

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

Scuola di Scienze  
Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Corso di Laurea in Fisica

**IL "DE VIRIBUS ELECTRICITATIS IN MOTU  
MUSCULARI": UN'ANALISI DAL PUNTO DI VISTA  
DELLA FISICA ELETTRICA E DEI SUOI SVILUPPI  
SUCCESSIVI**

**Relatore:**  
**Prof. Eugenio Bertozzi**

**Presentata da:**  
**Andrea Bigucci**

Anno Accademico 2017/2018

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Influenze socioculturali della Bologna del XVIII secolo . . . . .	1
1.2	Hallerismo ed elettricità in campo medico . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Fenomeni elettrici nel XVIII secolo</b>	<b>6</b>
2.1	Franklin e la sua visione dei fenomeni elettrici . . . . .	7
2.2	Oltre Franklin . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Il De viribus: un tour guidato nell'opera</b>	<b>12</b>
3.1	Primo esperimento: macchina di Ramsden e contrazioni a distanza . . . .	13
3.1.1	Variazione del primo esperimento: anticipazione del moderno impianto elettrico domestico . . . . .	17
3.1.2	Un'altra variazione del primo esperimento: prova dell'identità tra elettricità atmosferica e artificiale . . . . .	19
3.2	Secondo esperimento: elettricità animale o potere dei metalli? . . . . .	22
3.2.1	Variazione del secondo esperimento: l'arco metallico . . . . .	24
3.2.2	Caratteristiche dell'elettricità animale . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>30</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

Luigi Galvani nasce il 9 Settembre 1737 a Bologna, città in cui trascorrerà tutta la vita e nella quale condurrà i suoi studi, la sua professione e le sue ricerche. In questo elaborato intendo analizzare la sua opera più famosa che lo ha collocato in maniera decisiva sul palcoscenico scientifico: il *De viribus electricitatis in motu musculari* pubblicato dall'Istituto delle Scienze di Bologna nel 1791. In questo trattato il medico bolognese esplicita il percorso sperimentale che l'ha portato a sostenere l'ipotesi dell'"elettricità animale", nozione che ha destato grande stupore all'epoca e che ha concorso alla nascita della moderna elettrofisiologia. Nonostante l'intento dell'opera sia prettamente medico, in essa sono presenti notevoli elementi di fisica elettrica che lo rendono un testo molto interessante dal punto di vista della storia della fisica. L'analisi che viene qui presentata metterà in risalto anche le anticipazioni che possono essere colte nel testo e che riguardano sviluppi successivi inerenti l'elettrodinamica e l'elettromagnetismo. Prima però di entrare nel vivo dell'opera è doveroso un excursus su quelle che erano le conoscenze scientifiche e gli aspetti socio-culturali dell'epoca, senza scordare gli aspetti del singolo e quindi la formazione e gli ideali religiosi e professionali di Galvani.

### 1.1 Influenze socioculturali della Bologna del XVIII secolo

Galvani visse in quella che gli storici chiamano "età lambertiana", un periodo di ricrescita post crisi economica per la città emiliana, allora uno dei centri urbani più importanti dello Stato della Chiesa, secondo solo a Roma. La sua formazione fu dunque a forte stampo religioso. In giovane età frequentava l'oratorio dei Filippini e in collegio era allievo di Giambattista Roberti. Quest'ultimo e in generale tutto l'ambiente cattolico avevano un atteggiamento di chiusura nei confronti della filosofia dei Lumi nata in quel secolo e in particolar modo verso la sua visione materialistica che sfociava nell'ateismo. Tuttavia, delle nuove idee illuministiche non tutto era ritenuto eretico dalla Chiesa e grazie

ad intellettuali come Muratori nacque un movimento che univa fede e ragione, chiamato "cattolicesimo illuminato", il cui tratto distintivo era la separazione tra sapere scientifico e mistero religioso. Lo scopo era quello di una ricerca sperimentale naturalistica basata sull'idea di scienza baconiana e galileiana, finalizzata all'utile e che potesse rafforzare il credo cattolico evolvendolo da superstizioso a razionale. Questo pensiero di una religione più moderata e aperta alla scienza fu accolto dal cardinale Prospero Lambertini (poi Benedetto XIV) che attuò una serie di azioni riformatrici soprattutto nell'ambito delle istituzioni educative e della cultura scientifica. Tanti di questi interventi furono fatti a Bologna, sua città natale: i più significativi sono sicuramente quelli riguardanti l'università (che venne modernizzata introducendo nuovi corsi quali ad esempio la chimica) e l'Istituto delle Scienze fondato all'inizio del XVIII secolo da Luigi Ferdinando Marsili con sede a Palazzo Poggi. L'idea di Marsili era quella di creare un'istituzione pubblica, in parallelo all'università, finalizzata alla ricerca scientifica e alla divulgazione di scoperte utili per la società. Esso aveva tre differenti funzioni: didattica, ricerca e conservazione museale. C'era una suddivisione in stanze: ciascuna di esse era dedicata ad una disciplina specifica ed era gestita da un professore stipendiato (spesso anche docenti universitari) che curava anche le attività di ricerca. L'istituto proponeva una formazione pratica sotto forma di esercizi in modo da affiancarsi alle lezioni teoriche universitarie. Luigi Galvani frequentò sia la Facoltà di Arti di Bologna (dove prese il titolo di dottore in Filosofia e in Medicina) sia l'Istituto delle Scienze diventandone membro nel 1761. Complice di questa scelta fu certamente l'ambiente culturale del cattolicesimo illuminato bolognese per il quale l'educazione, l'assistenza al prossimo e in particolare ai malati e lo studio della natura erano visti come realizzazione degli ideali cristiani. Durante il suo percorso di studi tre furono le principali fonti di ispirazione: Jacopo Bartolomeo Beccari, suo professore di medicina, Domenico Gusmano Galeazzi, professore di Fisica presso l'Istituto delle Scienze e futuro suocero, e Giovanni Antonio Galli docente universitario e dell'Istituto delle Scienze, ma soprattutto chirurgo presso l'ospedale Sant'Orsola. Beccari affiancava alle nozioni classiche le nuove scoperte, tra le quali quelle del grande Malpighi di cui era stato allievo. Profondamente colpito dalle teorie di Newton del secolo precedente concepiva il corpo umano come una macchina composta da parti solide e fluide connesse tra loro in maniera da produrre i movimenti. Egli promuoveva l'idea malpighiana di "medico razionale" secondo la quale questa figura professionale doveva conoscere e studiare il corpo umano sia da un punto di vista pratico che teorico. Il medico doveva dunque avvalersi di strumentazioni, praticare dissezione, sperimentare sugli animali e informarsi a 360 gradi spaziando in tutte le discipline scientifiche come ad esempio la chimica e la fisica per cercare possibili spiegazioni ai singoli fenomeni anatomici (idea di medico molto simile a quella odierna, ma innovativa e criticata al tempo di Malpighi). Galeazzi, oltre ad insegnare Fisica tramite l'utilizzo degli strumenti sperimentali presso l'istituto, teneva un corso di dimostrazione anatomica sui cadaveri (utilizzando talvolta anche quelli umani). È probabilmente da questo corso e dall'attività ospedaliera come sostituto chirurgo del suo maestro Galli che Galvani apprese le conoscenze dirette sulla

struttura dell'organismo umano e la capacità di manipolarlo, competenze utili per la sua preparazione delle rane negli esperimenti esposti nel *De Viribus*.

## 1.2 Hallerismo ed elettricità in campo medico

Di grande ispirazione per le ricerche che Galvani iniziò sulle rane nel 1780 fu anche il dibattito che si accese tra gli intellettuali bolognesi con l'arrivo delle ricerche fisiologiche di Albrecht von Haller nel 1755. Nelle sue lezioni Beccari insegnava l'idea anatomica sviluppata dall'olandese Herman Boerhaave il quale imputava gli stimoli sensoriali e motori ad un "fluido" secreto dal cervello e diffuso ai muscoli e agli organi tramite i nervi. Nel XVIII secolo i naturalisti spiegavano i fenomeni associandoli a specifici "fluidi", sostanze materiali invisibili e prive di peso, formati da particelle interagenti fra loro e con la materia ordinaria. Inoltre si pensava al corpo umano come un sistema unitario in cui ogni funzione vitale era strettamente dipendente l'una dall'altra. La teoria proposta da Haller era estremamente rivoluzionaria. Egli era un grande sperimentatore e fece stimolazioni di vario genere sugli animali. Da questi suoi esperimenti concluse che la sensibilità era una proprietà dei nervi, in quanto risultavano sensibili soltanto quelle parti dell'animale in cui vi erano terminazioni nervose; l'irritabilità, al contrario, era una proprietà specifica della fibra muscolare, indipendente dai nervi, e causa efficiente della contrazione muscolare. Egli dunque affidava a muscoli e nervi una specifica proprietà e credeva che le singole funzioni del corpo umano fossero indipendenti tra loro e potessero essere studiate singolarmente rispetto al resto dell'organismo. Inoltre credeva che il modo in cui un organismo reagisce agli stimoli esterni è un'espressione della sua forza e organizzazione interna, indipendente dalla forza e dalla natura specifica dell'influenza esterna. Da un punto di vista scientifico questo dibattito fece crescere in Galvani il desiderio di far luce su cause eccitanti ed efficienti del movimento muscolare (come già detto lo stesso Haller faceva distinzione tra gli agenti stimolanti esterni e la causa vera e propria del moto muscolare che lui imputava all'irritabilità), questione che fu anche al centro del successivo famoso dibattito col fisico Alessandro Volta. Un altro aspetto fondamentale per le future ricerche di Galvani fu l'interesse dell'epoca per i fenomeni elettrici che portò tanti intellettuali di Bologna a fare esperimenti sull'elettricità sia in campo fisico sia in campo medico. Stephen Hales e Tommaso Laghi, grande oppositore dell'hallerismo, furono tra i primi ad ipotizzare che la sensazione e il moto muscolare fossero dovuti alla "materia elettrica" diffusa dai nervi. Quest'idea fu ripresa da Gianbattista Beccaria, noto professore di fisica sperimentale a Torino e membro dell'Istituto delle Scienze di Bologna come Hales e Laghi, che scrisse nel 1753 *Dell'elettricità artificiale e naturale*, un trattato estremamente importante per l'epoca e che incontreremo ancora lungo il nostro percorso: in quest'opera egli dedica due capitoli agli effetti dell'elettricità sulle piante e sugli animali. In particolare va citato un esperimento che fece su un gallo vivo. In questo esperimento dopo aver separato un muscolo della coscia in modo che rimanesse attaccato all'animale

