

LA FISICA ITALIANA DAL PROCESSO A GALILEO FINO A VOLTA

Roberto Renzetti

1 – INTRODUZIONE

Nella mia ricostruzione per grandi linee della storia della fisica, con cenni ad altre discipline, non posso non parlare delle vicende italiane del periodo che seguì il Processo a Galileo. Cosa accadde lo discuterò di seguito, qui vorrei solo anticipare la tesi di fondo del lavoro. Il periodo post galileiano ha visto il declino di quasi tutti gli ambiti di ricerca scientifica che, all'epoca, nascevano e si sviluppavano profondamente integrati. La Chiesa esercitava un controllo ferreo nei suoi territori e dissuasivo in tutti gli altri. Finché durarono le monarchie spagnola e francese, tale potere di dissuasione si estese anche in quei Paesi. Ciò non vuol dire che alcune ricerche, qua e là, si facessero. Il tutto però in modo abbastanza episodico e casuale, slegato da un qualche progetto, una qualche scuola. Tra gli scienziati molti provenivano dal clero e la ricerca si sviluppava in settori che non fossero a rischio, come la matematica, la botanica, la zoologia, ... Già l'anatomia per non dire la fisica, si prestavano all'occhio attento del censore.

Quando, come vedremo, emergeranno delle personalità di spicco nel campo della ricerca, ad esempio, in fisica sarà in settori non noti e non capiti dalle chiuse gerarchie. Altri problemi si aggiungevano. Da una parte la debolezza intrinseca di piccoli stati che erano una sorta di protettorati delle potenti monarchie d'oltralpe. Tali stati non potevano permettersi grandi spese che, al punto di sviluppo della ricerca, non era più un sussidio ma un finanziamento organico per istituti di ricerca, materiali e personale. Ciò comporterà una tendenza che si svilupperà nell'Ottocento: l'Italia produrrà gli scienziati-inventori, persone anche di livello internazionale che, per sopravvivere con le loro ricerche, dovranno spingere nel settore dell'invenzione da vendere. E qui si ritorna però ai piccoli stati ed anche culturalmente retrivi dal punto di vista dell'imprenditorialità economica. Dico questo perché in Italia non si è mai curata la politica dei brevetti. Invenzioni di grande importanza furono sempre preda di lesti imprenditori d'oltralpe che le sfruttarono commercialmente senza neppure riconoscere almeno il merito scientifico di chi aveva fatto quantomeno la scoperta del principio scientifico.

2 - CENNI DI GEOPOLITICA

Per raccontare con qualche dettaglio la situazione della fisica italiana negli anni che seguirono Galileo, non si può prescindere da una breve ricognizione storico-geografica. L'Italia, fin dai tempi di Galileo, era pressappoco suddivisa in una miriade di staterelli come quelli riportati nella cartina seguente:

Solo pochi cambiamenti si erano avuti ai confini dei singoli Stati come pochi cambiamenti si avranno nel corso del Settecento. Tali aggiustamenti sono poco significativi per il discorso che intendo fare. E' invece importante dire che, prescindendo da piccolissimi Stati, la penisola italiana risultava costituita da: Ducato di Savoia (che aveva mire espansioniste verso la pianura padana); Ducato di Milano (possedimento dell'Impero degli

Asburgo); Repubblica di Venezia; Repubblica di Genova; Granducato di Toscana (con i Lorena dipendenti dagli Asburgo); Stato della Chiesa; Regno di Napoli e Regno di Sicilia (sotto il dominio dei Borboni); Regno di Sardegna (che passerà ai Savoia nel 1748). Dal punto di vista del sistema di potere oltre alle tre monarchie che dominavano, direttamente o indirettamente i vari Stati (i Savoia, gli Asburgo ed i Borbone), vi era lo Stato della Chiesa e la Repubblica di Venezia. E' un periodo di continui cambiamenti di alleanze ed influenze a seguito di matrimoni, cessioni di terre, guerre (Guerre di Successione 1700-1748), riforme o tentate riforme. Ed il Settecento è anche un secolo in cui molti Stati inizieranno a chiedere il pagamento di tasse sui beni della Chiesa con quest'ultima che rifiuterà sempre, anche di fronte a situazioni di grande indigenza e povertà generate dalle continue guerre, e che cambierà alleanze a seconda delle convenienze economiche dei Concordati che riuscirà a fare. Per assistere ad un cambiamento radicale occorreranno le campagne napoleoniche dell'inizio del secolo successivo.

E' quindi doveroso osservare che le grandi questioni politiche ed economiche in Europa occidentale, anche con l'intensificarsi delle imprese coloniali soprattutto in America, si decidono altrove. I Paesi che giocheranno i ruoli principali sono i regni di Spagna, Gran Bretagna, Francia, l'Impero Asburgico e la nascente Germania sotto la guida della Prussia. E poiché per rintracciare la scienza che cresce e si sviluppa è indispensabile seguire la via dell'economia oltre quella della libertà di pensiero, è illusorio pensare ad imprese scientifiche nella penisola italiana durante il Settecento. Possibilità vi sono, e saranno esplorate, solo in quei settori nascenti che non richiedano grossi investimenti e scambi di informazioni all'interno di una esistente scuola di pensiero e che, naturalmente, non ricadano sotto la scure censoria, intollerante ed onnipotente della Chiesa.

3 - LA SITUAZIONE ECONOMICO-POLITICA

La grande novità del Seicento, del secolo di Galileo, fu l'irrompere nel mondo rinascimentale della dinamica. Durante questo periodo, l'età barocca, si sostituì l'idea di una natura spontanea con quella di una natura retta da meccanismi a loro volta regolati da leggi che non sono solo della natura ma risultano condivise con il mondo della tecnica. Iniziano ad essere intaccate le leggi divine con un'operazione che nel Settecento arriverà a compimento: il momento religioso lascerà il posto all'utilitarismo ed al razionalismo empiristico. Dalle leggi divine si passerà via via alle leggi naturali con un sempre maggiore rifiuto, ed a volte discredito, della spiegazione metafisica, soprannaturale. Non è ozioso osservare che a questa ricerca di oggettività nella conoscenza della natura corrisponde un processo analogo nel campo delle leggi e delle istituzioni. In politica si lavorerà per stabilire norme e leggi con validità universale che non prevedessero quindi eccezioni o privilegi per individui o gruppi sociali. E' l'etica essenzialmente pratica del calvinismo che aiuterà molto nella direzione della laicizzazione della spiegazione scientifica e tecnica, togliendo nel contempo molto del potere di interdizione della Chiesa di Roma che vedrà ridotto drasticamente il suo potere a partire appunto dalla Riforma. Esempificazione di ciò è la nascita di molte importanti accademie scientifiche in Paesi con popolazione totalmente o parzialmente calvinista, accademie che, con le loro riviste, funzionano come divulgatrici del pensiero e della ricerca che raggiunge una quantità di persone sempre maggiore. A fronte di ciò si assiste alla chiusura di analoghe iniziative in Paesi ad influenza cattolica. Dal punto di vista dell'energia e dei materiali utilizzati si usciva faticosamente da un paio di secoli in cui poco era cambiato. L'energia era fornita da acqua, vento, muscoli di uomo e di animali. Il materiale preponderante nella costruzione di apparecchiature tecniche era il legno. Il modo di produzione artigianale, con l'accrescersi del volume degli scambi di

merci conseguenti a maggiore disponibilità economiche, a partire dalla metà del Seicento, fu portato alla sua esasperazione mediante la divisione e la specializzazione del lavoro umano. Da questo momento, per tutto il secolo XVIII si realizzò una graduale trasformazione di mestieri locali ed industrie approssimative, in fabbriche altamente meccanizzate. Per conseguire ciò non fu sufficiente l'iniziativa del bravo ed esperto artigiano. Si trattava di accordare macchine motrici con macchine utensili, energia ed efficienza. Per fare ciò occorrevano misure comparative risultando insufficienti le valutazioni empiriche. Si trattava di passare all'analisi scientifica della produzione. In questo periodo si ebbe una formidabile espansione dell'industria tessile all'origine solo britannica, senza concorrenti (solo nell'Ottocento la concorrenza alle produzioni britanniche diventerà importante anche perché quelle produzioni si erano adagate alla mancanza di concorrenza e non avevano innovato). L'introduzione di nuove macchine, portata su larga scala, richiese fonti di energia sempre maggiori e, con l'introduzione del vapore (fine Settecento) la piccola industria cedette il posto alla grande industria in cui centinaia di operai iniziarono a lavorare come salariati di un padrone. Conseguenza sempre più grave di ciò fu la disoccupazione di massa che colpì gli artigiani solo parzialmente assorbiti dalle fabbriche. Fu per questi motivi che vi fu una rivolta contro le responsabili di tale situazione, le macchine. In due occasioni vi fu un'esplosione distruttiva delle macchine in Gran Bretagna, nel 1663 e nel 1767.

Con il Settecento le scienze della natura, inizialmente empiriche in Gran Bretagna e razionaliste in Francia, ma sempre supportate dall'esperienza, iniziarono la loro marcia trionfale. Questa circostanza ebbe immediatamente i suoi effetti anche nella tecnica che, a partire dalla seconda metà del secolo, iniziò ad uscire dalla pratica e dall'esperienza tradizionale per avviarsi ad avere un fondamento su basi scientifiche. Caratteristica peculiare dell'epoca è l'introduzione della matematica in ogni progettazione scientifica e tecnica. Le stesse "macchine" che fino a pochi anni prima erano frutto di architetti, ora divengono oggetti che richiedono progettazioni meccaniche con l'intervento spinto della matematica.

Tra le varie conquiste scientifiche che ebbero ricadute in applicazioni tecniche, occorre ricordare la teoria del calore che con la scoperta del calorimetro e la conseguente distinzione tra temperatura e calore con il connesso concetto di calore specifico, dette un grande impulso allo sviluppo delle macchine termiche (che poi marciarono come opera degli ingegneri, sopravanzando la parte teorica con quella pratica). Anche la nascita della chimica è collegata a queste vicende oltre che allo studio di alcune proprietà dei gas in connessione con problemi termodinamici ed alle ricerche che discendevano da problemi di sbiancanti e coloranti (acidi, soda) che si facevano impellenti nell'industria tessile. Il fervore di attività produttive come portato dell'economia mercantile creò le condizioni per la realizzazione delle prime macchine a vapore di uso pratico anche in piccole aziende. Tali macchine permisero l'estrazione del carbone e di altri minerali da profondità sempre maggiori perché permettevano il pompaggio dell'acqua dalle miniere. Per parte sua la macchina a vapore era un motore primo in grado di moltiplicare il numero delle macchine (soprattutto telai) collegate con conseguenze radicali nella produzione industriale (e quindi in quella della disponibilità di beni e di denaro che sono alla base dello sviluppo di una scienza matura). Macchine che sviluppavano sempre maggiori potenze richiedevano materiali costruttivi diversi dal legno e l'estrazione del coke con le fonderie da esso alimentate permise la massiccia introduzione del ferro prima e dell'acciaio poi nella costruzione di macchine e, soprattutto, di pezzi di ricambio intercambiabili.

In definitiva, verso la seconda metà del Settecento siamo in un'Europa pronta ad una elevata industrializzazione. Con l'avviarsi di tale processo aumentarono le invenzioni per la

risoluzione dei problemi che via via si presentavano. La parte del leone era della Gran Bretagna che per prima si era avviata sul terreno della libertà d'impresa senza vincoli da parte dello Stato e senza privilegi da dover salvaguardare. A partire dal 1640 in quel Paese era iniziata una rivoluzione borghese, largamente incruenta, che si estese, per il suo compimento, in un periodo di quasi duecento anni. Seguirono via via la Francia, dopo che con la Rivoluzione riuscì a tagliare via il sistema feudale e protezionistico di nobiltà e clero, e la Germania che stava assestandosi intorno alla intraprendente Prussia. Da questi processi restarono esclusi Paesi come la Spagna e l'Italia rimasti ancorati a regimi antiquati, a privilegi millenari a classi sociali parassite.

Ed in Italia? Intanto nel Settecento inizia la divaricazione produttiva tra Nord e Sud, con il Sud nell'area debole dell'economia.

L'Italia è Paese in gran parte agricolo. Il Nord introdusse in modo estensivo la coltivazione dei cereali *nobili* (frumento e segale), del mais e del riso, delle colture arbustive e delle piante tessili (cotone e gelso); integrò il ciclo del grano con quello del foraggio; migliorò le tecniche di lavoro (arte dell'irrigazione; stretta connessione tra agricoltura ed allevamento del bestiame). A fronte di ciò l'agro romano era lasciato deperire dalle politiche della Chiesa, la quale comunque intraprese alcune importanti opere di bonifica (prosciugamento dell'agro pontino), ma a fini di produzione immediata di tipo mercantile per sistemare i conti con l'estero e che quindi, poiché non erano pensate per lo sviluppo, non fecero decollare l'economia. Lo Stato della Chiesa aveva poi il problema della rendita parassitaria dei giganteschi latifondi del clero che toglieva ingenti capitali allo sviluppo mantenendo braccianti a livello di fame senza alcun miglioramento delle condizioni di lavoro con qualche, anche minima, innovazione. Il Sud, per parte sua, non curava l'organizzazione razionale dell'agricoltura lasciando allevamento e foraggio, ad esempio, come variabili indipendenti dei vari processi (libero pascolo e libera crescita di ciò che capita) ed eventuali espansioni della produzione discendevano dall'intensificazione del lavoro e dall'aumento delle aree messe a coltura (le baronie aumentavano i profitti sulle spalle dei braccianti; il costo dell'intermediazione era molto elevato come la rendita parassitaria). Il dato più rilevante è che al Sud il profitto era brutalmente solo profitto, mai reinvestito in piccole aziende di trasformazione o almeno in tecniche di miglioramento del lavoro e delle tecniche collegate (assenza completa di sviluppo).

L'insieme di queste situazioni permise solo alla politica asburgica su Milano un'organizzazione impositiva abbastanza oggettiva basata sul catasto. E questa osservazione non è peregrina perché ai fini di quanto sto raccontando o la scienza discende dalla beneficenza del sovrano (a questo punto) illuminato oppure da una certezza impositiva di uno Stato che decide di investire parte delle sue imposte su queste imprese.

I settori manifatturieri del cotone e della lana (ma anche della carta e delle porcellane), ed il riferimento è al Nord d'Italia fino alla Toscana, nonostante il sostegno delle commesse militari e del protezionismo, erano in decadenza per l'arcaismo dei processi produttivi non in grado di competere con l'industrializzazione in espansione nel resto d'Europa.

Le industrie estrattive, le metallurgiche e le siderurgiche, erano nello stesso stato di degrado ed abbandono con in più la storica carenza italiana di materie prime. La mancanza di innovazione era cronica dovunque. Aziende arcaiche finanziate dalle spese militari o importazione dagli Stati europei che erano di riferimento agli Stati italiani.

