'accordo e delle differenze tra la respirazione, la fiamma ed il fiocco elettrico uscente dal conduttore acuminato di una bottiglia di Leida caricata; 1786: Dell'elettricità animale (30 ottobre); 1787: L'elettricità naturale (16 agosto); 1789: Dei moti dei muscoli prodotti dall'elettricità (30 aprile).
4. Raffaella Seligardi.
5. 1769: De Vi; 1771: Novus (generatore elettrostatico); 1775: Elettroforo; 1776: Metano; 1777: Pistola ad aria infiammabile; 1777: Eudiometro ad aria infiammabile; 1778: Concetto di tensione elettrica; 1780: Elettroscopio condensatore; 1782: $Q=CT$; 1782: Contributi alla scoperta della (Composizione dell'acqua); 1786-89: Elettrometri ed elettrometria; meteorologia elettrica; 1790: Misure eudiometriche; 1792: Elettricità di contatto tra metalli; 1793: Coefficiente di dilatazione a pressione costante dell'aria; 1794: Tensione di vapore dell'acqua; 1795: Elettricità di contatto tra conduttori di prima e seconda specie; 1799: Invenzione della pila.



Elettrometro a pagliuzze di A. Volta