soltanto attraverso i tendini e i nervi, legò a ciascuno dei tendini un filo di ottone; quindi collegò un filo all'armatura superiore di un quadrato di Franklin (Figura 2.3, si tratta di una variante della bottiglia di Leida di cui parleremo nel capitolo 2) e avvicinò l'altro all'armatura inferiore così da produrre una scintilla attraverso il muscolo del gallo notando che quando scoccava la scintilla al gallo si distendeva bruscamente la gamba: un'anticipazione degli esperimenti di Galvani che discuteremo in seguito. Beccaria era una figura intellettuale estremamente influente e le sue opere erano conosciutissime nell'ambiente bolognese. Esperimenti simili furono effettuati da Marc'Antonio Caldani e Felice Fontana. Questi due giovani studiosi, intenzionati a supportare la teoria sull'irritabilità di Haller, stimolarono con l'elettricità cuore, intestini e nervi di alcune rane constatando che, sia che le rane fossero vive o morte, le scintille provocavano la contrazione di queste parti. Questi esperimenti, ancor più di quelli di Beccaria sul gallo, sono interessanti in relazione a quelli condotti da Galvani sia per l'utilizzo del medesimo animale, la rana, sia per la sua preparazione. Nonostante queste esperienze sembrassero avvalere le teorie neuroelettiche di Laghi, i due continuavano a considerare il fluido elettrico solamente uno stimolo e non la causa del moto, e avanzarono delle obiezioni basate sulla teoria di Franklin (che approfondiremo nel prossimo capitolo); obiezioni molto convincenti riprese ed affrontate da Galvani nell'opera *De viribus*. Oltre alla sperimentazione elettrica sugli animali gli esperimenti di Caldani, Fontana e Beccaria hanno in comune l'utilizzo di scariche prodotte dagli strumenti dell'epoca. Questi macchinari accumulavano poca carica ad alto voltaggio e dunque producevano scariche istantanee e non flussi prolungati, per i quali occorrerà l'invenzione della pila da parte di Alessandro Volta (anche se già gli esperimenti ideati e descritti da Galvani nella terza parte della sua opera si basavano su flusso continuo di corrente, come vedremo). Anche i coniugi Laura Bassi e Giuseppe Veratti, membri anch'essi dell'Istituto delle Scienze, effettuarono tante esperienze sui fenomeni elettrici ed in particolare quest'ultimo, che era anche di formazione medica, fu incaricato nel 1747 per conto dell'Istituto di avviare delle ricerche riguardanti le nascenti terapie elettriche che stavano nascendo, in particolare quelle comunicate per lettera da Gianfrancesco Pivati all'Accademia. Veratti pubblicò l'anno seguente *Osservazioni fisico-mediche intorno all'elettricità*, un libro alla base della "medicina elettrica" nascente, nel quale parla di come il fluido elettrico, forse per caratteristiche, si mostrava particolarmente efficace per alcuni tipi di malattie. Tuttavia, Veratti contenne l'entusiasmo e insistette sulla necessità di maggiori ricerche e approfondimenti al riguardo, una sorta di invito accolto da Galvani che fece di ciò il fine delle sue sperimentazioni a partire dal 1780. Di grande importanza per l'epoca furono anche gli esperimenti condotti da John Walsh negli anni 70 del XVIII secolo. Questo gentleman inglese, membro della Royal Society di Londra, si interessò ai pesci elettrici, argomento che trova le sue radici nell'antica Grecia. In particolare era interessato al meccanismo che consentiva a questi pesci di produrre scosse, fenomeno che nel secolo prima era imputato ad un processo puramente meccanico e che invece nel 1700 iniziava ad avere un fondamento elettrico. Egli fece i primi esperimenti nel 1772 sulle coste francesi di La Rochelle e Ile de Ré sulla

torpedine e da questa esperienza si convinse della natura elettrica di queste creature e della loro analogia con la bottiglia di Leida (Figura 2.1), strumento elettrico scoperto un paio di decenni prima e che riprenderemo nel capitolo seguente. È proprio a Walsh che si deve l'espressione "elettricità animale", usata per la prima volta nel 1772 durante una dimostrazione pubblica a La Rochelle e utilizzata da Galvani nella sua opera. Inoltre, sicuro dell'importanza scientifica e del duplice interesse fisico e biologico dell'argomento, proseguì i suoi esperimenti a Londra in collaborazione con due specialisti: il noto chirurgo e anatomico John Hunter, che si dedicherà allo studio morfologico, e il famoso scienziato inglese Henry Cavendish, il quale si occuperà dei problemi fisici connessi al fenomeno della scossa. Nella capitale britannica Walsh analizzò anche l'anguilla elettrica, un pesce già studiato nel 1773 a Filadelfia dal medico Hugh Williamson; fu proprio quest'ultimo a informarlo dei suoi risultati e a procurargli degli esemplari vivi. Nel 1775, nonostante Walsh non riuscirà mai a pubblicarne direttamente i risultati (i quali ci sono pervenuti per via indiretta da altri intellettuali quali Jean-Baptiste Le Roy), egli riuscì ad ottenere la scintilla dall'anguilla elettrica, fenomeno che al tempo convinse della natura elettrica di questi animali e che avvalorava l'ipotesi che la stessa potesse essere insita negli esseri viventi.

## Capitolo 2

# Fenomeni elettrici nel XVIII secolo

Nel XVIII secolo era grande l'interesse per i fenomeni elettrici, che incuriosivano in quanto non sussisteva ancora una teoria in grado di spiegarli completamente. Nei salotti nobiliari, ad esempio, erano molto diffuse dimostrazioni in cui si facevano scoccare scintille e percepire scosse ai singoli o a concatenazioni di persone, cosa che destava molto stupore. Già in antichità era noto che l'ambra strofinata avesse il potere di attrarre piccoli corpi leggeri. Nel Seicento William Gilbert aveva ripreso questa idea estendendola ad altri materiali come vetro e cera. In seguito si era scoperto che questi, definiti elettrici, avevano altre proprietà: repulsione di corpi ed effetti luminosi e sonori (scintilla); inoltre potevano indurre una scossa nel corpo delle persone. Al contrario esistevano altri materiali chiamati non elettrici: metalli e la maggior parte dei fluidi; questi ultimi non potevano essere eccitati per strofinio, ma come dimostrò Stephen Gray (1729) avevano la capacità di ricevere l'elettricità per contatto. Intorno agli stessi anni, Charles Du Fay analizzando il comportamento elettrico di vetro e resina si rese conto che due corpi entrambi di resina o vetro elettrizzati si respingevano, mentre due corpi elettrizzati, uno di resina e uno di vetro, si attraevano. Concluse che esistevano due tipi di elettricità, che definì vitrea e resinosa. A metà del XVIII secolo i fenomeni elettrici iniziano ad essere grande fonte di studio, soprattutto nelle più prestigiose accademie europee quali la Royal Society di Londra, l'Académie des Sciences parigina e l'Istituto delle Scienze di Bologna. In questi ambienti si discutevano sia gli esperimenti condotti all'interno degli stessi istituti sia quelli divulgati all'esterno. Inoltre i fenomeni elettrici divennero materia di studio nei corsi di fisica delle varie università e iniziarono ad essere pubblicati veri e propri manuali in cui venivano descritti gli strumenti e gli esperimenti più rilevanti. Una delle più grandi scoperte in ambito elettrico venne fatta per caso nel 1745 durante alcune ricerche sull'elettrizzazione dell'acqua. Si tratta della bottiglia di Leida, oggetto molto utilizzato da Galvani nei suoi esperimenti descritti nel *De Viribus*, che costituisce il primo condensatore della storia. Tale strumento nella sua versione originale era costituito da un recipiente di vetro riempito d'acqua caratterizzato da un uncino conduttore esterno che pescava dentro. Mettendo in contatto l'uncino col conduttore primario di



una macchina elettrica mentre si regge la bottiglia con una mano e poi toccando tale uncino con l'altra mano si riceve una scossa di grande intensità.



Figura 2.1: Bottiglia di Leida esposta al museo di Palazzo Poggi a Bologna

Nello stesso anno un resoconto su alcune esperienze elettriche scritto da Haller varcò l'oceano e giunse al grande scienziato Benjamin Franklin.

## 2.1 Franklin e la sua visione dei fenomeni elettrici

Studiando i fenomeni elettrici Benjamin Franklin scoprì il potere delle punte di attrarre o respingere maggiormente il fluido elettrico, fatto che lo indirizzò all'invenzione del parafulmine (Figura 2.2).

Esso consiste in una "lunga asta metallica terminante con un fiocco di punte installata verticalmente sulla costruzione o sull'oggetto che si vuole difendere dal fulmine e collegata alla terra mediante opportuni conduttori che favoriscono la dispersione della scarica elettrica"<sup>1</sup>. Nel 1700 si tendeva a distinguere fra l'elettricità "naturale", prodotta dai fenomeni atmosferici, e l'elettricità "artificiale", prodotta dalle macchine elettriche. Un esempio di tale distinzione si trova nell'opera di Beccaria del 1753 *Dell'elettricità artificiale e naturale*, testo molto importante anche per la diffusione in Italia delle idee dello scienziato americano. Franklin nei suoi studi ipotizzò che queste due forme di elettricità fossero identiche, seppure gli effetti dei fulmini presentassero un'intensità molto maggiore rispetto a quelli delle scintille delle macchine elettriche e ideò un esperimento

---

<sup>1</sup>Treccani Enciclopedia

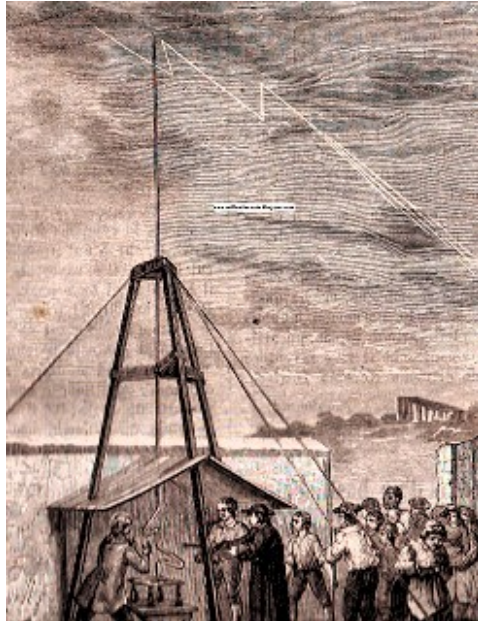


Figura 2.2: Parafulmine, immagine pubblicata sul periodico "La scienza per tutti" (n. 3 del 16 marzo 1879).