4 - LA FISICA SPERIMENTALE E L'ACCADEMIA DEL CIMENTO

Per la mancanza cronica di ricerche storiografiche su questo periodo (è sempre molto esaltante fare la storia delle glorie e meno delle miserie) e di una bibliografia di una certa

ampiezza cui attingere, debbo rivolgermi ad uno scritto di Floriano Cajori sull'argomento. Si descrive l'attività ed i contributi dell'ultima Accademia italiana, quella fiorentina del Cimento, che fu chiusa per pressioni della Chiesa. E' un modo di presentare il fervore di attività che coabitava con il clima creatosi intorno a Galileo e per dare testimonianza della fine di tale fervore e dell'obsolescenza scientifica dell'Italia.

1. Il fascino del metodo galileiano, che sulla evidenza dei fatti innalza l'uomo alle più alte speculazioni, aveva tratto a sé le menti più elette di quell'epoca gloriosa, e doveva avere solenne manifestazione nella «Accademia del Cimento».

Questa Accademia fu fondata nel giugno 1657 dal Granduca Leopoldo de' Medici; tenne la sua prima adunanza il 19 giugno di quell'anno. La Società Reale di Londra fu fondata nel 1663, l'Accademia di Francia nel 1666. I componenti l'Accademia del Cimento furono Vincenzo Viviani, Alfonso Borelli, Carlo Rinaldini, Alessandro Marsili, Paolo Del Buono, Antonio Oliva, Lorenzo Magalotti, Francesco Redi, Carlo Dati, i quali erano nomati i soci operatori; i corrispondenti poi furono fra gl'Italiani il Ricci, il Cassini, il Montanari, il Rossetti, il Falconieri; fra gli esteri lo Stenone, il Thevenot ed il Fabbri.

L'Accademia si occupava ad un tempo di molti e svariati soggetti, dei quali poi scelti i più notabili, furono raccolti in categorie e pubblicati col nome di *Saggi di naturali esperienze* fatte nell' Accademia del Cimento (Firenze 1667). Essa aborrì la dominante servile filosofia;

ebbe ardente brama di dar libertà agl'intelletti dietro la scorta di quella ragione che la geometria conduce e l'esperienza rischiarava; e tutto ciò fu come la base della filosofia galileiana, così come il cemento dell'Accademia, la quale prese a sua guida nel nuovo sentiero la testimonianza dei sensi e la geometria. Scopo unico e grande di quest'Accademia fu la ricerca del vero per mezzo della esperienza; con questo si doveva leggere nel gran libro dell'universo.

Sgombrata la mente di qualunque idea preconcepita, non solo lo altrui opinioni, ma nemmeno dovevansi ritenere ed accettare le proprie, se non confermate dal Cimento della esperienza, quindi prese il nome di Cimento la nuova Accademia. E poiché solo provando e riprovando può giungersi al discoprimiento del vero, così *provando e riprovando* fu il motto che gli Accademici scelsero a loro divisa, e presero per insegna un fornello acceso con entro tre vasi d'incerta forma. Fece

parte dell'Accademia il Principe Leopoldo (dei Medici), il quale la presiedeva; pubblicò anche parecchie osservazioni nei *Saggi*, e assisteva ad ogni adunanza dell'Accademia; e spesso vi prendeva parte pure il granduca Ferdinando, fratello di Leopoldo.

Quest'Accademia rimase in vita quasi dieci anni; varie cause concorsero al discioglimiento di essa, che avvenne nel 1667. Innanzi tutto l'inimicizia insorta fra Viviani e Borelli; e la discordia fra questi due principali Accademici li teneva lontani, e si propagò ben presto agli altri; la partenza dalla Toscana di alcuni Accademici, come il Borelli, l'Oliva, il Rinaldini; la nomina a cardinale del principe Leopoldo, il quale a quest'onore sacrificò il nobile suo ingegno e

<http://www.fisicamente.net/> (7 of 52)23/02/2009 8.24.26
<http://www.fisicamente.net/>

gran parte della sua gloria. Nella vita del Magalotti scritta dal Fabbri si legge: « Essendovi allora per la malignità dei tempi molti giurati nemici della diritta maniera di filosofare, quasi essa si opponesse alla religione, il principe

Leopoldo si trovò in necessità di accomodarsi al genio di questi, per ispiegare le vele al suo onore; così l'anno 1667 finì di essere quell'Accademia di tanto credito, ed egli sul terminare di quell'anno medesimo fu creato cardinale». Il 5 marzo tenne l'ultima sua adunanza.

Sebbene non abbiansi documenti diretti a provare che l'Accademia si spegnesse per opera dei suoi maligni persecutori, i quali non è inverosimile attizzassero il rancore tra Borelli e Viviani, seminassero la discordia tra gli Accademici, e con onorevole distrazione deviassero il capo, dandole così l'ultimo crollo, pure è manifesto che opposizioni veementi e minacce e derisioni, fino dalla prima sua istituzione, ebbe la pura e la santa opera degli Accademici come apparisce dal carteggio degli Accademici fra di loro, dalla circospezione, dal timore, dalla pusillanimità di alcuni di essi

Però il germe di corruzione e di sfacelo esisteva nell'Accademia stessa: in quel doversi d'ogni proposto lavoro, d'ogni sagace e fecondo concetto, d'ogni modo ingegnoso di sperimentare, d'ogni giusta ed acuta osservazione, d'ogni utile ed opportuno strumento ed apparecchio tacersene il suggeritore e l'inventore e farne sacrificio all'Accademia, lì stava, secondo l'Antinori, l'occulta causa di deperimento.

2. Crediamo opportuno qui riportare un brano della conferenza «I Medici granduchi» del prof. Isidoro del Lungo «... Che poi a quei granduchi di Cosimo II e di Ferdinando II, ed a quella femminile reggenza, si congiunga con vicende così dolorose la storia del pensiero e dell'opera magnanima di Galileo; e che il nome di Cosimo a' satelliti di Giove, e quello di Cristina in fronte alla lettera per la libertà dell'indagine scientifica, non facciano se non aggravare la colpa dell'acquiescenza di Ferdinando al martirio e alla curiale persecuzione, fin oltre la tomba, del divino filosofo; in ciò è forse la più grave condanna di tutto quel periodo mediceo; perchè, dinanzi alle tarde, ma immanchevoli giustizie della umana coscienza, i meriti maggiori o i demeriti dei sovrani della terra, sono quelli che essi si abbiano acquistati verso i sovrani del pensiero. Avrebbe forse ammendate le vergogne di quella colpa, la instaurazione, che, sotto i granducali auspici fraterni, il dotto principe Leopoldo sì validamente imprese, dell'Accademia del Cimento: e i nove anni, fino al 1667, che ella così onoratamente visse e operò, *quasi raccogliendo sotto le sue insegne a combattuta scuola galileiana*, riconducono invero sulla sua casa Medicea un raggio di quella gloria di umani studi che Cosimo il vecchio, il magnifico Lorenzo e Leone pontefice avevano trasmesso in splendido legato ai loro discendenti; ed in quel novennio del secolo, che la trionfale coltura francese segna del nome di Luigi XIV, si accoglie senza dubbio l'ultima collettiva energia intellettuale, che da questo nostro angolo privilegiato della patria manda, a beneficio della civiltà, il genio d'Italia. Ma quando, mentre d'ogni intorno garrule e vaniloquenti sbucan fuori e prosperano Accademie di ogni sorta e figura; e di lì a soli venti anni, per frondeggiare su tutta la penisola, si matura l'Arcadia; quando invece vediamo il Cimento, questa sola Accademia scientifica, eletto e numerato drappello di non pregiudicati ricercatori del vero, inciampare su primi passi; e quel buon principe Leopoldo, col diventare il Cardinal più addicevole, da quella pur nobilissima opera sua, e col ritrarsi di quella mano l'Accademia del Cimento finire, finire con pia soddisfazione del nipote Cosimo, che sta per essere Granduca, e della vera congrega che lo circonda; - ci si addimostra ben chiaro, come anche di questa cosa buona il Granducato mediceo non ebbe la forza, e che sulle

pagine della sua storia, con la lode di quel che s'accinse a fare, rimane l'accusa e il biasimo di quel che avrebbe dovuto e potuto perseverare a fare, e non fece».

3. Qui ci pare opportuno ricordare ancora Raffaele Magiotti, che fu in corrispondenza epistolare continua coi principali membri dell'Accademia del Cimento. Egli nacque in Montevarchi; escito dalla scuola di Galileo, andò a Roma in compagnia del cardinale Sacchetti, e vi fu trattenuto scrittore nella biblioteca Vaticana; a Roma insieme con Antonio Nardi di Arezzo contribuiva a propagare la novella filosofia sperimentale. Il Torricelli, che spesso dava a rivedere i suoi lavori matematici al Nardi ed al Magiotti, così ne parla in occasione di avergli inviato il suo *Trattato sulla misura del solido acuto iperbolico*, nel quale adoprava il nuovo metodo degli indivisibili; « avealo (il trattato) ammesso ed approvato il dottissimo ed eruditissimo Raffaele Magiotti, il quale come in altre scienze ed arti, così nelle discipline matematiche non deve ad altri posporre ». Il Magiotti era dottissimo non solo nella matematica, ma pure in medicina ed in anatomia; studiosissimo delle opere della natura, osservò la cometa del 1652; promosse la filosofia sperimentale per quanto glielo permisero le circostanze; pubblicò l'opuscolo sulla resistenza, e fece conoscere in quello come avesse variato la forma di certi termoscopi, che aveagli inviato il Granduca Ferdinando II, e dette ingegnosa ragione del moto verticale, che prendono certi corpicciuoli di vetro immersi in cilindri pieni di acqua, secondo che si comprime la superficie dell'acqua; dunque la scoperta dei ludioni o diavoletti di Cartesio, devesi al Magiotti; in proposito vedi l'interessante opuscolo *Raffaello Magiotti e la sua opera scientifica nel secolo XVII* di Ruggero Berlingozzi (*Memorie Valdarnesi*, IX della 2 serie, 1902); ed anche vedi la Nota del prof. G. Govi. « In che tempo e da chi siano stati inventati i ludioni detti ordinariamente *diavoletti cartesiani* », (*Rendiconti della Reale Accademia delle scienze fisiche e matematiche di Napoli*, fascicolo XII, 1879). Stava, come accennai, il Torricelli illustrando le dottrine di Galileo sulla scienza del moto non tanto dei solidi, quanto, dei fluidi, il Castelli aveva, applicando i concetti del filosofo toscano ai moti delle acque correnti, fondato l'idrodinamica; però il Torricelli vedendo che l'acqua che esce da un getto verticale risale fino all'altezza della conserva d'onde deriva, dubitò della legge ammessa dal Castelli, cioè le velocità fossero proporzionali alle altezze delle conserve, e pensò che piuttosto dovesse l'acqua acquistare la medesima velocità, che se essa fosse caduta, per la sua gravità, da quell'altezza; d'onde conchiuse, conforme al teorema di Galileo, che, fatta astrazione dalle resistenze dei mezzi, la velocità degli scoli doveva seguitare in ragione suddupla delle pressioni. Il Magiotti confermò questa supposizione del Torricelli, facendo varie esperienze sui prodotti di differenti getti derivanti da diversi carichi d'acqua.

4. Qui rammenteremo i principali risultati, cui è giunta l'Accademia del Cimento.

Incominciano i *Saggi* colla descrizione degli strumenti di misura e loro uso, cioè del termometro, idrometro, pendolo e barometro.

Si sa che il termometro fu inventato nel 1597 dal Galileo e la fissazione dei punti estremi della scala coll'immergere il termometro nel ghiaccio, che fonde e nel tenerlo nel vapore, che si svolge dall'acqua bollente sotto pressione di un atmosfera, è posteriore all'Accademia, ma si deve però ad uno dei suoi membri, il Rinaldini.

Il vero igrometro fu inventato dall'Accademia del Cimento, che lo chiamò *Mostra umidaria*.

Segue la descrizione del pendolo e di un orologio a pendolo «su l'andar di quello che prima di ognun altro immaginò il Galileo, e che nell'anno 1649 mise in pratica Vincenzo Galileo suo figliuolo»; e questa è una prova evidentissima che realmente l'applicazione dei pendoli agli orologi è invenzione italiana.

Nei *Saggi* sono poi descritti diversi areometri, la palla d'oncia ecc., strumenti che ancor oggi potrebbero prestare utili servizi alla scienza.

Interessantissime sono le esperienze dell'Accademia del Cimento sul congelamento dell'acqua, quelle per confutare la teoria dell'*antiperistasi*.

Durante questi ultimi esperimenti, volendo meglio mostrare come tutti i corpi si dilatano pel calore, idearono l'esperienza, più generalmente nota sotto il nome di anello di Gravesande, che dovrebbe invece prendere il nome dall'Accademia.

Non riuscendo a comprimere l'acqua nelle sfere metalliche assoggettate alla pressione del torchio, conclusero per la incompressibilità di essa; ma non essendo riusciti a comprimere l'acqua, osservarono che trasudava dalle pareti del recipiente, e così poterono dimostrare la porosità dei metalli. Riuscirono anche a confutare l'errore della leggerezza positiva.

Nei *Saggi* sono riportate anche le esperienze sulla velocità di propagazione del suono, eseguite ancora nel 1656 da Viviani e Borelli. Tentarono, ma infruttuosamente, di misurare la velocità di propagazione della luce. In altro Capitolo gli Accademici si occupano del cambiamento di colore dei liquidi, specialmente della tintura di tornasole.

Notevoli sono pure i fatti citati dall'Accademia del Cimento in sostegno dell'idea emessa ancora da Galileo sulla resistenza dell'aria.

Fecero pure esperimenti per convalidare il principio d'inerzia; e va pur notato che gli Accademici avessero una giusta idea di quella che loro stessi chiamarono «capacità calorifica»; ed in queste esperienze si trovarono di fronte alle calorie di fusione, al così detto calorico latente; onde è maggiormente a deplorarsi che l'Accademia abbia finito sì presto, perchè quest'ultimo argomento, come altri, sarebbero stati in modo esauriente studiati, ed avrebbero assicurato a noi il vanto di altre scoperte.

5. Si andrebbe troppo in lungo se si dovesse parlare di tutti gli Accademici; discorreremo solo di qualcuno di essi, incominciando dal napoletano Borelli.

Egli era un erudito profondo, carattere appassionato ed impetuoso, e finì nella indigenza a Roma. Fu discepolo del Castelli; insegnò a Messina ed a Pisa; si dedicò alle Matematiche, alla Fisiologia, alla Fisica, alla Astronomia, alla Filosofia ecc.; pubblicò ben tredici opere, tra le quali: «*Dei moti naturali dipendenti dalla gravità*»; - «*Del moto degli animali*», opera da consultarsi utilmente anche oggidì; - «*Teoria delle stelle Medicee, dedotta dalle cause fisiche*».

E pure degno di essere menzionato il Magalotti, gesuita, già discepolo del Viviani, autore delle lettere scientifiche ed erudite, conoscitore di molte lingue, parlatore e scrittore chiarissimo, e segretario dell'Accademia. I «*saggi di naturali esperienze*» bastano da soli a far fede del suo valore.

Va pure ricordato l'aretino Redi, forse più noto pel famoso ditirambo, che per le esperienze fisiche da lui eseguite, per quanto fosse assiduo e diligente accademico, medico rinomatissimo, naturalista, fisiologo.