dimostrativo effettuato per la prima volta in Francia da Thomas Dalibard nel 1752, prima dimostrazione funzionante di un parafulmine, e poi ripetuto anche in altri luoghi tra cui Bologna. Franklin, inoltre, postulò una teoria, in contrasto con quella di Du Fay, in cui affermava l'esistenza di un'unica materia elettrica (e non due: vitrea e resinosa) formata da particelle talmente sottili da poter penetrare qualsiasi corpo. Queste particelle si respingevano tra loro ed erano attratte dalla materia ordinaria; ogni corpo conteneva una data quantità di questa sostanza elettrica senza però palesarne la presenza. Franklin imputava i fenomeni elettrici allo squilibrio di questa quantità naturale di materia elettrica chiamando elettrizzati positivamente corpi che ne avevano un eccesso, mentre elettrizzati negativamente corpi che ne avevano un difetto. In particolare, prendendo spunto dalle idee newtoniane, ipotizzava che le particelle elettriche in eccesso formassero una sorta di atmosfera gassosa attorno ai corpi e che queste atmosfere attraessero la materia comune e respingessero altre atmosfere. Sulla base di questa teoria riuscì a fornire una valida spiegazione del funzionamento della bottiglia di Leida. Franklin pensava che questo strumento si elettrizzasse positivamente all'interno e negativamente all'esterno con il vetro che fungeva da isolante. La scossa era dovuta, dunque, ad un passaggio di materia elettrica, attraverso il corpo conduttore che collegava le due parti, dall'interno all'esterno per riportare all'equilibrio naturale. Quest'idea di corrente dovuta ad uno squilibrio la ritroviamo anche nelle parole che Galvani scrive nel *De viribus*:

[...]quando i fisici fanno i loro esperimenti, non possono ottenere correnti

e circuiti di elettricità, se non per un equilibrio da ristabilire, il che avviene o soltanto o soprattutto tra elettricità contrarie.<sup>2</sup>

Lo scienziato statunitense, oltre ad aver dato una spiegazione del funzionamento della bottiglia di Leida, ne ideò anche una variante. Questo strumento era costituito da una lastra piana di vetro con due placche metalliche applicate alle superfici opposte e prese il nome di quadrato "magico" o di Franklin.

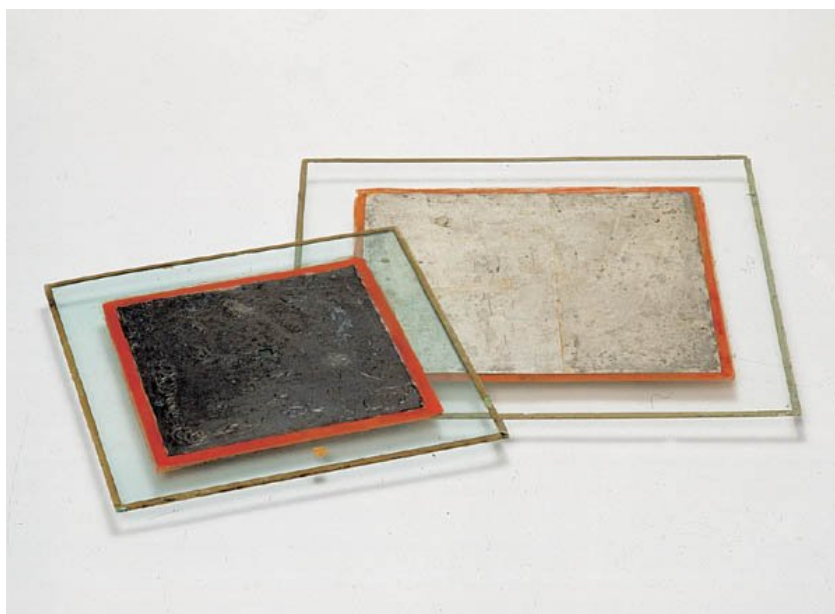


Figura 2.3: Quadrati di Franklin esposti al museo della Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze

Sebbene la sua teoria riusciva a spiegare bene i processi di carica e scarica di un corpo, incontrava molte difficoltà per quanto riguardava i fenomeni di attrazione e repulsione (non si capiva infatti come due corpi elettrizzati negativamente potessero attrarsi) e quelli di induzione. Nonostante ciò le idee di Franklin all'epoca erano molto quotate soprattutto in Italia grazie, come già anticipato, a Beccaria che nel suo testo del 1753 diffondeva la sua teoria quasi identica a quella frankliniana dalla quale si differenziava principalmente per una visione dinamica e non statica d'azione delle atmosfere di materia elettrica.

---

<sup>2</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

## 2.2 Oltre Franklin

Uno dei più grandi oppositori di Franklin e Beccaria fu Franz Theodor Aepinus, il quale rifiutava l'idea delle atmosfere e imputava i fenomeni a distanza a forze e influenze tra i corpi coinvolti. Egli inoltre spezzò quella grande distinzione tra materiali isolanti e conduttori dimostrando che anche i metalli potevano essere elettrizzati per strofinio. Un esempio è la tormalina, un minerale da lui studiato e preso in esame anche da Galvani, che riscaldato poteva attrarre e respingere corpi leggeri, mostrando di possedere sia elettricità positiva che negativa, una proprietà insita nella sua struttura interna. Un grande contributo fu portato anche da Henry Cavendish durante i suoi studi sulla torpedine già citati. Egli in particolare affrontò il problema della diffusione elettrica in acqua e il fatto che l'assenza di scintilla non implicasse assenza di elettricità. Nel 1700 si pensava che ponendo dei circuiti, come diremmo oggi, in parallelo l'elettricità passasse solo attraverso quello più corto e quindi era assurdo il fatto che i pesci elettrici potessero infliggere una scossa a prede in un ambiente conduttore come l'acqua, poiché il fluido elettrico sarebbe stato assorbito esclusivamente da essa. È interessante quello che Cavendish afferma in opposizione a tale ipotesi:

Quando una giara [cioè una bottiglia di Leida] è elettrizzata, e un numero qualsiasi di circuiti vengono stabiliti tra il suo lato positivo e quello negativo, una certa elettricità passerà attraverso ciascuno di essi; ma un'elettricità più grande passerà attraverso quelli in cui incontra meno resistenza, rispetto a quelli in cui ne incontra di più.<sup>3</sup>

In queste parole non possiamo non notare una sorta di anticipazione ai concetti di resistenza e ripartizione di corrente elettrica in circuiti posti in parallelo, concetti poi pienamente elaborati da Gustav Kirchhoff nel secolo successivo. Cavendish, inoltre, si accorge che il potere conduttivo dell'acqua è molto inferiore rispetto a quello dei metalli, fatto che incrementa la possibilità di una diffusione a lunga distanza in acqua. Anche su questo tema egli si fa anticipatore di idee future proponendo per la prima volta una illustrazione grafica bidimensionale della diffusione elettrica, rappresentazione che verrà ripresa da Michael Faraday e sarà alla base delle rappresentazioni delle linee di forza dei campi elettrici.

La novità più grande proposta dal fisico inglese, però, fu la spiegazione di come la scossa della torpedine, nonostante fosse in grado di provocare una forte commozione allo sperimentatore, non producesse una scintilla o dei segni evidenti su un elettrometro sensibile. Egli condusse alcuni esperimenti utilizzando bottiglie di Leida prima collegate in parallelo poi separate e usate singolarmente per misurare la distanza massima a cui avveniva la scintilla e vide che essa non variava. Da queste esperienze dedusse che

---

<sup>3</sup>M. Piccolino e M. Bresadola, *Rane, torpedini e scintille*. Il testo riprende una citazione del fisico H. Cavendish, 1776

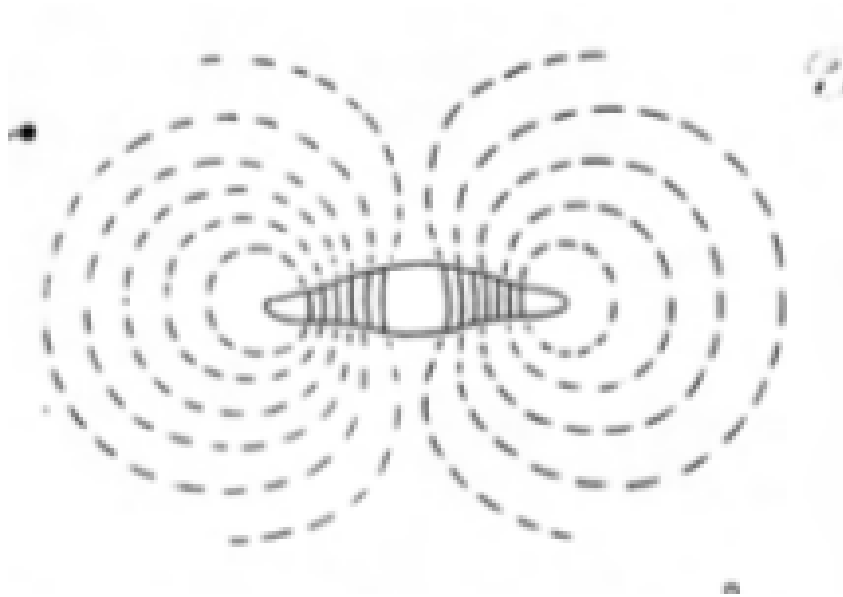


Figura 2.4: Rappresentazione grafica proposta da Cavendish della diffusione elettrica in acqua

la scarica elettrica dipendeva da due fattori: "quantità di fluido elettrico" e "grado di elettrificazione", concetti che anticipano le nozioni future di "carica" e "tensione" proposte da Volta e la sua relazione fondamentale del condensatore:

$$T = \frac{Q}{C} \quad (2.1)$$

dove  $T$  è la tensione,  $Q$  la carica e  $C$  la capacità del condensatore. Cavendish ipotizzò dunque che la torpedine non produceva delle scintille perché metteva in circolo tanta quantità di fluido, ma ad un grado debole di elettrificazione. Per avvalorare questa ipotesi costruì una versione artificiale della torpedine in grado, seppur in maniera più lieve, di produrre una scossa anche in acqua. Come si può notare le conoscenze del 1700 riguardo ai fenomeni elettrici sono molto contrastanti e assomigliano ad un insieme di osservazioni e ipotesi, certamente utili al progresso, ma ancora poco organizzate e piene di difetti che solamente nel secolo successivo con l'introduzione del concetto di "campo" inizieranno a prendere una forma d'insieme.

## Capitolo 3

# Il *De viribus*: un tour guidato nell'opera

Il *De viribus* è composto da quattro parti (capitoli) anticipati da una breve introduzione in cui l'autore sottolinea il suo scopo divulgativo. La prima di queste dà il via al percorso sperimentale di Galvani ed è dedicata agli esperimenti sulle rane mediante macchine elettriche e, dunque, ad un'indagine sui fenomeni derivanti dalla stimolazione di esse tramite elettricità artificiale. Nella seconda parte Galvani descrive esperimenti svolti all'esterno in cui sfrutta l'elettricità atmosferica al posto di quella artificiale per vederne gli effetti sulle rane. La terza parte, quella che più di tutte sarà al centro di questo percorso, ha come protagonista il rilevamento dell'elettricità animale mostrato da Galvani attraverso una circuitazione che si instaura collegando nervi e muscoli tramite oggetti conduttori, in particolare archi metallici. Infine vi è una quarta parte in cui il medico bolognese, sulla base degli esperimenti condotti, riassume le proprietà dell'elettricità animale, costruisce una sua teoria sul funzionamento del corpo umano in analogia con la bottiglia di Leida e, servendosi di questa, spiega le possibili cause di malattie proponendo cure innovative a stampo elettrico. Occorre specificare che nel *De viribus* Galvani descrive un grande numero di esperienze, molte di più di quelle che noi prenderemo in esame, infatti, sebbene ogni capitolo sia dedicato ad una tipologia specifica di esperimento, egli effettua tante varianti per ciascuna di esse. In questo capitolo mi focalizzerò sulle prime tre parti dell'opera selezionando solo gli esperimenti di maggiore interesse fisico e fornendone, in seguito alla spiegazione dell'autore stesso, una rilettura moderna sulla base delle teorie elettromagnetiche.

### 3.1 Primo esperimento: macchina di Ramsden e contrazioni a distanza

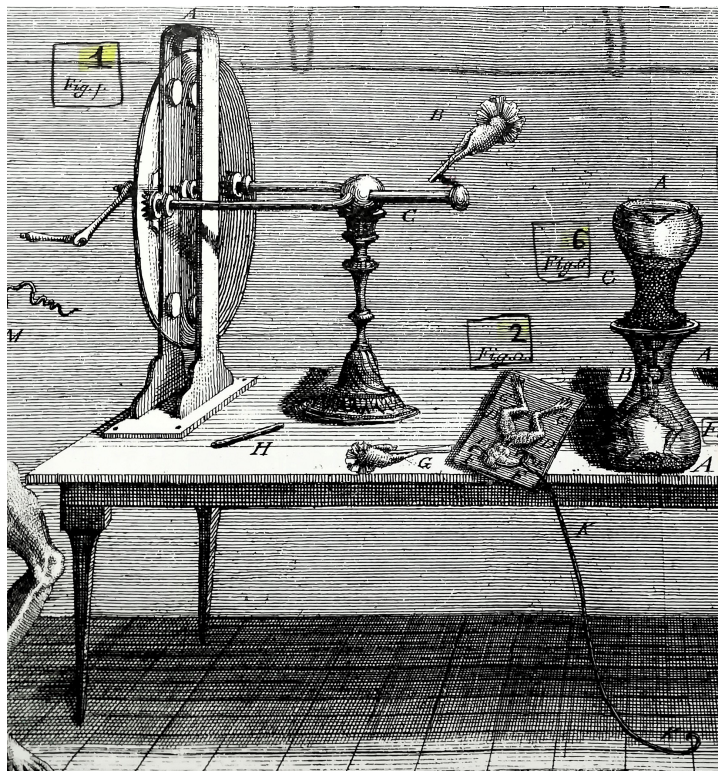


Figura 3.1: De viribus, Tav. I, Fig. 1

Le mie ricerche sono cominciate in questo modo. Avevo disseccato e preparato una rana come nella figura  $\Omega$  della Tav. I, e, a tutt'altro scopo, l'avevo messa su una tavola, ove era una macchina elettrica (Fig. 1, Tav. I), lasciandola però del tutto separata dal conduttore di questa, anzi posta a non breve distanza; non appena uno dei miei aiutanti, per caso, toccò colla punta di una lancetta, pur lievemente, i nervi interni crurali (DD) della rana, subito si videro tutti i muscoli degli arti contrarsi in tal modo, da sembrar caduti in convulsioni toniche violente. Un altro di coloro che ci assistevano in questi esperimenti elettrici ebbe l'impressione che il fenomeno avvenisse nel momento in cui dal conduttore della macchina scoccava la scintilla (Fig. 1, B). Colpito dalla novità dell'osservazione, subito egli mi avvertì, mentre io pensavo a tutt'altro e stavo riflettendo fra di me. Allora fui preso da un'incredibile curiosità e desiderio di ritentare io stesso l'esperimento e di spiegare

il mistero del fenomeno. Perciò io personalmente toccai colla punta della lancetta l'uno e l'altro nervo crurale, mentre uno dei presenti faceva scoccare la scintilla. Il fenomeno si ripeté proprio nello stesso modo: nel medesimo istante, in cui la scintilla scoccava, si manifestavano in ciascun muscolo degli arti contrazioni veramente violente, come se l'animale preparato fosse stato colpito da tetano.<sup>1</sup>

Sono queste le parole con cui Luigi Galvani apre la prima parte della sua opera catapultando immediatamente il lettore nel suo laboratorio domestico e facendolo partecipe, grazie ad una descrizione meticolosa e all'ausilio delle immagini allegate al testo, del fenomeno che lo spingerà ad intraprendere il suo percorso sperimentale. La macchina elettrica a cui fa riferimento è la macchina elettrostatica di Ramsden (vedi Figura 3.1), uno degli strumenti più utilizzati negli esperimenti riguardanti i fenomeni elettrici di fine XVIII secolo di cui è possibile trovare un esemplare originale nel museo di Palazzo Poggi a Bologna. Essa è composta da un disco di vetro che, messo in rotazione per mezzo di una manovella, si carica positivamente grazie allo strofinio con dei cuscinetti che aderiscono al vetro stesso accumulando carica negativa che viene dispersa a terra. Oltre ai cuscinetti aderiscono al disco anche delle punte metalliche unite a due bracci conduttori che convergono sfociando in un'asta metallica; per induzione elettrostatica le punte si caricano negativamente, mentre l'asta si carica positivamente; questa carica positiva si distribuisce su un pomello posto all'altra estremità dell'asta. Posizionando bacchette metalliche o altri oggetti conduttori (collegati a terra) vicino al pomello esso si scarica generando delle scintille, le stesse che destavano stupore nei salotti dell'epoca. Quello che Galvani descrive è la base della prima tipologia di esperimenti che compie sulle rane utilizzando l'elettricità artificiale (l'elettricità prodotta dalle macchine elettrostatiche del tempo). Nel corso della prima parte del *De viribus*, infatti, ripete la stessa esperienza variandone le condizioni in modo da indagare su cose specifiche cercando così di isolare quelle che erano effettivamente le cause del fenomeno (metodo sperimentale meticoloso tipico di questo personaggio che si ritrova in tutta l'opera). Per prima cosa ritenta l'esperimento senza scintilla per verificare che le contrazioni non siano dovute solamente al contatto dei nervi con la bacchetta che funge da stimolo e nota che la scintilla è necessaria; in seguito riprova usando una bacchetta di vetro al posto di quella di ferro e si accorge che le contrazioni non avvengono, concludendo che la sua natura conduttrice abbia un ruolo fondamentale; infine indaga sull'importanza della persona che regge la bacchetta e vede che la sua assenza non produce il fenomeno, ma anche che le contrazioni si manifestano se la si sostituisce con un filo conduttore che collega la rana col suolo (vedi Figura 3.1). Riassumendo Galvani riesce a mettere a fuoco i protagonisti: scintilla, bacchetta metallica e persona (o, in sostituzione, cavo conduttore), anche se di quest'ultima probabilmente non aveva colto l'importanza di essere a contatto col suolo (nel linguaggio odierno: messa a terra).

---

<sup>1</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.



Mediante la scintilla, si sottrae elettricità sia dagli strati di aria, che sono intorno al conduttore della macchina, sia dai conduttori dei nervi a contatto di detta zona, e così la loro elettricità si fa negativa. Quindi l'elettricità positiva interna dei muscoli accorrerà verso i nervi, accresciuta di forze proprie e di quelle prese a prestito dall'elettricità esterna, sia artificiale sia naturale, affinché, raccolta dai conduttori dei nervi e diffondendosi attraverso essi, ricostituisca l'elettricità mancante e in essi stessi e nella suddetta zona d'aria, rimettendosi in equilibrio con la medesima elettricità esterna.<sup>2</sup>

Come si evince dalle parole soprastanti presenti nella quarta parte dell'opera lo scienziato bolognese, in accordo con le conoscenze dell'epoca e le teorie di Gianbattista Beccaria (noto fisico torinese già incontrato nei capitoli precedenti), attribuisce le contrazioni della rana ad: "un'azione di stimolo esterno da parte di atmosfere elettriche materiali su un'elettricità animale che si scarica."<sup>3</sup>

*"Emettitore, segnale e antenna", una rilettura moderna.*

Guardando lo stesso esperimento oggi risulta affascinante ritrovarci una prima storica rilevazione delle onde elettromagnetiche, una sorta di grezza anticipazione di quello che nel secolo successivo il genio di Maxwell intuì teoricamente e di cui Hertz, tramite un esperimento che ha delle somiglianze con questo, come vedremo nell'ultima parte di questo elaborato, fornì una dimostrazione sperimentale. È possibile guardare il fenomeno facendo opportune analogie: la macchina elettrostatica insieme alla bacchetta su cui scarica producendo la scintilla interpretano il ruolo di emettitore, la folgore produce un segnale elettromagnetico che si muove nell'aria sotto forma d'onda, la bacchetta a contatto con i nervi della rana funge da antenna ricevente consentendo al segnale di essere captato e circolare sotto forma di corrente attraverso la rana per poi fluire verso il suolo tramite il cavo conduttore connesso alla stessa.

[...]both electrostatic and electromagnetic forces were at work. The electrostatic force builds up an induced charge in the frog grounded through the scalpel; when the spark suddenly removes the charge from the prime conductor, a strong transient reverse current from ground restores equilibrium. The

---

<sup>2</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

<sup>3</sup>Fabio Bevilacqua, *La controversia Galvani-Volta*

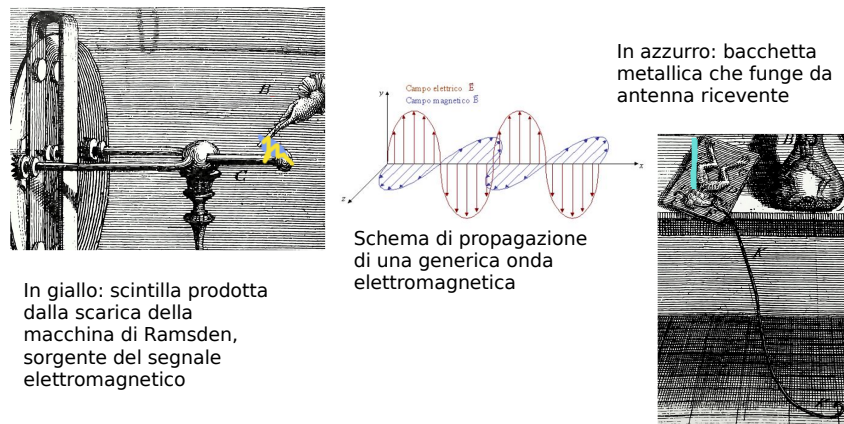


Figura 3.2: Schema dell'esperimento in chiave moderna

electromagnetic force acts by setting up a current in the investigator with the scalpel, who acts as an antenna for radio waves created in the spark.<sup>4</sup>

Sebbene l'esperimento a cui si riferiscono queste parole non sia esattamente quello sopra citato, ma una sua leggera variante, forniscono una chiara descrizione fisica del fenomeno che stiamo analizzando basata sull'elettromagnetismo.