Francesco Redi

Quanto progresso di lavoro sperimentale, quale promessa di larga messe per l'avvenire! Pareva dalla sua vita rigogliosa che quest'Accademia dovesse durare a lungo; ma purtroppo d'un tratto, come si è veduto, fu spenta per opera del suo presidente, il principe Leopoldo, per la paura e prepotenza di Roma. Pensare che un'Accademia di solo nove scienziati, che non fanno che interrogare la natura e registrarne i responsi, dà tanta ombra da far paventare che ne rimanga scossa la fede, ne soffra niente meno la religione! E d'altra parte non erano i Medici tali da resistere alle pressioni di Roma; essi che detenevano il potere da Clemente VII, soffocatore delle libertà fiorentine, e già macchiati dall'ignominia d'aver consegnato Galileo alla Inquisizione! Il fatto è che il principe Leopoldo si ebbe il cappello cardinalizio e l'Accademia fu sciolta.

6. Diremo qualche cosa anche degli Accademici corrispondenti. Gian Domenico Cassini nacque nel 1625 a Perinaldo in quel di Nizza da

Gian Domenico Cassini

antica famiglia del patriziato Senese. A soli venticinque anni succede al Cavalieri nella cattedra di matematica a Bologna; nel 1653 pubblica le osservazioni, fatte insieme col marchese Malvasia, sulle comete; nel 1655 rettifica la meridiana di San Petronio. Nel 1665 nelle lettere astronomiche, dirette al Falconieri, «*Sopra la varietà delle macchie osservate in Giove e loro diurne rivoluzioni*», spiega il variare di dette macchie, ammettendo che Giove ruoti sul proprio asse in 9h, 56m. Nel febbraio 1666 fa la stessa osservazione per Marte, e calcola che la rotazione avvenga in 24h, 48m, e nell'ottobre trova che ciò si avverava anche per Venere. In questo frattempo pubblica pure le osservazioni e le tavole dei satelliti di Giove, le quali gli valsero la nomina a direttore dell'erigendo Osservatorio astronomico (1669) di Parigi ed a membro dell'Accademia di Francia. A Parigi pubblicò non meno di centosessantacinque Memorie di Astronomia, undici di Fisica e sei opere; morì all'età di ottantasette anni, cieco come il gran Galileo. Nella direzione dell'Osservatorio gli successe da prima il figlio minore Giacomo, poi il nepote Cesare Francesco, da ultimo il pronipote Giacomo Domenico, che lascia nel 1793 l'Osservatorio e muore a novantasette anni nel 1845. Il grande Osservatorio di Parigi fu ultimato nel 1672, quello di Greenwich nel 1675, quello di Berlino nel 1700.

Lo Stenone, di origine danese, nel 1666 si stabilisce in Firenze; fa amicizia coi primi scienziati; passa alla religione cattolica, e si dà allo studio della anatomia e della fisiologia; nominato vescovo del Nord, si dedica interamente alla Mineralogia ed alla Geologia e porta importanti contributi a queste scienze.

7. Le esperienze descritte nei «*Saggi*» è naturale che non rappresentino tutto ciò che in quell'epoca fortunatamente fu acquisito alla scienza; ed ora parleremo brevemente delle ricerche che ebbero luogo in seguito.

I fenomeni di capillarità furono studiati, oltre che dall'Accademia del Cimento, dal sommo Leonardo da Vinci, e si potrebbe dire quasi riscoperti e studiati con amore dall'Aggiunti, sì caro a Galileo, il quale spiegò con essi l'ascensione dei liquidi nei vasi dell'organismo, il nutrirsi delle piante ecc.

Son note le lagrime Bataviche, né si sa chi le abbia prodotte per primo; dall'Olanda entrarono nel mondo scientifico, di lì il loro nome. Dobbiamo però a Geminiano Montanari, nato in Modena nel 1663, uno studio su dette lagrime «*Speculazioni fisiche sopra gli effetti dei vetri temperati*» nel quale per primo dà come causa del fenomeno la forte tensione superficiale del vetro.

Nel 1604 Vincenzo Cascariolo, calzolaio bolognese, che a tempo perso si

occupava di alchimia, scopre la fosforescenza.

Nel 1694 Targioni ed Averani fanno delle esperienze sulla combustione del diamante.

Si sa che nell'agosto 1609 Galileo presenta il primo cannocchiale(0) al senato di Venezia; nel 1617 immagina il suo «*Celatore*», che serviva a determinare le longitudini in alto mare, osservando i satelliti di Giove. Al cannocchiale di Galileo subentra ben presto quello astronomico ideato dal Keplero; oltre Galileo si sa che anche il Torricelli fu eccellente costruttore di cannocchiali, Eustachio Divini di San Severino, al quale si deve anche un importante perfezionamento del microscopio, che rese più chiaro e di maggiore ingrandimento col comporre di due lenti ciascuno, tanto l'obbiettivo che l'oculare. Suo rivale nella costruzione de' cannocchiali era Giuseppe Campani, romano, che portò la distanza focale degli obbiettivi fino a 136 piedi, e fornì a Luigi XIV lo strumento, con cui il celebre Cassini scoprì i satelliti di Saturno. Anzi, ad una speciale disposizione delle lenti dell'oculare, che si usa tutt'ora, è rimasto il nome di «Oculare Campani». Né va dimenticato come il primo a sostituire alla lente obbiettivo uno specchio concavo fosse Nicola Zucchi di Parma, che costruì il primo telescopio riflettore nel 1616.

Il primo a gettare le basi della teoria delle onde luminose fu Francesco Maria Grimaldi; nacque nel 1618 e morì nel 1663 in Bologna, sua

Francesco Maria Grimaldi

patria. Apparteneva all'ordine dei gesuiti, e l'importantissima sua opera «*Physico-Mathesis de lumine, coloribus et iride, libri duo*» non comparve in Bologna che due anni dopo la sua morte. Quest'opera contiene importantissime esperienze di ottica; in esse il Grimaldi paragona il modo di propagarsi delle onde generate da un sasso sulla superficie dell'acque, e suppone un fluido leggerissimo, che, urtato dal corpo luminoso, trasmetta vibrando la luce ecc. Spiegò l'iridescenza delle penne del collo del piccione; degne di speciale menzione sono pure le sue esperienze sul fenomeno così detto della dispersione della luce. Fu il Grimaldi che pel primo mostrò come il fascio de' raggi luminosi, attraversando il prisma, l'allarghi, e che considerò i colori come dipendenti dalla luce, che illumina i corpi; che ammise una diversa velocità di propagazione del moto vibratorio in rapporto al numero delle vibrazioni, e che prevede la luce propagarsi con minore velocità nei corpi più rifrangenti.

Certo l'autorità grandissima dell'autore della teoria della emissione fu la causa prima, per cui rimanesse affatto negletta la teoria ondulatoria di Grimaldi; e così in Newton abbiamo una seconda prova, dopo quella di Aristotele, quanto possa l'autorità di un uomo per ribadire degli errori ed arrestare per un certo tempo il progresso.

Anche in Italia si fece qualche tentativo per adoperare il vapore come forza motrice; Giambattista Porta nel 1601 si domanda in quante parti di acqua, come allora chiamavasi il vapore acqueo, si trasformi un dato vapore di acqua, e riesce con un semplicissimo apparecchio a sollevar l'acqua per sola pressione di vapore. Nel 1629 Giovanni Branca da Pesaro architetto della chiesa della Madonna di Loreto, pubblica un trattato intitolato «*Delle macchine artificiose, tanto spirituali che animali di molto artificio per produrre effetti meravigliosi*», nel quale propone che una grossa eolipila getti il vapore contro una ruota a palette, destinata a far muovere un piccolo volume.

Fin dall'XI° secolo Guido d'Arezzo inventa le note musicali e le nomina colle

prime sillabe d'ogni versetto dell'Inno di San Giovanni. Giuseppe Zerlino, nato a Chioggia nel 1540, e Vincenzo, padre di Galileo, scrivono di musica teoria; ma la parte fisica dell'acustica incomincia solo con Galileo Galilei. Fu egli che dimostrò che per corde eguali ed egualmente tese, la durata di oscillazione è proporzionale alla loro lunghezza; dimostrò pure che l'acutezza del suono sale o scende col crescere o diminuire delle vibrazioni ecc. ecc., oltre le esperienze eseguite in Firenze dal Borelli e dal Viviani e pubblicate nei «*Saggi*» sulla velocità di propagazione del suono, bisogna ricordare quelle del medico Bianconi di Bologna, che per primo dimostrò come la velocità di propagazione del suono aumenti col crescere della temperatura; i suoi risultati delle esperienze eseguite a Bologna a temperature da - 2° a 28° R. Sono riportati in un opuscolo «*Della diversa velocità del suono*» (Venezia 1746).

Un altro problema della più alta importanza che si proposero, non solo i cultori della fisica, ma ben anco i maestri di musica, i matematici, i filosofi, fu quello di trovare la ragione, perchè due suoni armonizzano, quando fra i numeri delle loro vibrazioni esista un rapporto semplice, mentre in caso diverso, o se il rapporto è semplice e appena alterato, riescono dissonanti. Alla risoluzione di questo problema contribuirono due italiani: il Magrini ed il Tartini. Verso la metà del seicento Magrini inventa la sua «*Trombetta marina*», la quale non è altro che una specie di grosso sonometro, con cui non solo dimostrò che si può ottenere dalle corde una serie di note, i cui numeri di vibrazioni crescono come le serie dei numeri interi; ma ben anco che queste medesime note accompagnano la fondamentale e si possono percepire separatamente, toccando leggermente la corda in vibrazione alla sua metà, terzo, quarto ecc. Nacque il Tartini nel 1692 a Pirano d'Istria; dapprima

Tartini

studiò teologia, poi legge; si ammogliò di nascosto dello zio cardinale Cornaro; per placare poi l'ira di questi, abbandona la moglie e si ritira nel convento di Assisi, ove studia con ardore la musica, ed in due anni diviene famoso suonatore di violino; e bentosto la sua fama corre da un capo all'altro d'Italia. Nel 1714 avverte che quando si suonino ad un tempo due note, se ne percepisce una terza più bassa; chiamò questo nuovo tono, dato dalla combinazione degli altri due «*il suo terzo suono*» e fu poi detto di Tartini. Interessante è di sapere che Tartini nel suo «*Trattato di musica secondo la vera scienza dell'armonia*» (Padova 1754) e nella «*Dissertazione dei principii dell'armonia musicale, contenuta nel diatonico genere*» (Padova 1767) non solo parla del suo terzo suono, ma espone l'idea che esso concorra nel definire l'armonia. Appunto sui toni armonici, messi per primi in evidenza dal Magrini, sui battimenti illustrati dal Saveur e sui toni di Tartini, detti poi di «*Sottrazione*», fonda Helmholtz la mirabile e semplice sua teoria della consonanza.

8. Porremo termine a queste note con un'osservazione: Non si sa comprendere, e certamente è assai deplorabile, come di queste nostre esperienze (degli Accademici del Cimento) non si faccia mai cenno nei libri italiani di fisica, nei quali si riportano regolarmente quelle eseguite in Francia.

5 - L'EREDITA' DI GALILEO IN EUROPA

E' ormai un fatto noto che, dopo l'infame processo a Galileo, in Italia si svilupparono solo poche ricerche (delle quali renderò conto più oltre) mentre il baricentro della ricerca

scientifico, prima appunto saldamente in Italia, si spostò verso il Nord Europa. All'interno del fatto scientifico in sé, vi sono altre considerazioni che si possono fare. Intorno alla metà del Seicento risultava a tutti evidente che la descrizione di Aristotele e San Tommaso dei meccanismi celesti e dei fenomeni terrestri, era ormai del tutto insufficiente. Due strade si aprivano alla Chiesa o insistere sulle sue posizioni dogmatiche o tentare una strada di mediazione tra scienza e fede come in gran parte suggerito dallo stesso Galileo (con Benedetto Castelli) nella sua *Lettera a Cristina di Lorena*. Da questo punto di vista è noto che la Chiesa di Roma scelse l'intransigenza dogmatica trovandosi nella condizione di passare dagli insegnamenti nelle sue università degli indiscutibili dogmi aristotelicotolemaici ad una difesa sempre disperata dei medesimi (mai terminata se ancora oggi le questioni restano esattamente le stesse con la *Fides et Ratio* di Giovanni Paolo II e con altri documenti di Benedetto XVI). La Riforma protestante, dopo un primo momento di scontro con un'uguale intransigenza dogmatica (il calvinismo militante era attaccato rigidamente al testo biblico), permise la nascita di un cristianesimo liberale che dette vita ad una nuova religiosità, fondata in gran parte su un mondo retto da ipotesi meccanicistiche. Si trattava di far coesistere, in una religione naturale, un universo meccanicistico governato dalla Provvidenza divina (si legga lo *Scolio Generale* del credente Newton nei *Principia*) con leggi precise, armoniose e comprensibili. Fu questa religione che affascinò i vari scienziati e filosofi della fine del Seicento e di buona parte del Settecento. Ma dietro tale cattolicesimo liberale vi era anche l'intento di scalzare definitivamente la scolastica dall'insegnamento e dal potere; di attaccare la Chiesa di Roma con i suoi militanti gesuiti; di lanciare una sfida all'assolutismo, allora imperante. Questa religione era in antitesi con le credenze popolari, con la superstizione e con l'oscura metafisica che erano invece tenute in grande considerazione a Roma. Inoltre in Gran Bretagna era nato un nuovo patto tra Stato e Chiesa: da una parte la Chiesa operava tra i fedeli le questioni metafisiche e dall'altro la Chiesa era tollerante con la rivoluzione liberale e con il governo costituzionale. In questo quadro era e fu possibile un grande spazio per la ricerca scientifica che ebbe sviluppi notevolissimi.

Nei Paesi dove non era arrivata la Rivoluzione liberale le cose restavano in mano alla Chiesa di Roma o ai calvinisti intransigenti. In Francia la Rivoluzione si ebbe sul finire del Settecento e, come tutte le cose esasperate, ebbe momenti drammatici che terminarono comunque con lo strapotere "divino" di nobiltà e clero. In Spagna non vi sarà Rivoluzione liberale come non vi sarà in Italia e, per lungo tempo, nella Germania costituita, come l'Italia, di tanti piccoli Stati.

6 - LA SCIENZA IN ITALIA DOPO GALILEO

Vi sono varie cose da premettere a quanto intendo discutere. Intanto le interpretazioni storiografiche degli *storici* cattolici (non ho mai capito il senso di un tale aggettivo dietro ad una professione) che, a commento della condanna di Galileo, riescono a dire cose come queste:

*Sul piano tecnico-strumentale la condanna del copernicanesimo e del Dialogo non comportò ostacoli e limitazioni, prova ne sia il fatto che alcuni miglioramenti significativi furono apportati proprio dai gesuiti [Da Mario Di Bono in *La storia delle scienze*, Bramante 1989]*

Dopo aver notato che si evita il nome di Galileo, si osservi la grande ipocrisia che vi è dietro questa frase, soprattutto quando scopriremo più oltre i contributi miserabili a cui ci si riferisce.