---

<sup>4</sup>J. L. Heilbron, *The Oxford Companion to the History of Modern Science*

### 3.1.1 Variazione del primo esperimento: anticipazione del moderno impianto elettrico domestico

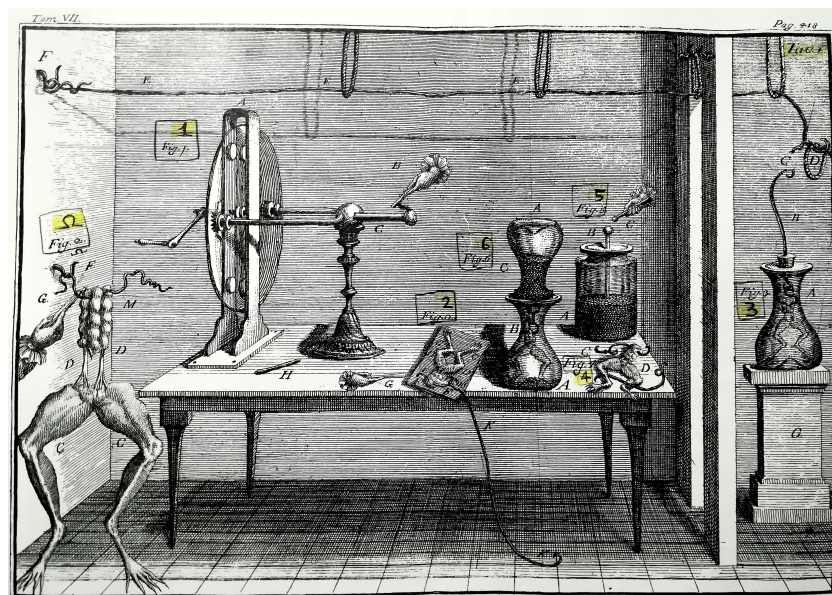


Figura 3.3: De viribus, Tav.I

Facemmo l'esperimento in questo modo. Sospendemmo un filo di ferro (EEE, Fig. 3) a fili di seta e, come dicono i fisici, lo isolammo. Legammo un capo di esso (F), sempre con filo di seta, ad un chiodo infisso nel muro; l'altro capo facemmo passare attraverso diverse stanze, portandolo giusta la lunghezza del filo, lontano dalla macchina; a questo capo congiungemmo (nel punto C) un altro filo di ferro (B), alla cui estremità era appesa una rana. Per comodità chiudemmo la rana in un barattolo di vetro (A) il cui fondo era coperto da una sostanza conduttrice, acqua per esempio, o pallini di piombo da caccia, con cui riusciva meglio l'esperimento. Fatta scoccare poi la scintilla dal conduttore della macchina, la rana sezionata, con grandissima nostra meraviglia, si moveva e quasi saltellava, pur a così grande distanza. Lo stesso avveniva, se la rana, tolta dal barattolo di vetro, si appendeva nel medesimo modo al conduttore (EEE), e di gran lunga più prontamente, se si congiungeva alle zampe un corpo conduttore in comunicazione colla terra.<sup>5</sup>

Sempre nella prima parte del *De viribus*, subito dopo l'esperimento discusso in precedenza, Galvani ci illustra una nuova esperienza che colpisce per la sua attualità. Ciò a

<sup>5</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

cui dobbiamo porre la nostra attenzione è la figura 3.3, situata sopra, che raffigura l'ambiente domestico, nonché laboratorio del medico bolognese, in particolare ai cavi sospesi in alto che vanno da una stanza all'altra attraversando il muro, facendo un confronto con la Figura 3.4.



Figura 3.4: moderno impianto elettrico domestico

È interessante come un disegno di fine 1700 ricordi un impianto elettrico che possiamo trovare in un qualsiasi edificio ai giorni d'oggi. Galvani era molto consapevole, come si può evincere dal testo, delle proprietà di alcuni materiali come ferro, piombo ed altri di favorire il passaggio di fluido elettrico (conduttori) e di altri quali vetro e resina di opporsi al suo passaggio (isolanti o coibenti come li chiamavano all'epoca).

### 3.1.2 Un'altra variazione del primo esperimento: prova dell'identità tra elettricità atmosferica e artificiale

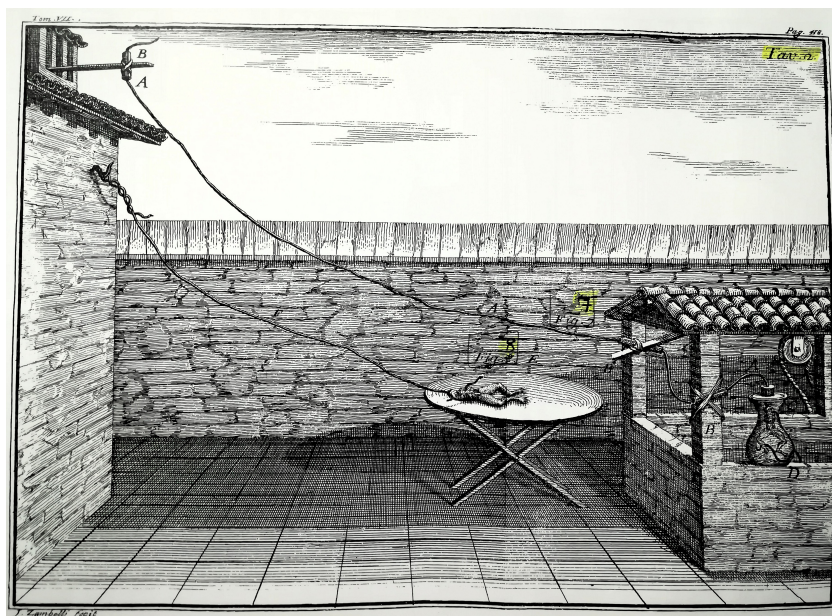


Figura 3.5: De viribus, Tav.II

Dopo aver raggiunte le scoperte, da noi finora esposte, intorno alla forza dell'elettricità artificiale nelle contrazioni muscolari, fu nostro vivo desiderio indagare se la cosiddetta elettricità atmosferica producesse, oppure no, i medesimi fenomeni: cioè se, seguendo i medesimi artifici, lo scoccare dei fulmini eccitasse contrazioni muscolari, così come quelle della scintilla. A tal punto inalzammo nell'aria libera un lungo ed adatto conduttore, cioè tendemmo sul luogo più alto della casa un filo di ferro, e lo isolammo (Fig. 7, Tav. II); quando sopravvenne un temporale, collegammo al conduttore stesso, mediante i nervi, o rane preparate o gli arti preparati di animali a sangue caldo (come nelle Fig. 20 e 21 della Tav. IV). Alle estremità di tali rane o di tali zampe collegammo anche un altro conduttore, cioè un altro filo di ferro, ma lunghissimo, il quale giungesse fino all'acqua del pozzo(indicato nella figura). L'esperimento riuscì, proprio secondo la nostra aspettativa, precisamente come per l'elettricità artificiale [...]. Pertanto, considerando con diligenza l'osservazione, appare simile il modo di comportarsi dell'elettricità artificiale e di quella atmosferica [...]

<sup>6</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

Ci troviamo ora nella seconda parte dell'opera di Galvani, precisamente sul terrazzo della sua abitazione con lo scopo di sfruttare non più l'elettricità artificiale utilizzata finora, ma quella atmosferica prodotta dai fulmini. È bene ricordare che qualche decennio prima Franklin aveva ipotizzato che queste due forme di elettricità avessero stessa natura e su questa idea erano stati fatti esperimenti di conferma anche in Italia da Beccaria in primis e da Veratti all'Istituto delle Scienze. Di seguito un passo dall'opera del 1829 di Juan Andrés che fornisce con chiarezza il pensiero di Franklin sulla similitudine tra le due forme di elettricità e l'esperimento che ideò, sfruttando il parafulmine, per provarne i fondamenti.

Ma ciò che ha resa più illustre la dottrina del Franklin, ed ha assicurata l'immortalità al suo nome, è stata la perfetta analogia da lui fermata e assodata fra il fulmine e l'elettricità, e l'arte da lui trovata di chiamare e condurre il fulmine; a piacimento, e fargli tenere quelle vie che il dotto fisico gli vorrà comandare. È mirabile e sorprendente l'accuratezza e finezza, con cui seguì egli minutamente tutte le circostanze del fulmine, e le trovò tutte pienamente conformi nell'elettricità; onde pareva potesse giustamente conchiudere, che v'ha fra il fluido elettrico e la materia del fulmine una perfettissima somiglianza. Ma il Franklin non si contentò di provare con ragioni l'analogia, volle far toccare con mano l'identità, e mostrare coi fatti che la materia del fulmine è realmente materia elettrica [...] Egli aveva pensato di chiamare a sè la materia elettrica delle nuvole con una spranga di ferro collocata in sito opportuno per potervi eseguire tutte le sperienze con maggiore comodità, e riguardare così in tutti gli aspetti l'identità dell'elettricismo artificiale e del naturale. La sua idea fu per la prima volta eseguita felicemente nella Francia. [...] A questo fine innalzò il Buffon nella sua torre di Monbart una spranga di ferro, e il Dalibard in una pianura di Marly la Ville ne levò un'altra di 40 piedi, ch'è divenuta più celebre; perchè in questa per la prima volta, venendo il dì 10 di maggio 1752 un temporale, si videro vivissime scintille, si sentirono forti scosse, e si ebbero tutti i segni dell'elettricità.<sup>7</sup>

Dai seguenti testi si coglie una certa similitudine negli apparati utilizzati per captare l'elettricità trasportata dai fulmini caratterizzati da un lungo cavo metallico innalzato al cielo (idea alla base della più celebre invenzione di Franklin: il parafulmine). Galvani tramite Gianbattista Beccaria era a conoscenza di questa tecnica e la utilizza nelle proprie esperienze. Più che per l'indagine sull'elettricità animale questo esperimento ha una certa valenza in quanto ulteriore conferma dell'identità tra elettricità prodotta artificialmente e derivante dai temporali, cosa che si evince anche dalle seguenti parole di Galvani le quali rispecchiano l'idea di Franklin sull'identità tra le due tipologie di elettricità, artificiale e atmosferica, con la seconda differente dalla prima solo per intensità maggiore.

---

<sup>7</sup>J. Andres, *Dell'origine, progressi e stato attuale di ogni letteratura*

Avvertimento I Da tutto questo si comprende avvenire nella elettricità naturale lo stesso che nell'artificiale, ma con maggior forza, le contrazioni avvenute pe' lampi si paragonino alle contrazioni avute per scintilla.<sup>8</sup>

Ben più degno di nota nel suo percorso sperimentale è quello che viene descritto poco dopo, precisamente all'inizio della terza parte dell'opera anche se il palcoscenico è sempre l'esterno dell'abitazione; Galvani, infatti, ci informa che posizionando le rane (munite di uncino di rame infilato nel midollo) su una ringhiera di ferro esse manifestano contrazioni anche a cielo sereno. Inizialmente pensa che il fenomeno sia dovuto ad alcune mutazioni elettriche atmosferiche, egli stava, infatti, indagando sugli effetti dell'elettricità atmosferica in assenza di chiari effetti tempestosi quali i fulmini, ma poi:

[...]cominciai ad avvicinare e a far toccare alle ringhiere di ferro gli uncini di rame infissi nel midollo spinale, per vedere se si manifestassero in questo modo contrazioni muscolari, oppure se qualcosa di nuovo o di diverso si palesasse a seconda della varia situazione dell'atmosfera e dell'elettricità: e realmente notai spesso delle contrazioni, ma senza alcun riferimento al diverso stato dell'atmosfera e dell'elettricità.<sup>9</sup>

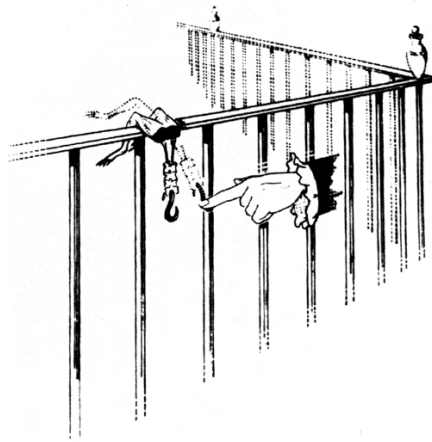


Figura 3.6: Esperimento della rana appesa alla ringhiera (Sirol 1939)

Questa, come vedremo meglio nel prossimo paragrafo, sarà la svolta della sua ricerca e sarà fondamento della sua grande convinzione riguardo alla scoperta dell'elettricità animale.

---

<sup>8</sup>L. Galvani, *Memorie ed esperimenti inediti*, Cappelli, Bologna, 1937, pag. 389

<sup>9</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

### 3.2 Secondo esperimento: elettricità animale o potere dei metalli?

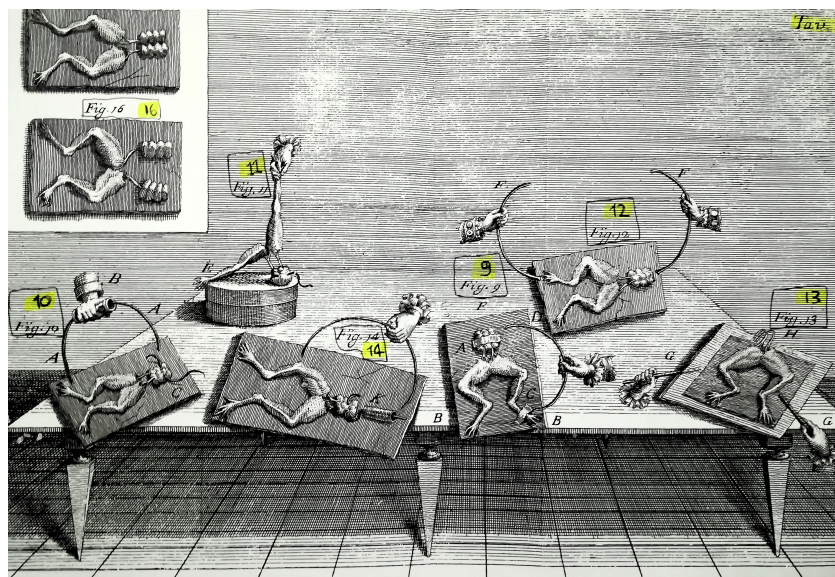


Figura 3.7: De viribus, Tav.III

Però, avendo trasportato l'animale in una stanza chiusa, e avendolo posto su un piano di ferro, provai ad accostare a questo l'uncino infisso nel midollo spinale: ed ecco manifestarsi le medesime contrazioni, i medesimi movimenti. Subito procedetti agli esperimenti con altri metalli, in altri luoghi, in altre ore e giorni; ed ottenni il medesimo risultato: senonché le contrazioni, a seconda della diversità dei metalli, erano diverse, e cioè con alcuni più forti, con altri più deboli. Dipoi pensai di adoperare per il medesimo esperimento altri corpi, che però conducono poco o niente l'elettricità, come vetro, gomma, resina, pietre, legno, usandoli bene asciutti: non si ebbe nessuno dei risultati prima ottenuti, non osservandosi alcuna contrazione o movimento muscolare.<sup>10</sup>

Ci troviamo ora ad analizzare la terza parte del *De viribus* proseguendo il discorso iniziato nelle ultime righe del paragrafo precedente; per convincersi del tutto che le contrazioni della rana sulla ringhiera non siano collegate ad effetti atmosferici Galvani conduce un'esperienza analoga all'interno della sua abitazione utilizzando, come si evince dal testo riportato sopra, un piano di ferro su cui appoggia la rana e pone in contatto con esso l'uncino infilato nel midollo dell'animale constatando nuovamente le contrazioni. Si tratta del grande punto di svolta dell'opera e della ricerca di Galvani che prosegue:

<sup>10</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.



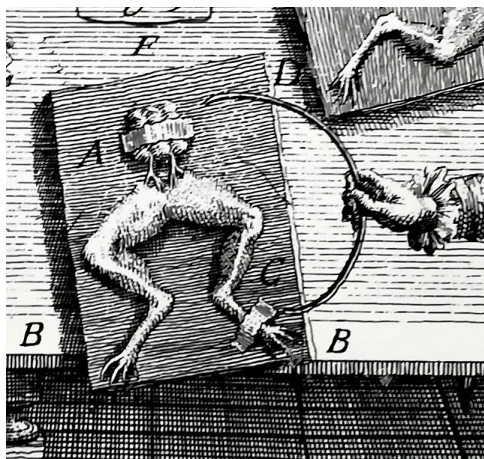
Un simile esito ci cagionò non lieve meraviglia e cominciò a farci nascere il sospetto di un'elettricità propria dell'animale.<sup>11</sup>

Se fino ad ora il medico bolognese ha compiuto un'indagine sulle contrazioni delle rane in relazione a stimolazioni esterne da parte dell'elettricità artificiale e atmosferica, adesso si rende conto che tali contrazioni si verificano anche solamente costruendo un collegamento con corpi conduttori tra midollo e muscoli. Da ciò possiamo comprendere perché gli storici abbiano riassunto l'opera di Galvani in due grandi esperimenti: il primo, quello con la macchina di Ramsden in tutte le sue varianti a cui si aggiungono le esperienze effettuate sul terrazzo descritte nella seconda parte del *De viribus*, è un esperimento di stimolazione della rana attraverso fattori esterni, il secondo, quello sopra descritto in cui appoggia la rana su un piano conduttore e tutte le varianti descritte nella terza parte dell'opera, è l'esperimento attraverso cui in Galvani, come attestano le parole sopra riportate, nasce l'idea che possa esistere un'elettricità propria della rana che chiama appunto "elettricità animale"; questo perché non riscontra come causa delle contrazioni un fattore esterno evidente.

---

<sup>11</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

### 3.2.1 Variazione del secondo esperimento: l'arco metallico



(a)



(b)

Figura 3.8: A sinistra (a): De viribus, particolare di Tav. III. A destra (b): archi scaricatori originali del XVIII esposti al museo di Palazzo Poggi a Bologna

Di seguito riporto la descrizione della variazione più famosa del "secondo esperimento" (Figura 3.8 (a)) quella in cui la connessione tra nervi e muscoli avviene tramite un arco metallico (Figura 3.8 (b)).

Però, per accertare meglio il fatto, mi parve assai opportuno collocare la rana su un piano coibente, per esempio di vetro o di resina, e adoperare poi ora un arco conduttore, ora un arco del tutto o in parte coibente di cui ponevo a contatto un'estremità coll'uncino infisso nel midollo spinale, l'altra coi muscoli delle cosce o colle zampe. Fatto l'esperimento, si ebbero contrazioni adoperando l'arco conduttore (Fig. 9, Tav.III); mancarono del tutto, quando adoperammo l'arco in parte conduttore, in parte coibente (Fig. 10). L'arco conduttore era costituito di filo di ferro, l'uncino invece di filo di rame.<sup>12</sup>

Varie ragioni rendono questa esperienza estremamente importante per la nostra trattazione. Innanzitutto l'esperimento così proposto mette ancora più in evidenza l'ipotesi dell'autore di un circuito che si viene a creare tra nervi e muscoli tramite arco conduttore; infatti, poggiando il tutto su un piano isolante (coibente), il sistema risulta elettricamente isolato, cosa di cui Galvani è a conoscenza, dunque a generare le contrazioni deve essere un qualcosa di intrinseco alla rana. In particolare, in linea con gli insegnamenti di Jacopo Bartolomeo Beccari, suo professore di medicina, che ipotizzava l'esistenza

<sup>12</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

di un fluido secreto dal cervello causa dei fenomeni fisiologici (fatto discusso nel primo capitolo), Galvani designa l'elettricità animale come fluido responsabile dei movimenti muscolari. È bene ricordare che le finalità dell'opera sono per lo più mediche, in particolare Galvani vuole costruire un modello fisiologico, sulla base degli esperimenti fatti, che riesca a spiegare al meglio i meccanismi del corpo umano. Questo intento si fa evidente nella quarta parte dell'opera in cui l'autore propone un modello anatomico in analogia con la bottiglia di Leida che riprende i lavori di Walsh e Cavendish sui pesci elettrici accennati nei primi due capitoli. Sebbene la questione sia molto interessante essa va oltre gli scopi di questa tesi e dunque mi limito a fornire un'immagine significativa (Figura 3.9) dell'idea di Galvani.