Leggo poi il giudizio di Claudio Romeni, più articolato, fuorviante ed addirittura errato

sul piano storico. Dice tale storico:

*tra le cause concettuali che la critica storica concordemente ritiene di poter addurre per interpretare l'assenza di un orientamento progressivo della fisica post-galileiana, un ruolo fondamentale riveste la tardiva comprensione da parte dei matematici e dei fisici italiani delle potenzialità offerte dai nuovi metodi algebrici e dalla geometria analitica. L'approccio di Galileo alla matematizzazione della fisica, condotta con i metodi della geometria sintetica, continua a definire il riferimento formale a cui ricondurre le indagini naturali, ma tale riferimento si dimostra tanto meno duttile ed adeguato quanto più aumenta la complessità dei fenomeni studiati, al punto che i limiti intrinseci dello strumento analitico spesso impediscono ai nostri fisici di seguire gli sviluppi della disciplina [Da Claudio Romeni in *La storia delle scienze*, Bramante 1989]*

Caspita ! ha capito tutto. Sta dicendo che la visione più avanzata della matematica applicata alla fisica, quella di Galileo, sarebbe rimasta così perché in fondo era arretrata. Ed in Italia non si era sviluppata la geometria analitica (ma neanche l'analisi ! ndr) e quindi non si poteva avanzare in fisica. Come dire che anche Newton che tratta la fisica con metodi geometrici, alla Galileo, era arretrato e non ha avuto sviluppi. Neppure viene discusso il fatto che Galileo è costretto a fermare tutto al 1638 (e quegli scritti erano in gran parte di tempi precedenti), che dopo Galileo, come del resto abbiamo discusso anche qui, tutto viene brutalmente bloccato e che l'elaborazione di una matematica (non c'entra la geometria analitica ma l'analisi) discende da problemi cinematici e dinamici, cioè proprio da ciò che a Galileo era stato impedito di fare con la conseguenza che neanche gli altri italiani hanno fatto con l'ulteriore conseguenza che anche quella matematica è rimasta congelata i metodi galileiani. Insomma una bella e buona falsificazione della storia e, diciamoci la verità, una non conoscenza della fisica e della matematica applicata alla fisica. Lo storico, così prosegue:

*Gli studi di idrodinamica continuano a rivestire una certa importanza poiché poco risentono inizialmente del mancato adeguamento alle tecniche matematiche infinitesimali, in quanto necessitano soltanto di una applicazione diretta dei concetti geometrici e meccanici correntemente utilizzati in altre parti della fisica contemporanea [Da Claudio Romeni in *La storia delle scienze*, Bramante 1989]*

riaffermando ancora quanto aveva detto prima che deve far parte di una precisa linea di pensiero.

Osservo invece che da un prete arriva un bilancio della follia della Chiesa nei riguardi di Galileo, follia che nelle cose ora scritte si vuole subdolamente nascondere. Pur non conoscendo il grado di condivisione di ciò che riporto da parte delle gerarchie vaticane sempre ottusamente chiuse, scrive padre Eugenio Toccafondi (nell'articolo *Restaurazione dell'uomo totale* in « Scienza e Uomo », Studium Christi, Roma 1949, p. 272):

«La scolastica della decadenza che si disinteressò, se non proprio della scienza, certo dei nuovi metodi che questa ormai esigeva e li osteggiò apertamente; che degenerò in sottigliezze; che confidò troppo nella pura ragione trascurando l'esperienza, da cui invece Aristotele e i suoi seguaci dell'epoca scolastica d'oro presero sempre le mosse nelle loro indagini; che abusò spesso del principio della priorità della verità rivelata; che esagerò l'uso del primato di quella scienza che ha per oggetto proprio il soprannaturale; che rinunciò sovente alla ricerca diretta corazzandosi comodamente col continuo ricorso all'autorità; si condannò da se stessa

all'insuccesso ... E non va taciuto che se fossero rimasti nello spirito di Alberto Magno e del suo discepolo Tommaso d'Aquino prendendo dal primo il metodo dell'osservazione diretta e dal secondo quello della cautela scientifica, i teologi del Santo Ufficio avrebbero agito ben diversamente nei confronti di quel massimo che fu Galileo Galilei» [citato da Sergio Beer in AA. VV. - Arte, Scienza e Cultura in Roma cristiana - Cappelli, 1971].

Ma oltre alla storia lasciata in mano agli apprendisti stregoni, vi è anche la mancanza di studi esaustivi su questo periodo, ed io ricaverò referenze da pochi lavori (uno è quello citato) tra cui la meritoria ed affidabile *Storia d'Italia* (Einaudi, 1980) con particolare riferimento agli *Annali 3, Scienza e Tecnica* che, a mio giudizio, è lo studio più avanzato esistente su questo periodo e non solo. Oltre a queste due opere mi riferirò a vari articoli e studi su argomenti particolari.

Occorre qui osservare che, a fronte dei molti noti scienziati dell'epoca di Galileo (pochi anni intorno al processo), nei 150 anni successivi (per limitare questa indagine al Settecento, anche se la cosa durerà per altri 100 anni), prescindendo dai matematici che non creano problemi al potere, si avranno solo i contributi di rilievo (nel senso di riconoscimenti e citazioni internazionali) di Boscovich e Volta⁽¹⁾. Uno storico della fisica italiano di 100 anni fa, Rinaldo Pitoni, diceva con amarezza che:

[in Europa vi era un fiorire di studi, elaborazioni e ricerche.] *Se però ci chiediamo dove si realizzarono i nuovi progressi, vediamo con dolore che il nostro paese ne è quasi completamente escluso. Quel che fosse l'Italia in quell'epoca è noto. Le autorità, laica, e religiosa, opprimevano il popolo; i tiranni nostrani e stranieri avevano ridotto a nulla l'istruzione pubblica e mantenevano le moltitudini nella più crassa ignoranza, riducendole a contentarsi di scarsa farina, di grossolane feste e di apparente giustizia. Analfabetismo, mendicanti e corruzioni regnavano sovrane, e sovrana regnava la superstizione. Vietato di leggere le opere dei pensatori stranieri, pena perfino la galera: come per quelle del Voltaire a Napoli. In tali condizioni lo sviluppo scientifico in Italia, che già aveva subito una sosta dopo la dissoluzione dell'Accademia del Cimento e le persecuzioni che la seguirono, doveva divenire pressoché nullo, come era nullo nella Spagna e nelle regioni soggette all' Austria: mentre si ravviva specialmente nei paesi protestanti; nella Svizzera dove si rifugiarono i protestanti francesi cacciati dalla revoca dell'editto di Nantes (1689); nella Prussia, dove col 1710 si fonda l'Accademia di Berlino ed i re vogliono che le scienze siano coltivate; nell'Inghilterra, dove la libertà umana ha definitivamente conquistato i suoi diritti: ma non già nella Scozia, dove il clero puritano intende di dominare e di volgere ogni attività umana alle questioni teologiche, tanto che la scuola di Edimburgo sembra fuori di posto.*

Dal punto di vista invece di realizzazioni italiane in campo industriale e produttivo in genere ed in quello delle costruzioni vi è ben poco da dire. L'elenco breve di tali *imprese* risulta addirittura ridicolo a fronte delle centinaia e centinaia di brevetti e macchine realizzate nel resto d'Europa. Nel 1711 viene costruita la strada reale tra Torino e Rivoli (10 Km); nel 1733, sotto la direzione dell'architetto Francesco Gallo viene portata a compimento la costruzione della cupola ellittica del Santuario di Nostra Signora di Vicoforte presso Mondovì; nel 1743 l'architetto Luigi Vanvitelli aggiunge sei anelli di ferro a rinforzo della Cupola di San Pietro. Fine.

Si può ben capire che l'arretratezza del nostro Paese diventa cronica e l'Italia non è in grado in alcun modo di inserirsi nelle politiche commerciali dell'Europa. In un perverso

effetto domino, se non si produce non si hanno i soldi per innovare e se non si innova non si riesce a produrre di più. In queste circostanze non servono macchine più moderne, non serve tecnica e non vi sono i soldi per pagare un qualche straccio di ricerca scientifica. Quando mi occuperò dell'Ottocento, scopriremo di avere a che fare con una tendenza simile, almeno fino all'Unità d'Italia.

Altri aspetti del *galileismo* andrebbero indagati ed anche se non è questa la sede merita almeno un cenno uno di questi aspetti, se cioè, in assenza dei fattori che impedirono l'evolversi della fisica di Galileo, si sarebbe in Italia arrivati a sviluppare una dinamica o un qualche proseguimento del programma di ricerca galileiano. Questo problema ne pone un altro relativo agli sviluppi intrinseci della meccanica: sarebbe stata possibile una meccanica galileiana, che vive di dialettica teoria-esperimento e di nuova teoria? Il problema si pone per quanto visto [altrove](#) ed in particolare per la trasformazione della ricerca fisica in un qualcosa che sembra snaturata rispetto ai suoi presupposti. Inoltre era quella di Galileo una scuola, un movimento da individuare con alcuni caratteri distintivi precisi. Questi ed altri problemi sono stati posti ed io semplicemente dico che sono problemi creati a tavolino sovrapponendo categorie storiografiche ad un'epoca che è distante da una scomposizione con i criteri suddetti. Intanto le comunicazioni erano complesse, lo scambio di informazioni era minimo e lento, nello stesso luogo risiedevano pochi scienziati, ... e con queste premesse si continuano a porre le domande precedenti? Galileo è ciò che *grosso modo* conosciamo ed il metodo di Galileo è ciò che conosciamo. Era questo metodo condiviso e praticato dai contemporanei? Forse qualcuno tentò ma la cosa è abbastanza inutile da indagare perché al fisico interessa che la linea di tendenza mostri una qualche caratteristica non certo che vi siano conversioni di massa. E la proposta di Galileo ebbe certamente un seguito in Europa anche se non la ebbe in Italia per mancanza di materia prima, di scienziati. Ma la domanda più importante, relativa alla obsolescenza della scienza in Italia, se si entra in tali disquisizioni, resta inevasa. Per rispondere ad essa restano gli scarni risultati scientifici italiani nei circa 300 anni successivi al processo a Galileo, a fronte della gran messe di tali risultati nel resto d'Europa ed anche nei nascenti Stati Uniti. Per non essere frainteso preciso ancora che mi occupo principalmente di fisica(2), il settore più immediatamente soggetto, se non a vera e propria repressione, quanto meno ad un'autocensura fortissima. So che in altri settori si lavorò, ed in tal senso ho già accennato alla matematica, poiché ogni scienza che non discutesse ciò che la Chiesa riteneva non discutibile, poteva andare avanti senza particolari problemi. Il problema semmai era diventato lo scambio e la circolazione delle informazioni scientifiche in un Paese frammentato e con Università in gran parte a gestione di ordini religiosi che davano gli antichi insegnamenti aristotelico-tolemaici con tutti i ritardi che ciò comportò in ogni campo di ricerca (si pensi ad esempio alla biologia ed ai ritardi nel riconoscimento della circolazione del sangue, in un Paese che pure aveva avuto i grandi insegnamenti di Francesco Redi). Gli storici riconoscono comunque una sorta di risveglio dopo la stagnazione da situarsi intorno alla metà del Settecento, in corrispondenza con la Pace di Aquisgrana (1748) che comportò una serie importante di mutamenti politici che andarono nel senso di favorire la ricerca. Da sottolineare che, a partire dai primi anni del Settecento, agli insegnamenti ed iniziative universitarie si affiancarono quelle di laboratori di ricerca potenziati(3). Ed infine un momento che può apparire secondario ma è invece sintomo dell'inizio di una fase in cui da una trasmissione casuale di conoscenze si passa a quella di qualcosa di costante e codificato che non può che portare a risultati importanti. Mi riferisco alla pubblicazione dei primi trattati di geometria analitica e di analisi matematica: P. Chelucco, *Institutiones analyticae*, Roma 1738 e M. Gaetana Agnesi(4), *Instituzioni analitiche ad uso della Gioventù Italiana*, Milano 1748.

Maria Gaetana Agnesi

La Chiesa, per parte sua aveva, anche precedente a Galileo, una tradizione scientifica, coltivata dalla Compagnia dei Gesuiti. Questo aspetto non è secondario perché i gesuiti avevano una sorta di monopolio dell'educazione dei ceti più abbienti (ceti che saranno dirigenti) e quindi di coloro i quali, all'epoca, potevano accedere al processo virtuoso di trasmissione di conoscenze che porta alla formazione di scienziati. La tradizione della Compagnia soffriva però di almeno un paio di contraddizioni: la prima riguardava il gruppo dei gesuiti scienziati tra i loro presupposti metafisici e le teorie settoriali che risultavano incompatibili; la seconda riguardava invece lo scontro sotterraneo tra il gruppo degli scienziati e coloro che, nella Compagnia, si dedicavano a questioni teologiche. E Galileo fece esplodere tali contraddizioni perché le sue teorie prevedevano una scelta da parte degli scienziati. La seconda contraddizione ebbe esiti interni e sotterranei nella Compagnia, mentre la prima comportò conseguenze sull'evoluzione delle posizioni e delle elaborazioni degli scienziati almeno fino alla metà del Settecento. In ogni caso la Compagnia disponeva degli strumenti scientifici, almeno in campo fisico-astronomico, tra i più moderni e raffinati: basti ricordare i laboratori del Collegio Romano, quelli di Brera e di Bologna che ancora a metà Settecento erano molto avanzati. Ed è interessante notare che, mediante successivi aggiustamenti a partire dal processo a Galileo, gli scienziati gesuiti, proprio intorno alla metà del Settecento erano praticamente aggiornati ed al passo con gli altri scienziati moderni, anche se, ancora intorno a tale data la Compagnia fu sciolta.

Il resto della politica della Chiesa vide una svolta nel 1757 con la revoca del decreto anticopernicano da parte di Benedetto XIV (per togliere dall'*Index Librorum Prohibitorum* il *De revolutionibus* di Copernico ed il *Dialogo* di Galileo, occorrerà attendere il 1835). Ma vale la pena vedere più in dettaglio quale fu la politica della Chiesa dopo Galileo e per tutto il Settecento. Dopo la morte di Urbano VIII, quello del Processo a Galileo, alcune cose in campo scientifico furono realizzate da Alessandro VII Chigi (1655-1667). Egli chiamò a Roma da Bologna, Gian Domenico Cassini, prima che quest'ultimo si recasse a Parigi. Con l'ausilio di Cassini e basandosi sulle teorie di Castelli, furono regolate le acque del Chiana ai confini con la Toscana. Si osservò poi la cometa del 1664 e fu sistemato in una nuova sede l'Orto botanico.

Gli anni successivi a questo Papa passarono nel tentativo di far funzionare la Sapienza ridandole autorevolezza ma ogni sforzo fallì perché le persone in grado di insegnare preferivano farlo fuori poiché l'università aveva ordinamenti vecchi, le norme erano completamente lassiste e gli stipendi erano molto bassi. Solo con Benedetto XIV (1740-1758) vi fu una importante riforma della Sapienza (con due bolle, del 1744 e 1748) con la quale: 1) si riformarono le cattedre con l'introduzione di quella di *matematica sublime* (comprendente: calcolo differenziale, meccanica, astronomia) e di quella di *esperimenti chimici*; 2) furono soppresse cattedre inutili, superate e doppie; 3) le cattedre vacanti vennero assegnate esclusivamente per concorso (con l'eccezione del Pontefice che poteva chiare a sua discrezione); 4) fu imposto il divieto di cumulare cattedre e di passaggio da una cattedra vinta ad un'altra; 5) la messa in pensione dopo almeno 20 anni di servizio onorato; 6) lo stipendio commisurato all'anzianità di servizio. Tutto sembra molto importante e giusto ma questi provvedimenti non ebbero alcun effetto salvo la permanenza della cattedra di esperimenti chimici. Altri provvedimenti di questo Papa furono il finanziamento di laboratori di fisica e chimica, il riordino dell'Orto botanico, la dotazione di un gabinetto scientifico all'Ospedale Santo Spirito, la realizzazione di un museo di mineralogia, l'incarico a Boscovich di fare delle carte geografiche dello Stato della Chiesa, la fondazione dell'Istituto delle Scienze a Bologna.

Dopo questo Papa *ispirato* si passa a Clemente XIV (1769-1774) che sopprime

l'ordine dei Gesuiti con la conseguenza della chiusura della scuola astronomica del Collegio Romano. Il Papa successivo, Pio VI (1775-1799), si occupò di bonifiche, di opere pubbliche e di un nuovo intervento, ancora inutile, sulla Sapienza che alla fine chiuse, questa volta per eventi drammatici: l'occupazione di Roma da parte delle truppe francesi (1798). Da notare che nella riforma universitaria di questo Papa (1786) era prevista l'introduzione di una cattedra di algebra e geometria e due di meccanica, idrostatica ed idrodinamica.

Questo è tutto ciò che si ebbe da parte della Chiesa in 150 anni.

7 - SCIENZIATI ITALIANI DEL SETTECENTO

Non resta, a questo punto, che passare a discutere dell'opera di quegli scienziati che emersero in questi anni di profonda decadenza avvertendo che non tratterò qui di Boscovich per averlo già fatto e che, su Volta riporterò cose già dette in altro articolo.

7.1 - GIAMBATTISTA BECCARIA

Il primo scienziato italiano di grande valore assoluto è Giambattista Beccaria (1716-1781).

Francesco Beccaria nacque a Mondovì (Cuneo) nel 1716. Studiò fino ai 16 anni a Mondovì e quindi si trasferì a Roma dove entrò nei Chierici Regolari degli scopoli della Scuola Pie e proseguì gli studi cambiando il nome in Giambattista. Presto fu inviato ad insegnare letteratura ad Urbino e lì, accortisi della sua particolare vocazione per le scienze, lo inviarono ad insegnare matematiche al Collegio di Palermo e quindi al Collegio Calasanzio di Roma. Aveva 32 anni quando nel 1748 fu chiamato dal Duca di Savoia ad insegnare fisica sperimentale presso l'Università di Torino⁽⁵⁾. E' da sottolineare che Beccaria fu chiamato proprio per il suo essere un sostenitore del metodo sperimentale di Galileo, metodo invece avversato dai professori operanti a Torino che erano legati alla tradizione aristotelica ed al filosofare inconcludente di Descartes. Con uno spirito che si può definire illuminista e che segnò la ripresa della ricerca in Italia dopo la cappa caduta con il Processo a Galileo, mise su un corso di fisica in cui entrarono sia Galileo (con la sua cinematica) che Newton (con la meccanica e l'ottica) e che rappresentò una vera rivoluzione alla quale attinsero scienziati del calibro di Lagrange e crearono un clima dal quale sarebbero venute le importanti ricerche dei Volta e dei Galvani. A Torino, dove insegnò fino al 1772, Beccaria svolse la gran parte delle sue ricerche, in gran parte pubblicate nella sua opera del 1753, *Dell'elettricismo artificiale e naturale, libri due*. E' un'opera fondamentale per l'Italia perché in essa viene proposta per la prima volta una sistemazione organica dei più diversi fenomeni elettrostatici (6). Ad essa se ne aggiunsero della altre:

Frontespizio della prima opera di Beccaria

Dell'elettricismo (1758), *Experimenta atque observationes quibus electricitatis vindex late constituitur atque explicatur* (1769), opera nella quale introdusse la teoria dell'*elettricità vindice* (*sibi vindicat locum suum*) per spiegare l'elettricità che pareva nuovamente apparire da un isolante caricato precedentemente e scaricato da una lamina metallica, teoria che fu falsificata immediatamente (1769) dal giovane Volta mediante una spiegazione basata sull'induzione, *Elettricismo artificiale di G.B. Beccaria* (1772), che nel 1774 fu tradotto in inglese, e *Dell'elettricità terrestre atmosferica* (1775). Beccaria, amico ed estimatore di Franklin, con cui mantenne una relazione epistolare trentennale, fu tra i primi ad affrontare il problema della resistenza che l'elettricità incontra nel passaggio attraverso dei materiali stabilendo che essa è proporzionale alla lunghezza dei conduttori (*i*

metalli comunque più conduttori d'ogni altro corpo apportano pure alcuna resistenza proporzionata alla lunghezza del sentiero che la scintilla dee in essi trascorrere, 1772). Scopri che i materiali isolanti, se scaldati, diventano conduttori (che sarà problema incomprensibile fino all'introduzione della fisica dei quanti ed alla [teoria delle bande di energia](#) negli anni Trenta del Novecento). Dedicò vari suoi studi anche ai condensatori, dopo il lavoro di Aepinus del 1756, soffermandosi sulle proprietà degli isolanti interposti tra le armature. Iniziò a mettere in relazione elettricità e magnetismo (si chiede: se non sia il fluido elettrico che *con alcuna determinazione universale, impercettibile, perpetua, periodica circolazione ... universalmente ogni magnetica direzione producesse e conservasse*). Stabili, sviluppando concetti introdotti da Franklin e Priestley, il fatto notevole che l'elettricità risiede solo nella superficie dei conduttori. A tale proposito realizzò uno strumento per provare l'assunto, il *pozzo di Beccaria*.

Pozzo di Beccaria

Lo strumento consiste in una sfera cava di ottone poggiata su di un sostegno isolante (es: vetro). Alla sua sommità presenta un'apertura circolare. Caricata la sfera, se con un elettroscopio collegato opportunamente (il *saggiatore*, costituito da due pezzetti di carta penduli da un piccolo bastoncino di ceralacca) si va ad ispezionare l'interno di essa, si scopre che non vi è carica che invece è tutta sulla superficie esterna (*ogni elettricità si riduce alla superficie libera dei corpi, senza diffondersi punto nell'interiore sostanza loro*). Questi importanti risultati non esaurirono l'arco delle attività di Beccaria. Egli, da instancabile osservatore, utilizzava ogni sorta di strumento e pensò di renderli funzionali fino ai minimi dettagli. Nel microscopio solare modificò in modo più funzionale il porta oggetti. Realizzò un nuovo sistema di compensazione nei pendoli applicati agli orologi. Inoltre, nei suoi studi, ebbe modo di correggere alcune inesattezze nella teoria del moto dei gravi elaborata da Gravesande e da Newton; trovò un metodo per determinare il fuoco delle lenti; tentò di spiegare per via elettrica alcuni fenomeni che riguardano le stelle cadenti e le aurore boreali (queste sarebbero dovute a scariche elettriche prodotte nelle regioni elevate dell'atmosfera poiché ciò che si vedeva aveva lo stesso aspetto di scariche da lui prodotte nel vuoto e poiché aveva stabilito che l'aria diventa sempre più rarefatta all'aumentare della quota); fece ricerche sulla doppia rifrazione del cristallo di rocca; ipotizzò un'identità tra fenomeni elettrici e magnetici. Studiò diffusamente e fece esperienze sull'elettricità atmosferica (e la cosa non fu gradevole perché egli doveva aggirarsi per i campi in giornate di pioggia e gli abitanti dei luoghi ebbero subito a considerarlo come uno stregone che, tra l'altro, portava male. Vi sono dei racconti che parlano di Beccaria inseguito da gente inferocita con forconi, una sorta di contrappasso per un prete). Utilizzando una [bottiglia di Leyda](#) (1756) studiò le azioni chimiche prodotte dalle sue scariche, come la riduzione di alcuni ossidi metallici, trovando che le scariche elettriche, attraversando l'acqua, danno origine a sviluppi gassosi dei quali malauguratamente non si occupò. Mediante l'uso opportuno di elettroscopi riuscì a mostrare, per primo in Italia, l'esistenza di elettricità statica negli strati alti dell'atmosfera anche a cielo sereno. Dimostrò l'identità del lampo e del fulmine con la scarica elettrica ordinaria eliminando i pericoli fin lì esistenti per l'operatore. Fu un sostenitore dell'uso dei parafulmini sia in Piemonte che in altre città d'Italia. Infine non si può tacere la sua grande abilità di geodeta. Su incarico di Carlo Emanuele III, nel 1759, misurò l'arco di meridiano terrestre che attraversa il Piemonte. Morì a Torino nel 1781.

7.2 - ALESSANDRO VOLTA: L'ELETTROFORO

Ci avviciniamo alla fine del Settecento. Da più parti ormai si fanno ricerche

sull'elettricità e sempre maggiori contributi si hanno. E' quindi più difficile seguire le varie scoperte in una sorta di successione cronologica. Molte cose si fanno simultaneamente in Paesi diversi o anche nello stesso Paese. Molte ricerche aprono strade apparentemente diverse. Occorre trovare dei momenti che rappresentano un vero balzo conoscitivo che ha avuto poi ricadute sulle osservazioni empiriche, sui dati sperimentali e sulle elaborazioni teoriche.

In questo senso la realizzazione dell'*elettroforo* è un momento importante per quanto ha successivamente prodotto e per l'impianto di conoscenze che c'è dietro.

La realizzazione di questo apparecchio discende da un esperimento che viene descritto da Aepinus nel 1759. Se si avvicina ad una estremità di una barretta metallica il tubo di vetro elettrizzato, la parte del regolo più vicina al vetro si elettrizza di segno contrario a quello del vetro e la parte più lontana dello stesso segno. Era una evidenza dirimente rispetto a quanto si sosteneva e cioè: un corpo avvicinato ad un altro corpo elettrizzato assumeva l'elettrizzazione del corpo elettrizzato. Sembrava quasi si dovesse dare ragione ai due fluidi elettrici ... Nel 1766 un allievo di Beccaria (Cigna) tentò una spiegazione ed anche lo stesso Beccaria che tentò la teoria *vindice*, alla quale ho già accennato.

Inizia a questo punto ad intervenire Alessandro Volta (1745-1827). Egli nacque a Camnago (oggi: Camnago Volta) vicino Como nel 1745 da famiglia patrizia ma povera, da don Filippo e donna Maddalena dei conti Inzaghi. Fu avviato allo studio delle lingue classiche e filosofia dogmatica presso il Collegio dei gesuiti a Como (dal 1757 al 1760). Il gesuita Bonesi che insegnava al Collegio, tentò di farlo entrare nell'ordine per il suo spirito vivace ed attento. Accortosi della cosa, lo zio di Alessandro, il canonico omonimo don Alessandro al quale il giovane era stato affidato alla morte prematura del padre (1752), lo tolse da quel Collegio e lo fece proseguire gli studi nel Seminario Benzi (va comunque notato che in Volta vi era effettivamente una sorta di vocazione, uno spirito mistico, che gli faceva argomentare della spiritualità degli animali e tentare di trovare errori negli scritti anticristiani degli enciclopedisti). Finito il liceo al Seminario, nonostante le insistenze dello zio, il giovane Alessandro lasciò gli studi regolari per proseguire da autodidatta a studiare i fenomeni elettrici dai quali era particolarmente attratto (anche se non sapeva di matematica come si rende conto chiunque legga le sue opere che, in un'epoca di impressionante formalizzazione, sono solo descrittive. Osservo a margine che i migliori autodidatti non sono mai riusciti ad esserlo in matematica).

La pubblicazione dello scritto di Beccaria, *De Atmosphaera electrica* (1769) indusse Alessandro Volta ad indirizzargli una lettera a stampa, *De vi attractiva ignis elettrici ac phaenomenis independentibus Alexandri Voltae patricii novo-comensis ad Joannem Baptistam Beccariam* (1769), nella quale manifestò a Beccaria il suo disaccordo sulle sue tesi (Volta mantenne sia con Beccaria che con l'abate Nollet una lunga corrispondenza). Tale lavoro, il primo di Volta, è una sorta di programma tendente ad unificare le forze elettriche con quelle attrattive di tipo newtoniano. In esso si può intravedere l'evolvere del pensiero di Volta negli

Frontespizio del primo lavoro di Volta

anni successivi. In particolare, in questo lavoro, si sostiene che la carica elettrica fornita ad un isolante resta localizzata nel luogo dove viene fornita e che i vari fenomeni studiati da Franklin erano tutti facilmente spiegabili con la teoria dell'induzione o influenza elettrostatica. Scriveva Volta che deve esistere un:

fluido elettrico, il quale è sparso abbondantemente ne' corpi sì, e per tal modo, che tutti ne hanno una dose competente alla loro capacità ... [ed] è ripartito in ragione delle rispettive forze attraenti ... Finché il fluido elettrico se ne sta ne' corpi in questa specie d'equilibrio, non produce alcuno degli effetti conosciuti

sotto nome di segni elettrici: allora solo li produce, che venuto per alcun accidente a sbilanciarsi, ossia alterata essendosi ne' corpi la natural dose di esso, si fa sforzo di ricondursi all'equilibrio [citato in bibliografia 4].

I corpi differiscono tra loro solo per modalità e tempi necessari a raggiungere un tale equilibrio: mentre nei conduttori, *il fuoco elettrico vi si muove liberissimamente, e a qualunque distanza trascorre* e quindi *in un istante impercettibile* si ristabilisce l'equilibrio, i corpi isolanti hanno bisogno di maggior tempo poiché *in essi difficilmente muovesi il fluido elettrico*. Inoltre Volta si differenzia dalla teoria di Franklin per accettare quella di Beccaria perché si ipotizzano sole forze attrattive ed infine, secondo Volta *i movimenti elettrici si possono tutti ridurre ad una legge unica, e semplicissima, che è la seguente: vi è attrazione tra i corpi, che non sono in equilibrio di elettricità, e questa mutua tendenza corrisponde tanto alla forza, con cui un corpo mira a dare, e l'altro a ricevere il fluido elettrico tra essi sbilanciato, quanto alla facilità e prontezza con cui può la richiesta distribuzione effettuarsi* [citato in bibliografia 4].

vi è qui il principio dell'induzione elettrica che è alla base della spiegazione dei fenomeni d'attrazione ed è una mirabile anticipazione del concetto di potenziale elettrostatico, fatto quest'ultimo che ben presto permetterà l'applicazione di tale teoria sviluppata in altri campi anche ai fenomeni elettrici.

Nel 1771 scrisse un altro lavoro che indirizzò a Spallanzani, professore di Scienze naturali presso l'Università di Pavia. In esso, tra l'altro, presenta una nuova macchina elettrostatica *con dischi e isolatori di legno ben tostati*. Nel 1774 si rivolse al responsabile scolastico per la Lombardia dell'Impero asburgico per chiedere una cattedra ed a tal fine allegò i suddetti due lavori. I lavori furono molto apprezzati e quindi fu nominato prima Preside e poi docente di Fisica sperimentale nelle Regie Scuole di Como.