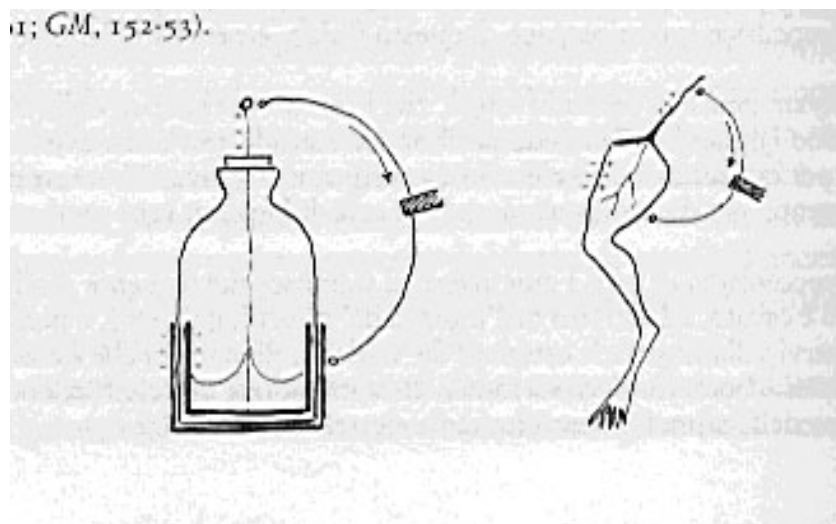


Figura 3.9: parallelismo rana - bottiglia di Leida

Occorre ora aprire una parentesi sul termine "circuito", che noi oggi diamo per scontato, ma che risulta piuttosto innovativo per l'epoca se pensato in termini elettrici e che il medico bolognese utilizza con cognizione di causa; inoltre in questa tipologia di esperimento non si sfrutta più una scarica elettrica impulsiva (scintilla o fulmine) che ha una durata praticamente istantanea, bensì un flusso di cariche che genera una corrente elettrica la quale circola per un certo tempo. Questa è sicuramente una delle innovazioni più grandi che si riscontrano nella ricerca di Galvani in quanto possiamo vedere nella rana (secondo l'idea di Galvani per cui l'elettricità animale è una proprietà intrinseca dell'animale) una sorta di anticipazione grezza della pila, cioè un generatore statico di energia elettrica. Un altro fatto importante è messo in evidenza dalle ultime due righe del testo in cui l'autore specifica che arco e uncino infisso nel midollo sono uno di ferro e l'altro di rame; questo particolare pone in Galvani, ma soprattutto a noi che rileggiamo l'opera oggi, la questione dei metalli. Per comprendere al meglio questo tema fornisco di seguito un altro passo del *De viribus* in cui si può notare che il medico bolognese si era

accorto della proprietà di metalli differenti di far avvenire il fenomeno delle contrazioni in maniera più evidente e duratura.

[...]una particolarità, degna di attenzione, a proposito degli archi e dei piani conduttori: e cioè che importa molto - e da risultati di gran lunga maggiori - ad ottenere e ad accrescere le contrazioni muscolari, l'uso di parecchi e differenti corpi metallici, invece di uno solo ed uniforme. [...] Se invece un elemento, per esempio, è di ferro, l'altro di rame o meglio ancora d'argento (infatti a noi è sembrato l'argento il miglior conduttore dell'elettricità animale), subito si produrranno le contrazioni ed esse saranno più notevoli e di gran lunga più durature.<sup>13</sup>

Il termine "durature" riferito alle contrazioni fornisce un ulteriore elemento a supporto del fatto che in questo secondo esperimento si ha una circuitazione della corrente elettrica prolungata nel tempo e non più una scarica istantanea; ad ogni modo l'importanza primaria è la particolarità riscontrata sia nell'utilizzo di due metalli differenti nella connessione tra nervi e muscoli sia negli effetti diversi prodotti variando combinazioni di metalli. Questo fatto, infatti, sarà alla base del dibattito scientifico sviluppatosi negli anni successivi alla pubblicazione del *De viribus* e che avrà come protagonisti da una parte Galvani e dall'altra il fisico comasco Alessandro Volta; ci tengo a precisare che mi limiterò a fornire solo qualche informazione riguardante ciò in quanto si tratta di un argomento piuttosto esteso che richiederebbe un'analisi approfondita delle pubblicazioni e delle sperimentazioni fatte dai due scienziati e che meriterebbe un elaborato indipendente ad esso dedicato. Il grande quesito su cui queste due grandi figure intellettuali si interrogano è quale sia la causa delle contrazioni muscolari dell'anfibio.

Secondo lui (A. Volta) l'analogia tracciata da Galvani tra il muscolo e una bottiglia di Leida non può essere accolta, dato che è sufficiente collegare l'arco metallico con due punti diversi del nervo per provocare la contrazione. Per Galvani, invece, era necessario collegare muscolo e nervo mediante tale arco metallico per scaricare l'elettricità accumulata nel muscolo. Altra differenza essenziale con Galvani: Volta afferma che l'arco che viene messo a contatto con due differenti punti del nervo deve essere costituito da due metalli diversi per poter produrre una contrazione muscolare. Con un solo metallo perfettamente omogeneo egli non ottiene alcuna contrazione.<sup>14</sup>

Come già detto Galvani, basandosi sul percorso sperimentale compiuto e raccontato nel *De viribus*, è convinto che la causa sia l'elettricità animale, e cioè quella proprietà

---

<sup>13</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

<sup>14</sup>C. Blondel e B. Wolff, *La controversia Galvani - Volta e l'invenzione della pila*, Versione francese: marzo 2007 (traduzione italiana a cura di A. Orlandi: giugno 2009)

caratteristica della macchina fisiologica costituente l'animale di cui si proclama scopritore; Volta, invece, dopo aver letto l'opera di Galvani pubblicata nel 1792 e dopo aver compiuto a sua volta alcuni esperimenti inerenti alla tematica rifiuta l'idea dell'elettricità animale e propone una visione totalmente diversa. Il fisico comasco, infatti, vede le contrazioni della rana come espressione di una corrente elettrica comune (e non propria dell'animale) del potere elettromotore dovuto al contatto tra metalli diversi; nella Figura 3.10 possiamo vedere il circuito nervi-metalli-muscoli sulla base dell'interpretazione del fenomeno di Volta: i metalli costituiscono il generatore di corrente, mentre la rana è approssimabile ad un elemento resistivo che subisce la corrente.

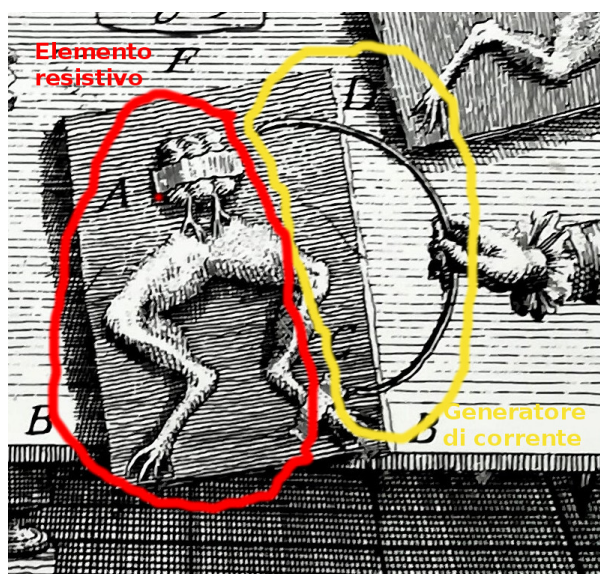


Figura 3.10: Schema circuitale che rappresenta l'idea di Volta

Per Volta, dunque, la rana è vista come un sensibile elettroscopio animale cioè un elemento passivo nel circuito; proprio su questa idea si fonda la ricerca sperimentale che lo porterà alla creazione di una teoria sul contatto di corpi conduttori di diversa specie, la stessa che oggi conosciuta col nome di "effetto Volta" e che sfocerà nella sua più grande invenzione: la pila, cioè il primo generatore statico di energia elettrica. Alla luce delle conoscenze attuali entrambe le spiegazione di Galvani e di Volta presentano delle incorrettezze; riguardo quella di Volta "il generatore non è, come lui credeva, la coppia metallica, ma il sandwich costituito dal primo metallo, dalla soluzione acquosa (tessuto animale) e dal secondo metallo, infatti, oggi si sa che la soluzione acquosa è indispensabile, mentre Volta non le attribuiva che un ruolo passivo"<sup>15</sup>, mentre riguardo quella di Galvani va detto che "esistono sicuramente delle differenze di potenziale elettrico di origine organica, ma esse sono molto più deboli delle differenze prodotte da un elemento

<sup>15</sup>Blondel C. e Wolff B. *La controversia Galvani - Volta e l'invenzione della pila*

di una pila (metalli più soluzione salina). E' possibile misurarle ai nostri giorni mediante un elettrocardiogramma o un encefalogramma"<sup>16</sup>. Concludo qui la questione del dibattito che sarà ripresa nella parte finale di questo elaborato per discuterne i risvolti storico-scientifici.

### 3.2.2 Caratteristiche dell'elettricità animale

Per terminare questo capitolo è opportuno fornire le caratteristiche dell'elettricità animale riscontrate da Galvani durante gli esperimenti che compie e che egli riassume nella quarta ed ultima parte della sua opera. A questo fine riporto integralmente le parole che l'autore scrive in quanto piuttosto chiare ed esplicative.

Esporremo ora, intorno alla natura di questa elettricità animale, qualche considerazione basata su ciò che ci fu possibile dedurre dagli esperimenti sopra descritti. Questa elettricità ha alcune proprietà identiche a quelle dell'elettricità comune e volgare, altre a quelle dell'elettricità della torpedine e di altri animali simili. Sono proprietà comuni con l'elettricità volgare (elettricità comune) le seguenti; in primo luogo essa passa senza impedimenti e facilmente attraverso quegli stessi corpi per i quali l'elettricità comune è solita scorrere, cioè specialmente attraverso i metalli e, fra questi, meglio attraverso i più perfetti e più nobili, per esempio l'oro e l'argento, poi per quelli meno nobili, come il rame, il ferro, lo stagno, il piombo, indi per quelli imperfetti, per esempio l'antimonio, in ultimo per le minere; passa anche facilmente senza impedimenti attraverso l'acqua e i corpi umidi; più difficilmente per le pietre, le terre, i legni; infine non scorre e trova la via del tutto impedita nelle sostanze vitree, resinose, oleose. Perciò avviene che, se i metalli sono stratificati sopra un piano coibente, detta elettricità suole, come quella comune e artificiale, accumularsi in essi e produrre effetti molto maggiori, cioè provocare contrazioni più notevoli e durature, che se i detti metalli comunicano liberamente con altri corpi conduttori. - In secondo luogo, essa preferisce scorrere per la via più libera e più spedita, come per gli archi, gli angoli, le punte. In terzo luogo, ha natura duplice e contraria, cioè positiva e negativa. - In quarto luogo, essa rimane aderente a lungo ai muscoli e si conserva costante per delle ore, come l'elettricità suole per lungo tempo rimanere aderente ai corpi per loro natura elettrici. - In quinto luogo essa si rinnova spontaneamente e mantiene a lungo questa capacità. - In sesto luogo, la sua forza si accresce di molto coll'ausilio della così detta armatura, fatta di quegli stessi metalli, con cui i fisici hanno l'abitudine di armare i corpi vitrei e resinosi.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup>Blondel C. e Wolff B. *La controversia Galvani - Volta e l'invenzione della pila*

<sup>17</sup>L. Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, trad. italiana di E. Benassi.