Ma Volta non smise di ricercare e scrisse ancora molte pagine dedicate proprio all'indagine dell'induzione elettrica. Conseguenza di tali studi fu la *Lettera al Signor Dottore Giuseppe Priestley* del 10 giugno 1775, lettera nella quale annunciava la sua scoperta:

Io vi presento un corpo che una volta solo elettrizzato per brevissim'ora, né fortemente, non perde mai più l'elettricità sua, conservando ostinatamente la forza vivace de' segni a dispetto di tocamenti replicati senza fine. Voi tosto indovinate che siffatto corpo vuol essere una lastra isolante vestita e snudata a vicenda della sua armatura ...

Volta passa a descrivere il suo apparecchio, che chiama *elettroforo perpetuo*, in modo molto esteso. Ed alla fine della lettera, in una *Aggiunta* spiega in dettaglio il suo funzionamento, servendosi delle seguenti figure:

Elettroforo di Volta 1

Scrive Volta:

ho pensato di far cosa grata esponendo nelle seguenti figure sotto diversi aspetti e combinazioni tutto ciò che compone uno de' miei comodi apparati portatili, e quanto esso offre su due piedi a vedere di singolare. AA (Fig. 1.) è il Piatto, o sia una lastra d'ottone lavorata al torno con l'orlo ben ritondato prominente nella faccia superiore una mezza linea all'incirca, in cui è contenuta la stacciata di ceralacca o mastice B, nella inferiore sporgente una buona linea o più pell'uopo che si dirà. CC è lo Scudo di legno dorato o d'ottone cavo, senz'angoli e ben forbita, che si apre a foggia di scatola, e contiene i vari pezzi che hanno da venire ad uso. E è il manico isolante, cioè un bastoncino di vetro intonacato di ceralacca, armato nell'estremità di due

cappelletti d'ottone ff (Fig. 2.), uno fatto a vite con cui si ferma a un bottone lavorato per questo nel centro della faccia superiore dello scudo CC, e l'altro che termina in un anello, per cui si regge alzandolo (Fig. 2.,3.). Nella Figura 1. sta il Piatto AA, o meglio il mastice armato del suo Scudo CC ricevendo l'elettricità o sia la carica dalla catena O di una macchina ordinaria: indi se ne eccita la scarica dalla mano A D che tocca congiuntamente il Piatto e lo Scudo.

(Fig. 2.). Una mano alza per mezzo dell'anello f del manico E lo scudo CC; e l'altra mano X ne trae una lunga scintilla: e ciò ognora che si leva lo scudo dopo averlo posato e poi toccato.

La stessa Fig. 2. mostra come elettrizzato una volta un solo apparato, se ne possa avvivar un altro, o quanti altri ne aggrada: dando cioè replicatamente le scintille dello scudo alzato ad un filo od uncino d'ottone K sporgente da un altro scudo, che posa sul suo mastice. Fatto ciò e mutando mano voi potete con questo secondo e collo stesso processo rinvigorir la forza nel primo, e così via via reciprocamente.

Elettroforo di Volta 2

Le figure che seguono illustrano altre applicazioni della macchina, in combinazione con la *Bottiglia di Leida*. Aggiungo che l'elettroforo sarà illustrato da Volta, insieme ad altre scoperte, in alcune lettere del 1787 al poeta e scienziato tedesco Georg Christoph Lichtenberg (*Lettere sulla metrologia elettrica*). L'efficienza dell'apparecchio che aveva prestazioni molto migliori dello strofinio per elettrizzare, lo fece presto diffondere in tutta Europa dove si costruirono elettrofori con armatura del diametro di due metri, per spostare la quale servivano addirittura sistemi di carrucole. Nella figura che segue vi è l'elettroforo fatto costruire da Caterina di Russia per l'Accademia delle Scienze di Pietroburgo.

Elettroforo dell'Accademia delle Scienze di Pietroburgo

L'elettroforo è alla base dei lavori di Volta sui condensatori e sulla loro capacità. A lui, tra l'altro, si devono i concetti di capacità e di potenziale (che egli chiamava tensione), la relazione quantitativa tra capacità, carica e tensione di un conduttore isolato, costruì elettrometri sempre più precisi, iniziò a definire unità di tensione di modo che Volta è il fondatore della metrologia elettrica (tutto questo nella *Lettera al Signor De Saussure sulla capacità dei conduttori elettrici* del 20 agosto 1778 ed in scritti successivi). Questi studi su condensatori e strumenti di misura si conclusero con la realizzazione di uno strumento che assemblava i due oggetti, l'*elettroscopio condensatore* (*Del modo di rendere sensibile la più debole elettricità, sia naturale, sia artificiale*, letta alla Royal Society il 14 marzo 1782). Si trattava di un apparato in grado di rilevare anche debolissime cariche elettriche non rilevate dai più sofisticati elettrometri. Volta sostituì alla pallina metallica, generalmente

Disegno originale dell'elettroscopio condensatore di Volta

Elettroscopio condensatore di Volta

presente sulla sommità di un elettroscopio, un condensatore piano con l'armatura inferiore (sulla quale è sistemato uno strato isolante) a sostituire la pallina e quella superiore mobile dotata di un manico isolante. Con questo arrangiamento la capacità viene enormemente aumentata appoggiando sul piattello fisso il piattello mobile e mettendo quest'ultimo a terra. Si mette ora a contatto dell'armatura inferiore l'oggetto debolmente carico che trasferisce la sua poca carica al sistema condensatore che ha elevata capacità. A questo punto si toglie l'armatura superiore con l'effetto di ridurre di molto la capacità del sistema. La carica elettrica che si trova sull'armatura inferiore si ridistribuisce (diminuisce la capacità del sistema fa aumentare la tensione) e una parte di essa passa alle foglioline dell'elettroscopio

che divergono così in modo apprezzabile.

In questa memoria sul condensatore alla Royal Society, Volta scrisse:

Non vi vuol molto a comprendere, che ivi è maggior capacità, dove una data quantità di elettricità sorge a minor intensità, o che è lo stesso, quando maggior dose di elettricità è richiesta a portare l'azione a un dato grado d'intensità: a dir breve, la capacità e azione o tensione elettrica sono in ragione inversa.

Farò qui osservare sul principio ch'io denoto col termine di tensione (che volentieri sostituisco a quello d'intensità) lo sforzo che fa ciascun punto del corpo elettrizzato per disfarsi della sua elettricità, e comunicarla ad altri corpi: al quale sforzo corrispondono generalmente in energia i segni di attrazione, repulsione, ecc. e particolarmente il grado a cui vien teso l'elettrometro.

che è la ben nota legge che lega carica elettrica, capacità e tensione dei condensatori.

Il successo che discese da questo suo lavoro gli fece avere la nomina a professore di Fisica Particolare all'Università Ticinese di Pavia (della quale nel 1785 divenne Rettore).

La sua opera in questa università fu preziosa non solo per la parte didattica ma anche per la sistemazione e l'arricchimento dei laboratori di fisica.

Su Volta, che giocò un ruolo fondamentale nella nascita della scienza elettrica e nella sua comprensione, tornerò più oltre, dopo aver discusso del lavoro di Galvani. Ora vorrei soffermarmi un poco su altri campi di ricerca nei quali Volta dette importanti contributi.

Nel 1776 Volta scoprì quello che noi conosciamo come metano, e descrisse la cosa in *7 Lettere sull'aria infiammabile nativa delle paludi*. Stava facendo una passeggiata in barca sul Lago Maggiore quando, smuovendo con un bastone i fanghi paludosi vicini alla riva, notò molte bolle apparentemente d'aria che venivano in superficie, si rompevano e scomparivano. Egli pensò di raccogliere con un piccolo recipiente questa supposta aria e, portatala in laboratorio, si

Ricerca dell'aria infiammabile e verifica della sua infiammabilità

accorse che era infiammabile. Abbozzò anche una teoria di questa aria infiammabile, sostenendo che fosse di origine organica. Sfruttò anche il fenomeno realizzando una pistola ad aria infiammabile. In una Lettera al reverendo Padre Barletti del 18 aprile 1877, egli presenta la sua pistola facendo riferimento alla figura seguente. Scrive Volta:

Schema presentato da Volta per la sua pistola ad aria infiammabile

La figura è un fiasco di vetro. A [è] la pancia della capacità d'un caraffino da tavola. B [è] il collo o canna, entro cui caricata la palla, si trattiene con un turacciolo sopra di stoppa in b, ove si restringe la gola. Verso il fondo della pancia vi hanno due altre bocche laterali aa turate fortemente con due pezzi di sovero sopra masticati, attraverso ai quali turaccioli passan due fili d'ottone, che s'incontrano colle punte non troppo acute, alla distanza d'una linea più o meno in c. L'estremità esterna d'uno di questi fili è armata d'una palla d'ottone d, quella dell'altro tocca ossia comunica con un grosso filo o lastra dello stesso metallo dd, che si ripiega sotto il fondo a uncino: questa lastra o grosso filo non è necessario; ma serve per far la comunicazione colla mano che impugna la boccia, o con una lastra metallica su cui si lascia riposare, o con un conduttore a cui si sospende per l'uncino d ecc. Questo istrumento si può chiamare con un bel nome grande e imponente pistola elettrico-aereo infiammabile.

A giustificare i titoli di tal nome eccone le prove e gli effetti.

Riempito un quarto o un terzo della capacità A d'aria infiammabile metallica e il resto d'aria comune; di poi caricata la palla come nella figura si vede, basta dare una scintilla elettrica alla palla d, che immantinente siegue lo scoppio

punto e poco inferiore allo sbaro d'un'ordinaria pistola; e la palla di piombo è cacciata con furia alla competente distanza.

In definitiva, utilizzando un elettroforo, si produce una scintilla che è in grado di infiammare il metano contenuto nella boccia. Questo gas, scaldato in ambiente chiuso si dilata tanto da provocare l'esplosione. Tale esplosione fa partire il proiettile situato nel collo della boccia.

La pistola di Volta originale in vetro. Si conserva presso il Museo della Storia dell'Università di Pavia.

Con una sorta di reazione a catena, Volta trovò il modo di utilizzare la sua pistola ad altro fine e, come egli stesso scrisse,: *Questa pistola può servire anche di saggiatore, vale a dire per misurare la forza di esplosione che hanno le arie infiammabili*(7) quindi è uno strumento per rilevare la presenza di gas infiammabili. E l'apparecchio che a tal fine realizzò, prende il nome di *eudiometro*, così descritto da Volta:

AB (figura) è un recipiente cilindrico di cristallo grosso, del diametro d'intorno a un pollice, e lungo 14 o 15. dd sono due palle annesse a due fili d'ottone che attraversano il turacciolo di sughero, il quale

spalmato di mastice chiude esattamente l'apertura superiore del recipiente.

S'empie d'acqua il recipiente, si capovolge, e se ne attuffa la bocca in un vaso pien d'acqua C, si introducono per l'apertura E fatta a imbuto quelle misure che si vogliono d'aria infiammabile, e comune. Ciò fatto, e tenendo con una mano uno de' due fili metallici d, si fa scoccare, in quel modo che più torna comodo, una scintilla elettrica contro la palla dell'altro filo. Questa scintilla scoppiando in c, cioè nel piccolo spazio d'interrompimento fra i due fili, dentro al recipiente, dà fuoco all'aria contenutavi, la quale si dilata tosto, e fa nascere una scossa nell'acqua, finito la quale scossa, l'acqua rimonta, e accenna la diminuzione seguita nel volume dell'aria. Volete sapere più esattamente quanto sia il volume d'aria che è scomparso? Abbiate un tubo ef assai più stretto e più lungo del recipiente, graduato con misure corrispondenti: empietelo d'acqua, e introducetene la parte aperta e guernita esteriormente di pelle, nella bocca del recipiente, così che si adatti esattamente in E. Ciò fatto altro più non resta, se non se rivoltare in alto il tubo; perché ciascuna misura d'aria occupando uno spazio più lungo, riuscirà cosa agevolissima il misurarne le parti più picciole.

e poiché vi deve essere una certa e definita proporzione (lo dico con linguaggio odierno) tra il gas infiammabile e l'ossigeno, l'apparato può essere anche utilizzato per misurare la salubrità dell'aria misurandone la quantità di ossigeno (ed a questo uso va correttamente il nome di eudiometro). Ed a questo punto sorge un'altra possibile scoperta anche per cause legate a problemi economici, questa volta dell'Università di Pavia. Con questo strumento e con la teoria che vi era dietro nel 1781 Cavendish scoprì che facendo reagire idrogeno con ossigeno si ha la sintesi dell'acqua. La stessa cosa fu realizzata anche da Lavoisier. E proprio Volta nel 1783 scrisse:

io ci sono andato molto vicino. [...] fino dal 1777 avea detto di voler infiammare gran copia d'aria infiammabile assieme a molta aria respirabile confidandola nel mercurio ad oggetto di raccorvi ciò che vi fosse precipitato. Ma il male è, che non ebbi mai tanto mercurio che basta in mio potere. Se l'avessi avuto non v'è dubbio che avrei trovato quel ch'ora ha trovato il Sig. Lavoisier.

Con l'aria infiammabile realizza anche una lampada della quale dà comunicazione in una lettera (*Cart. Volt. G. 10*): "[Ho] talvolta ruminato, se vi fosser mezzi onde far uso economico dell'aria infiammabile, sostituendola es. gr. all'olio ec." E ancora "[Ho pensato] a costruire una lucerna ad aria infiammabile, che dilettevole senza meno, ma forse anche

utile in qualche modo riuscir debba: questa sarà all'istesso tempo una Clepsidra, ossia specie d'orologio a acqua."

Lampada di Volta, conservata nel tempio Voltiano di Como. A lato uno schizzo con principio di funzionamento, dovuti allo stesso Volta, della sua lampada: l'acido contenuto in C cade a gocce in A dove si trova la limatura di metallo e sviluppa idrogeno che attraverso il cannello ab esce e viene incendiato dalla scintilla elettrica.

Quegli anni furono densi di viaggi per l'Europa nei quali ebbe modo di conoscere: Franklin, Lavoisier, Berthollet, Laplace e vari altri. Viene eletto socio di varia accademie: Parigi, Haarlem, Padova, Torino, Berlino, Pavia, Mantova.

All'inizio degli anni Novanta vi fu un'altro studio di Volta che lo portò a stabilire (1792) una delle leggi dei gas, quella della dilatazione isobara dei gas, ben 10 anni prima di Gay-Lussac. Egli aveva trovato⁽⁸⁾ che l'aria si dilata uniformemente ed egualmente per eguali aumenti di temperatura, ed aveva fornito per il suo coefficiente di dilatazione un valore che, riferito al grado centigrado, era di 0,00375, molto vicino

Termometro utilizzato da Volta per lo studio della dilatazione dell'aria

a quello poi determinato (0,003663, che non è altro che il famoso $1/273$) e migliore di quanti altri avevano studiato la questione. Non tutti i suoi ragionamenti erano comunque corretti visti alla luce di quanto sappiamo oggi ma altrettanto si deve dire per Gay-Lussac che, avendo riferito i suoi calcoli ad un intervallo di 80 gradi tra ghiaccio fondente ed acqua bollente, risultava aver postulato e non provato l'uniforme dilatazione. E tutto ciò avveniva per lo stato di grande confusione esistente sui **concetti di calore e temperatura**, con l'aggravante delle diverse scale termometriche. In particolare il calore era addirittura considerato come una sostanza e compariva nelle tavole degli elementi. In ogni caso questa ricerca di Volta lo portò al successivo studio del comportamento dei vapori⁽⁹⁾ (densità e tensione), in particolare del vapor d'acqua, al variare della temperatura. Fu il primo a studiare sistematicamente ed ordinare tali conoscenze e fu lui a trovare la legge, oggi nota come Legge di Dalton: *la pressione totale esercitata da una miscela di gas [ideali] è uguale alla somma delle pressioni parziali che sarebbero esercitate dai gas se fossero presenti da soli in un eguale volume*. Si può ragionevolmente dire che, nel 1794, Volta disponesse di tutte le leggi che regolano il comportamento dei gas al variare della temperatura. Purtroppo, e sottolineo il purtroppo, le riviste scientifiche italiane non erano conosciute e lette proprio per quel discredito generale che si accompagnava ormai la ricerca in Italia. E Volta pubblicava le sue ricerche su questi argomenti sugli *Annali di Chimica* di Luigi Brugnatelli. A questa difficoltà, come sottolinea un importante studioso di Volta, Mario Gliozzi, si deve aggiungere: l'impegno che Volta metteva nella sua polemica con Galvani (come ora vedremo) che gli impedirono di approfondire gli studi e farne memorie più ampie e complete da inviare a riviste europee di prestigio; il periodo politicamente molto agitato per la Rivoluzione Francese e gli effetti in tutta Europa. Furono fatte discrete richieste di riconoscimento di priorità ma i piccoli stati italiani non avevano alcun peso. Nel 1794 gli viene assegnato una specie di Nobel dell'epoca, la medaglia d'oro Copley da parte della Royal Society. E, da questo momento, sarà socio di tutte le principali accademie d'Europa e riceverà ogni onore.

7.3 - LUIGI GALVANI: LA NATURA ANIMALE DELL'ELETTRICITA'

Nel 1791 fu pubblicata una memoria del medico anatomista bolognese Luigi

Luigi Galvani

Galvani (1737-1798), *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. In tale memoria, che segna la nascita dell'*elettrofisiologia*, Galvani esponeva la teoria dell'elettricità animale, frutto di una lunga indagine sperimentale iniziata nel 1780 dopo una fortuita osservazione.

Galvani nacque nel 1737 a Bologna. Fin da ragazzo, come Volta, ebbe inclinazioni misticheggianti che sembrava lo dovessero avviare alla via ecclesiastica. Poi parenti ed amici lo dissuasero ed avviarono a studi inizialmente di grammatica e retorica, quindi di filosofia ed infine di medicina. Iniziò con la medicina teorica per poi passare a quella pratica medica e chirurgica. Egli divenne dottore in medicina e chirurgia e, simultaneamente, in filosofia nel 1761. Iniziò la sua carriera accademica presso l'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna e la proseguì presso l'Archiginnasio e presso l'Istituto delle Scienze dove divenne professore di anatomia nel 1766. Risalgono al 1780 i suoi primi esperimenti sulle contrazioni muscolari delle rane. Così nel 1791, egli racconta l'episodio:

Dissecai una rana, la preparai come indicato nella figura [segunte] e la collocai sopra una tavola sulla quale c'era una macchina elettrica, dal cui conduttore era completamente separata e collocata a non breve distanza; mentre uno dei miei assistenti toccava per caso leggermente con la punta di uno scalpello gli interni nervi crurali di questa rana, a un tratto furono visti contrarsi tutti i muscoli degli arti come se fossero stati presi dalle più veementi convulsioni tossiche. A un altro dei miei assistenti che mi era più vicino, mentre stavo tentando altre nuove esperienze elettriche, parve di avvertire che il fenomeno succedesse proprio quando si faceva scoccare una scintilla dal conduttore della macchina. Ammirato della novità della cosa, subito avvertì me che ero completamente assorto e meco stesso d'altre cose ragionavo. Mi accese subito un incredibile desiderio di ripetere l'esperienza e di portare in luce ciò che di occulto c'era ancora nel fenomeno.

Galvani ripeté più volte l'esperienza e trovò che, senza dubbio, ogni volta che dalla macchina scoccava una scintilla, i nervi della rana, toccati con un conduttore, si

La contrazione dei muscoli di una rana quando un arco metallico tocca simultaneamente i nervi lombari ed i muscoli della zampa

contraevano (stessi risultati per differenti animali sia a sangue freddo che a sangue caldo e per la macchina elettrostatica sostituita con una bottiglia di Leida). Era l'indizio di una scoperta che poteva rivelarsi importante. Vi era una sorta di rivelatore di elettricità con caratteristiche del tutto diverse da quelli fino ad allora conosciuti (basati su strofinio ed induzione). Galvani si propose di verificare se lo stesso effetto era provocato anche dall'elettricità atmosferica e per farlo fissò, con un gancio di rame, i muscoli delle zampe di una rana ad un lungo conduttore disteso sulla sua terrazza (con una estremità sollevata verso il cielo e con l'altra immersa nell'acqua del pozzo). Ebbe così modo di osservare che *quante volte erompeva la folgore tante volte, nello stesso momento, tutti i muscoli erano*

Esperienza di Galvani sugli effetti dell'elettricità atmosferica

presi da veementi e molteplici contrazioni. Galvani osservò molte altre cose nel suo ripetere esperienze in tutti i modi possibili ed in tutte le condizioni (appese

Varie esperienze di Galvani

Altre esperienze di Galvani

molte rane con dei gancetti di rame alla ringhiera di ferro della sua terrazza per osservare gli effetti dei fulmini ma anche del ciel sereno). Una delle sue osservazioni, a posteriori,

risulterà estremamente importante: ogni volta che l'arco di scarica toccava simultaneamente i nervi lombari ed i muscoli della coscia si avevano contrazioni ma queste erano molto più accentuate se l'arco di scarica, anziché essere di un solo metallo, era bimetallico (ferro e rame o, meglio, ferro e argento):

se l'arco fosse stato di ferro e di ferro l'uncino, molto spesso le contrazioni mancavano o erano eccezionalmente esigue. Se invece uno di essi fosse stato, per esempio, di ferro e l'altro di rame o, molto meglio d'argento (l'argento infatti ci apparve più idoneo tra gli altri metalli a trasportare l'elettricità animale) si producevano contrazioni assai più evidenti e assai più a lungo.

Dall'insieme delle sue osservazioni, Galvani ricavò alcune conclusioni in analogia alla scarica di un condensatore: da un lato vi sono le armature del condensatore che nel nostro caso sono il nervo lombare ed il muscolo della rana; l'arco di scarica è il metallo conduttore che ha la proprietà di trasferire il fluido elettrico da un'armatura all'altra provocando la contrazione del muscolo. In questo senso si parla di elettricità animale: è l'animale che fornisce il fluido elettrico che agisce in modo fisiologico.

Questi fatti mi procurarono non lieve ammirazione, e incominciò a sorgermi qualche dubbio circa un'elettricità inerente allo stesso animale. Mi sembrò che, durante il fenomeno, il fluido scorresse dai nervi ai muscoli e si formasse il circuito come in una bottiglia ài Leida.

...

*Dalle cose finora conosciute ed esplorate, stimo che risulti abbastanza chiaramente che risiede negli animali un'elettricità che mi sarà permesso di chiamare con Bertholonio [l'abate Bertholon che scrisse un libro dal titolo *L'elettricità del corpo umano*, ndr] ed altri col termine generale di *elettricità animale*(5).*

Galvani passò quindi a mostrare che l'elettricità animale ha le stesse caratteristiche di quella delle macchine elettrostatiche. Sulla cosa tornò in un'altra memoria del 1795 ma pubblicata nel 1797, e redatta in forma di lettera a Spallanzani, ma non aggiunse cose di rilievo.

Morì in povertà (1798) per essere stato destituito dall'insegnamento in seguito al suo rifiuto, per le sue profonde convinzioni religiose (fu membro del Terz'Ordine Francescano Secolare), di prestare giuramento alla Repubblica Cisalpina.

7.4 - ALESSANDRO VOLTA: L'INIZIO DI UNA NUOVA ERA

Alessandro Volta era venuto a conoscenza del lavoro di Galvani ma era

Alessandro Volta

molto scettico sull'idea dell'elettricità animale. A parte alcuni pesci che, come la torpedine erano dotati di elettricità, l'idea non lo convinceva. Su sollecitazione dei suoi colleghi dell'Università di Pavia, iniziò a ripetere gli esperimenti di Galvani il 24 marzo del 1792. Solo pochi giorni dopo, il 3 aprile, scrisse a Galvani queste parole:

Eccomi convertito, dacché cominciai ad essere testimone oculare e spettatore io stesso dei miracoli, e passato forse dall'incredulità al fanatismo.

Qualche giorno dopo (5 maggio) in una conferenza all'Università (poi riportata in *Memoria prima sull'elettricità animale. Discorso recitato nell'aula dell'Università di Pavia in occasione di una promozione*), nell'illustrare le scoperte di Galvani, esaltandole, avanza qualche dubbio legato principalmente all'insoddisfazione per la mancanza di misure: *che mai può farsi di buono se le cose non si riducono a gradi e misure, in fisica*

particolarmente ? Come si valuteranno le cause se non si determina la qualità non solo, ma la quantità e l'intensione degli effetti ?

ed a ciò aggiunge una osservazione d'interesse relativa al fatto che le rane possono essere al più degli elettroscopi molto sensibili ... con ciò negando di fatto l'assunto di Galvani che assegnava alle rane l'origine del fenomeno elettrico. Sembra quasi che l'osservazione sia nata in Volta mentre pronunciava la conferenza. Sta di fatto che Volta comincia di nuovo a sperimentare soffermandosi su quel particolare importante al quale abbiamo accennato: gli effetti di contrazione delle rane sono molto più evidenti quando l'arco scaricatore è bimetallico. Egli realizza le più varie esperienze mescolando rane e lamine metalliche di diversi materiali e piano piano

Alcuni degli arrangiamenti sperimentali di Volta con rane e lamine metalliche simili e dissimili. Un filo metallico chiude il circuito

va chiarendosi le idee di un problema che lo assillava:

Quello ... di cui non ho potuto ancora trovare una ragione, che mi soddisfi neppur mezzanamente, si è la necessità dette armature dissimili (...) mi nasce talvolta il dubbio, se veramente i conduttori metallici, diversi, od applicati in differente maniera a due luoghi dell'animale altro non facciano dal canto loro, allorché si viene a stabilire fra essi una comunicazione, che prestar la via al fluido elettrico che naturalmente tende a trasportarsi dall'uno all'altro luogo, come pare si debba credere; se in una parola siano meramente passivi, o non anzi agenti positivi che muovano cioè di lor posta il fluido elettrico dell'animale, e da quieto ed equilibrato che era, lo determinano, rompendo essi tal equilibrio, ad entrare quindi in un'armatura di tal foggia, ed a sortire per l'altra di tal altra foggia.

Qualche giorno dopo, il 14 maggio, nella sua *Memoria seconda sull'elettricità animale* Volta stabilisce che la fisiologia dei muscoli non ha nulla a che vedere con la loro contrazioni: il fenomeno avviene come reazione secondaria dell'eccitazione dei nervi. E, discutendo di queste cose, ci racconta di una esperienza che ha realizzato e che sarà una importante guida per le elaborazioni successive. In qualche modo si è sostituito alla rana. Sistemata in mezzo alla lingua una moneta d'oro o d'argento, ha provato a toccare con la punta della lingua le lamine metalliche di cui dispone e, racconta, di aver percepito un sapore acidulo quando ha fatto arco tra le due parti metalliche con un conduttore. Egli descrive la cosa così: si sente lo stesso sapore che si percepisce quando si avvicina la lingua *al tenue fiocco e venticello di un conduttore elettrizzato artificialmente a tale distanza che non iscocchino scintille* (è esattamente ciò che accade oggi quando sistemiamo la lingua tra i due poli di una pila per vedere se è carica o meno). Invertendo poi le parti metalliche il sapore da acidulo diventa alcalino. Volta ha in mano un utile strumento rivelatore di elettricità (ma è comunque *assai più facile di sentire il sapore acido nella prima maniera, che questo sapore acre ed urente in quest'altra*). In ogni caso, i due diversi sapori gli fanno ipotizzare un verso diverso di percorrenza del fluido elettrico, anche se non è in grado di stabilire quando entra e quando esce. La memoria chiude con dei dubbi che Volta si ripropone di risolvere con ulteriori esperienze.

Nel giugno dello stesso anno, Volta ritorna ancora sull'argomento per sbarazzarsi dell'elettricità animale e per assegnare i fenomeni elettrici ai metalli:

Son dunque i metalli non solo Conduttori perfetti, ma motori dell'elettricità; non solo prestano la via facilissima al passaggio del fluido elettrico, che trovandosi già sbilanciato tende a portarsi dal luogo in cui sovrabbonda a quello che rispettivamente ne scarseggia; ma van producendo essi stessi e provocando un tal quale sbilancio con estrarre di codesto fluido ed introdurne, dove pur trovasi in giusta dose ripartito, non altrimenti che avvieni con lo

stropicciamento degli idioelettrici ... Ella è questa una nuova virtù de' metalli, da nessuno ancora sospettata, che le mie sperienze mi hanno condotto ad iscoprire.

Si intravede nello sbilanciamento di cui parla Volta, quella che noi oggi chiamiamo differenza di potenziale. Ma il principio dello spostamento di fluido elettrico dovuto al contatto di due metalli diversi lo porta subito ad ideare tutta un'altra serie di esperienze con i più diversi materiali arrangiati in modo diverso tra loro. Il fine, per ora, era quello di costruirsi una sorta di graduatoria o scala di coppie di metalli che dessero migliori risultati. A queste esperienze Galvani rispose con un'altra del 1794: dissezionata una rana egli la piegò in modo che i nervi crurali toccassero direttamente i muscoli delle cosce (si eliminava l'intermediazione metallica dell'arco scaricatore); ebbene, anche in questo caso vi erano le contrazioni dei muscoli.

Volta ampliò allora la sua teoria del contatto e dello sbilanciamento: non solo i conduttori metallici ma anche quelli non metallici, presentano lo sbilanciamento. Per fare chiarezza Volta chiamò i primi *conduttori di prima classe* ed i secondi *conduttori di seconda classe*. Come osserva Gliozzi, qui vi è una operazione dogmatica di Volta che inverte i termini del problema: egli dice infatti che ogni volta che compare uno sbilancio elettrico, deve esservi il contatto tra conduttori eterogenei. La posizione non sarebbe stata sostenibile se Volta non avesse scoperto qualche tempo dopo la possibilità di avere elettricità di contatto con mezzi puramente fisici, servendosi del duplicatore che William Nicholson (1753-1815) aveva realizzato nel 1788 (che nasceva come macchina elettrostatica ma che era in realtà un sensibilissimo strumento in grado di rilevare piccole quantità di elettricità)(6).