Oltre alle caratteristiche in comune con l'elettricità "volgare" Galvani, sulla base delle sue ricerche e quelle di Walsh, ne esprime altre legate all'elettricità della torpedine che ometto in quanto meno significative. Questo elenco è un altro segno evidente della convinzione del medico bolognese di aver scoperto un qualcosa di nuovo. Leggendo oggi il *De viribus* risulta strana questa suddivisione che viene fatta quando si parla di "elettricità", ma come abbiamo già detto nel XVIII secolo non erano ancora così chiari i fenomeni elettrici e si tendeva ad aggiungere a questo termine l'elemento che ne era la causa; sulla base di ciò è evidente la rivoluzione che porta con sé quest'opera introducendo, sul fondamento di un percorso sperimentale piuttosto innovativo, l'idea che nell'organismo animale venga prodotta un'elettricità e che essa sia la causa del movimento muscolare, una grande anticipazione della moderna elettrofisiologia.

# Capitolo 4

## Conclusioni

Dopo aver discusso delle tante influenze che hanno portato Galvani ad intraprendere il suo percorso sperimentale che comincia nel 1780 e si conclude con la pubblicazione del *De viribus* nel 1791, dopo un breve percorso scientifico sulle conoscenze elettriche dell'epoca e dopo un'analisi dell'opera mirata a delinearne gli aspetti innovativi e legati a quella branca della scienza che è la fisica le conclusioni di questo elaborato mirano ad evidenziare i punti di maggior interesse per un'analisi storico-scientifica.

a) Il primo aspetto riguarda l'anticipazione.

Come abbiamo visto nei paragrafi 3.1 e 3.2, sembra quasi che Galvani abbia immaginato il futuro fornendone qua e là grezze anticipazioni; tra queste l'immagine che ricorda un moderno impianto elettrico domestico, ma soprattutto il primo esperimento. In esso, la scintilla generata dalla macchina di Ramsden, il bisturi a contatto con i nervi della rana ricordano l'esperimento effettuato nel 1886 da Heinrich Hertz che fornì la prima prova sperimentale dell'esistenza delle onde elettromagnetiche teorizzate da Maxwell.

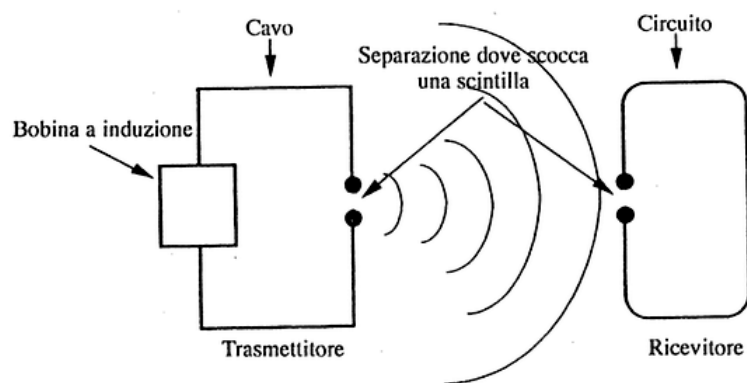


Figura 4.1: Schema dell'apparato sperimentale usato da Hertz nel suo esperimento (immagine presa a pag. 31 de *Le grandi scoperte scientifiche*)



È chiaro che l'esperimento di Hertz si fonda su una conoscenza molto più estesa dei fenomeni elettromagnetici e che le strumentazioni a sua disposizione siano migliori, però sia lui che Galvani sfruttano la creazione di scintille (l'uno attraverso una corrente elettrica oscillante prodotta da una bobina ad induzione, l'altro usando la macchina di Ramsden) per produrre un segnale elettromagnetico, captarlo a distanza con un ricevitore (un risonatore a scintilla costituito da un cerchio di grosso filo di rame interrotto da uno spazio di lunghezza regolabile tra due sferette per Hertz, la bacchetta metallica per Galvani) e rilevarlo (tramite scintille prodotte nel risonatore per il fisico tedesco, attraverso le contrazioni della rana per il medico bolognese).

b) Il secondo aspetto riguarda il piano del linguaggio.

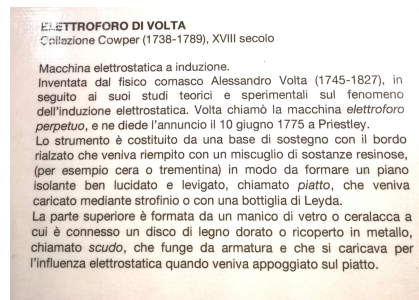
Nell'opera si trovano tanti termini specifici riguardanti le conoscenze dei fenomeni elettrici diffuse nel XVIII secolo; aggettivi come "coibente" o "idioelettrico" per indicare la proprietà di un materiale isolante come il vetro o conduttore come il ferro; il termine "corpo carico" che a volte si trova seguito dalla specificazione "positivamente" o "negativamente" che esprime la distinzione che già si faceva tra due tipi di carica; "elettricità artificiale" o "elettricità atmosferica" per esprimere, come visto, la distinzione tra elettricità prodotta da macchine e quella prodotta in natura da fenomeni atmosferici come i fulmini. In particolare risulta innovativo il nuovo significato che prendono i termini di "circuito" e "corrente elettrica", in quanto per la prima volta negli esperimenti di Galvani compare, ancor prima dell'invenzione della pila di Volta, una corrente che dura nel tempo a differenza delle scariche impulsive ottenute dalle macchine elettriche, fatto di enorme rilevanza in termini fisici. Infine compaiono i nomi di tanti strumenti elettrici utilizzati nel Settecento: "macchina elettrica", cioè la macchina di Ramsden ampiamente trattata nel paragrafo 3.1, "bottiglia di Leida" strumento di cui abbiamo discusso nel secondo capitolo, "quadrato magico" che sarebbe il quadrato di Franklin una variante della bottiglia di Leida inventata dall'omonimo scienziato e già incontrata anch'essa nel capitolo due, "elettrometro" (strumento, come specificato da Galvani stesso, ideato da Volta per rilevare la presenza di carica su un corpo per passare poi a strumenti più semplici come bacchette e piani d'appoggio conduttori o isolanti e fili metallici) e "elettroforo" (altro strumento ideato da Volta, vedi Figura 4.2).

c) Il terzo ed ultimo aspetto riguarda il piano del dibattito scientifico.

La controversia tra Galvani e Volta sviluppatasi fra il 1791 e il 1799 sull'esistenza dell'elettricità animale ha avuto un notevole potere generativo per la scienza successiva: nell'immediato soprattutto con Volta, in un futuro prossimo con Galvani. L'invenzione della pila sarà, infatti, alla base degli esperimenti che nel secolo successivo porteranno alla scoperta di tanti fenomeni e alla creazione della teoria elettromagnetica di Maxwell, mentre l'idea che Galvani propone di meccanismi fisiologici associati a cause di tipo elettrico è ciò su cui si fonda la moderna elettrofisiologia.



(a)



(b)

Figura 4.2: A sinistra (a): Elettroforo, esemplare esposto al museo di Palazzo Poggi a Bologna. A destra (b): descrizione fornita al museo di Palazzo Poggi a Bologna.

Infine, occorre precisare che l'opera che abbiamo analizzato è frutto di un decennio di esperimenti e che la cronologia di essi è diversa e molto meno lineare di come Galvani faccia apparire nel testo; è, dunque, evidente che il medico bolognese abbia organizzato le idee a posteriori architettando un percorso logico ben strutturato col fine di rafforzare maggiormente la sua scoperta dell'elettricità animale e le teorie che propone nell'ultima parte dell'opera, un esempio di ciò che oggi viene chiamato retorica scientifica.

In conclusione il *De viribus electricitatis in motu musculari* sancisce in modo marcato la grandezza di Galvani, un uomo di scienza che, spinto da un'immensa curiosità e attraverso le sue tante conoscenze ed il suo metodo meticoloso, ha saputo sviluppare e concretizzare il pensiero di fine Settecento fungendo da ponte col secolo successivo.

# Bibliografia

- [1] Andrès J., *Dell'origine, progressi e stato attuale di ogni letteratura*, 1829, Pisa, Niccolò Capurro;
- [2] Ashall F., *Le grandi scoperte scientifiche*, 1999, Roma, Armando Editore;
- [3] Barbensi G. (a cura di), *Opere scelte di Luigi Galvani*, 1967, Torino, Tipografia Torinese;
- [4] Bertozzi E., *Narrazione storico-scientifica per documentario "Frankenstein Senior"*, 2018, Sistema Museale di Ateneo, Università di Bologna, pre-print;
- [5] Bresadola M., *Luigi Galvani. Devozione, scienza e rivoluzione*, 2011, Bologna, Editrice Compositori;
- [6] Galvani L., *De viribus electricitatis in motu musculari*, traduzione italiana di E. Benassi, in *Galvani, Memorie ed esperimenti inediti*, 1937, Bologna, Cappelli;
- [7] Heilbron J. L., *The Oxford Companion to the History of Modern Science*, 2003, Oxford University Press;
- [8] Mazzoldi P., Nigro M. e Voci C., *Fisica. Volume II*", 2010, Napoli, Edises;
- [9] Piccolino M. e Bresadola M., *Rane, torpedini e scintille. Galvani, Volta e l'elettricità animale*, 2003, Torino, Bollati Boringhieri.

## Sitografia

- [10] Bevilacqua F., *La controversia Galvani-Volta*,  
<http://ppp.unipv.it/silsis/Pagine/PDF/contrVG.pdf>;
- [11] Blondel C. e Wolff B., *Galvani e "l'elettricità animale"*,  
<http://www.ampere.cnrs.fr/histoire/parcours-historique/galvani-volta/galvani/it>;

- [12] Blondel C. e Wolff B., *La controversia Galvani - Volta e l'invenzione della pila*, <http://www.ampere.cnrs.fr/histoire/parcours-historique/galvani-volta/controverse/it>;
- [13] Cornia A., *Sulle spalle dei giganti. Alessandro Volta*, <http://matematica.unibocconi.it/sites/default/files/Volta%20genn%202013.pdf>;
- [14] Tega W., *DUECENTO ANNI MA NON LI DIMOSTRA ATTUALITÀ DI LUIGI GALVANI*, <http://www.bo.infn.it/galvani/200anni.pdf>.