A questo punto Volta iniziò a concentrarsi sul come rendere più evidente, sul come moltiplicare, il fenomeno elettrico originato dallo sbilancio di due soli metalli (conduttori di prima classe) messi a contatto. Inizia così una lunga serie di esperienze con le catene di conduttori di prima classe, di seconda classe e di prima e seconda classe. Nel 1796-1797 scopre che una *catena aperta* (quando la catena è costituita da differenti metalli ed ha agli estremi due metalli differenti) di

Varie sistemazioni in catene di conduttori realizzate da Volta e riportate in una sua Lettera al Professore Gren di Halla (1° agosto 1796)

conduttori di prima classe si ha uno sbilanciamento pari a quello che si avrebbe mettendo direttamente in contatto il primo e l'ultimo metallo. Conseguenza di ciò è che in una *catena chiusa* (quando agli estremi si ha lo stesso metallo) non si ha alcuno sbilanciamento.

Il contatto di conduttori diversi, soprattutto metallici..., che chiamerei conduttori secchi o di prima classe, con dei conduttori umidi o di seconda classe, risveglia il fluido elettrico e gli imprime un certo impulso o incitamento. Non saprei ancora spiegare in che modo ciò avviene, ma basta che ciò sia un fatto ed un fatto generale. Questo incitamento, sia esso un'attrazione, una repulsione o un impulso qualunque, è diverso e disuguale, sia rispetto alla differenza dei metalli che ai diversi conduttori umidi... Così ogni volta che in un cerchio completo di conduttori si pone uno della seconda classe fra due della prima, differenti fra loro, oppure uno della prima classe fra due, anch'essi diversi, della seconda classe, si stabilirà, secondo la forza predominante, a destra o a sinistra, una corrente elettrica, una circolazione di quel fluido che cessa solo rompendo il cerchio e si ristabilisce non appena il cerchio si ricostruisce ogni volta (Lettera a Gren del 1796).

Queste cose risultano insuccessi a Volta perché mostrano che dai conduttori di prima classe non si trae fuori che un piccolo effetto. Nello stesso 1796, il fisico fiorentino Giovanni Fabbroni (1752-1822) scopre un effetto chimico legato all'elettricità: immergendo in acqua

due lamine di metalli differenti a contatto tra loro, una di esse si ossida. E' invece sul finire del 1799 che Volta scopre la sistemazione sperimentale che lo porterà al grande successo: collegando tra loro opportunamente (in un sistema a colonna) delle coppie bimetalliche, ripetute più volte e disposte nello stesso senso, con l'accortezza di disporre tra una coppia bimetallica e la successiva un disco di panno inumidito, lo sbilanciamento agli estremi della colonna è proporzionale al numero di coppie bimetalliche. E' la pila, è un qualcosa di sensazionale che Volta sa subito rendere oggetto d'uso.

Il 20 marzo del 1800, proprio a chiusura dell'Ottocento, Volta comunica la sua scoperta con la sua memoria *On the Electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kind in a letter from Mr. Alexander Volta to the Sir Joseph Banks*. Egli proprio in apertura dice:

Dopo un lungo silenzio del quale non cercherò di scusarmi, ho il piacere di comunicarvi, Signore, e, per mezzo vostro, di comunicare alla Royal Society alcuni stupendi risultati ai quali sono arrivato, facendo molte esperienze sull'elettricità eccitata dal semplice mutuo contatto di metalli di differenti tipi ed anche tra quello di altri conduttori, anche differenti tra loro, sia liquidi, sia contenenti un qualche umore, al quale essi devono propriamente il loro potere conduttore. Il principale di questi risultati, e che comprende presso a poco tutti gli altri, è la costruzione di un apparecchio che per gli effetti, cioè per la commozione che è capace di far risentire nelle braccia, ecc. rassomiglia alla bottiglia di Leida e meglio ancora alle batterie elettriche debolmente caricate, che agiscono però senza posa, ossia la cui carica dopo ciascuna esplosione, si ristabilisce da se stessa, in una parola, che fruisce di una carica indefettibile, d'un'azione o impulso perpetuo sul fluido elettrico.

Era nato l'organo elettrico artificiale (o apparato elettromotore o apparato a colonna), come lo chiamò all'inizio volta, la pila come sappiamo noi (con un nome di provenienza francese, *pilière*, che si rifaceva alla forma del primo modello di pila). La coppia bimetallica era costituita da rame e zinco a contatto diretto; ogni coppia era separata dall'altra da un disco umido di cartone. In questa memoria vi era anche la dimostrazione, mediante l'elettroforo, che una lamina di rame ed una lamina di zinco che siano a contatto, assumono, al loro essere separate, carica negativa il rame e carica positiva lo zinco. Questa scoperta significò per Volta la fama definitiva. Nel 1801 la Pila fu presentata all'*Institut de France*, alla presenza dell'allora primo Console Napoleone Buonaparte e di Laplace. In questa occasione Volta fu insignito di

Volta presenta la Pila a Napoleone

medaglia d'oro. Quando poi Napoleone sarà diventato imperatore lo nominerà Senatore del neo-costituito Regno d'Italia (1809) e successivamente lo insignirà del titolo di Conte (1810).

Dopo l'invenzione della Pila, Volta fu preso da molte attività (tra cui la famiglia, infatti si era sposato nel 1794) ed impegni politici che lo distolsero completamente dalla ricerca ed in gran parte dall'insegnamento dal quale si congedò definitivamente nel 1813. Ma prima il governo francese e poi quello austriaco lo nominarono Direttore della Facoltà di Filosofia per non perdere quel personaggio illustre all'università. Nel 1819 si ritirò definitivamente nella casa di campagna a Camnago, dove morì nel 1827.

Nel seguito di questo lavoro farò il panegirico della pila per tutto ciò che ha comportato, paragonabile alla pila di Fermi. Ora propongo alcuni disegni che lo stesso Volta ci presenta nella sua memoria di vari arrangiamenti della sua pila.

Il primo disegno in alto ci presenta una pila a corona di tazze, pila in cui il panno inumidito (per il fatto che facilmente si seccava impedendo il funzionamento dell'apparato) è sostituito da tazze con all'interno il

liquido conduttore di seconda specie. Gli altri disegni sono di *pila a colonna* con qualche tazza.

Particolari dei disegni precedenti

Abbiamo a questo punto un apparato che, detto in modo moderno, fornisce corrente in modo continuo e non più a scintille episodiche. Nasce qui un enorme campo di ricerca che riguarderà correnti, resistenze, potenziali, differenze di potenziale, circuiti, reti, maglie, leggi, Quindi con Oersted si potrà scoprire che il magnetismo è un effetto che può essere prodotto dall'elettricità in moto. E da questo nasceranno asimmetrie che saranno punto di partenza per i lavori di Einstein. Ma anche tutto l'elettromagnetismo, con i lavori di Faraday e Maxwell, con la corrente industriale per illuminazione, con il telegrafo e la radio. E' proprio un intero mondo che cambia ad una data legata alla Rivoluzione Francese ed all'inizio dell'Ottocento. Ma anche gli schemi dell'Illuminismo erano ormai vecchi, si avanza il Romanticismo, una diversa organizzazione sociale, nasce la classe operaia, le fabbriche, il taylorismo, ... E' un'era che si avvicina di più alla nostra e che vede nella pila una sorta di spartiacque.

NOTE

(0) [Nota presente nel testo che sto riportando] Nel XVI secolo Giambattista Porta di Napoli scoprì gli ingrandimenti delle lenti sovrapposte; onde i Lincei attribuirono a lui e non al Galilei l'invenzione del telescopio; però non credette di poter dichiarare la cosa apertamente, ma scrisse: «*qui id recte sciverit accomodare, non parvum nanciscetur secretum*» (Vedi *Giambattista Porta e la filosofia naturale del suo tempo*, Roma 1883 - del prof. G. Rossi).

(1) Iniziamo con il vedere i contributi che si sono avuti nell'ultima parte del Seicento. Intorno al 1633, data del processo a Galileo, e negli anni successivi si sono avuti i contributi di: Giovan Battista Baliani (questioni di idraulica e definizione di massa); Bonaventura Cavalieri (Geometria degli indivisibili, 1632, 1635 e 1643; questioni di ottica, 1647); Benedetto Castelli (questioni di ottica, 1634); Evangelista Torricelli (scoperta del vuoto, 1643; varie quadrature, 1644; moto dei proiettili e questioni di idrodinamica, 1644; centri di gravità, 1646; proprietà di alcune curve, 1647); Vincenzo Viviani (studi sulla pressione atmosferica, 1643); il gesuita Giovanni Battista Riccioli (osservazioni di astronomia, 1650; esperimenti di caduta di corpi, 1651); Pietro Mengoli (studio dei logaritmi naturali, 1659); Gian Alfonso Borelli (leggi dell'urto, 1667; studi di idrodinamica, 1670); Domenico Guglielmini (studi di idrodinamica, 1690); Carlo Rinaldini (determinazione dei punti fissi della scala termometrica, 1694).

Passiamo ora ai contributi avutisi nel Settecento, trascurando l'opera di Boscovich, già discussa, e quella di Beccaria, Galvani e Volta che tratterò separatamente. Invito ad osservare che i nostri scienziati si dedicheranno soprattutto alla matematica (che non pone problemi con il potere), a campi di ricerca nascenti (ancora neutri rispetto al potere), ad invenzioni (che permettono di vendere il prodotto per sopravvivere): Gabriele Manfredi (integrazione delle equazioni differenziali omogenee a due variabili, 1707), Giovanni Poleni (costruzione della calcolatrice a ruota, 1709), Bartolomeo Cristofori (realizzazione del pianoforte, 1709), Giuseppe Tartini (scopre i suoni differenziali, 1714), Gerolamo Saccheri (tenta di dimostrare il postulato delle parallele gettando le basi delle geometrie non euclidee, 1733), Giovanni Ludovico Bianconi (scopre che la velocità di propagazione del suono cresce all'aumentare della temperatura, 1740), Giulio Carlo Fagnano (studia la teoria delle funzioni ellittiche, 1750), Jacopo Riccati (studia le vibrazioni acustiche di membrane e

lamine, 1746), Giovanni Battista Beccaria (del quale parlerò nel testo), Jacopo Bartolomeo Beccari (prime osservazioni degli effetti dell'energia radiante sui fenomeni chimici, 1758), Ruggero Giuseppe Boscovich (del quale ho [ampiamente trattato](#)), Giulio Mozzi del Garbo (dimostra il teorema del moto istantaneo di un sistema rigido, 1763), Tiberio Cavallo (costruisce un elettrometro, 1777), Alessandro Volta (del quale parlerò nel testo), Luigi Galvani (del quale parlerò nel testo), Andrea Cagnoli (studia le relazioni tra un triangolo sferico ed un triangolo piano, 1786), Barnaba Oriani (calcola l'orbita di Urano, 1787), Lorenzo Mascheroni (rivela l'esistenza nelle figure geometriche dei punti memorabili, 1797), Gian Battista Bodoni (stampa un pratico manuale tipografico, 1788), Giovanni Fabroni (scopre che mettendo in acqua due pezzi di differenti metalli, uno dei due si ossida per azione elettrica, 1796), Paolo Ruffini (dimostra in modo ancora non completo, l'impossibilità della soluzione algebrica delle equazioni generali di grado superiore al quarto, 1798; esprime la celebre regola per eseguire la divisione tra polinomi, 1799). La gran parte di questi scienziati ha lavorato in matematica mentre i rimanenti, per la maggior parte hanno dato contributi in settori che si aprivano (essenzialmente elettricità).

(2) In *L'attività scientifica del primo Settecento* [bibliografia n° 3], dice Ugo Baldini:

Mentre il termine «physica», nell'originario senso aristotelico, designava lo studio d'ogni e qualsiasi fenomeno naturale, i fatti idrostatici, ottici, astronomici e in parte cinematici erano stati inseriti fin dal Medioevo nei programmi delle cattedre matematiche. Da queste era invece rimasto distinto ciò che ancora nel Seicento era detto di frequente «physiologia», cioè un complesso tematico che in seguito si scandirà in chimica qualitativa, struttura della materia, fisica dei passaggi di stato: in genere, questioni circa lo stato «interno» dei corpi che, diversamente dalle loro relazioni «esterne», erano sentite come non matematicamente inquadrabili. Questo secondo ordine di problemi era oggetto dei corsi di filosofia naturale, storicamente anteriori a quelli matematici, con status dei docenti più elevato e metodologie prevalentemente logico-ermeneutiche.

(3) A Palermo sorge un laboratorio fisico a livello europeo affidato a Poleni (1739-1740); a Torino esiste già dal 1730 ed a Roma dal 1748. Tutti erano costruiti ad imitazione di quello di Bologna, funzionante dal 1712.

(4) E' di grande interesse sottolineare che una donna, Maria Gaetana Agnesi (1718-1779) entra a pieno titolo nel mondo della matematica ed a livelli di primo piano (è la prima volta che incontriamo una donna atica dopo Ipazia). La sua opera molto apprezzata per la completezza, la chiarezza e l'avanzamento della materia trattata fu tradotta anche in francese ed inglese Paesi che certo non difettavano di produzioni locali e di matematici eccelsi. L'Academie des Sciences di Francia recensì questo libro nel modo seguente: *"Questo libro è caratterizzato dall'accurata organizzazione, dalla chiarezza e dalla precisione. Non c'è nessun altro libro che renda il lettore capace di penetrare così profondamente e così rapidamente i concetti dell'Analisi. Noi consideriamo questo trattato il lavoro del genere più completo e meglio scritto"*. Si complimentò con lei anche Papa Benedetto XIV che le offrì la cattedra di Matematica e Filosofia Naturale presso l'Università di Bologna. L'Agnesi accettò ma non occupò mai quella cattedra. Si occupò invece della direzione dell'appena fondato Pio Albergo Trivulzio a partire dal 1771. Non c'entra molto ma per curiosità ricordo che la Chiesa la dichiarò beata.

(5) E' noto a tutti che la corte dei Savoia era ermeticamente chiusa ad ogni ideale illuminista e ne fecero le spese alcuni illuministi piemontesi. La cosa si aggravò dopo la Rivoluzione Francese ed in Piemonte si instaurò una cupa atmosfera di rigorismo cattolico antiriformista con un gesuitismo diffuso in una società immobile e chiusa. Le aperture che

si ebbero in ambito di ricerca scientifica, nonostante quanto detto, furono dovute alla fama internazionale di personaggi quali Lagrange e Beccaria. L'impronta della ricerca dell'ateneo torinese deriverà proprio dall'impronta di Lagrange (sottomettere la spiegazione fisica ad un procedimento di traduzione dei fenomeni nel formalismo analitico, cioè in una serie di equazioni differenziali dalle quali fosse possibile ricavare le leggi generali del fenomeno). Da notare che vi fu una profonda differenza con la vicina Lombardia asburgica in cui l'egemonia intellettuale era mantenuta dalla classe borghese emergente (imprenditori) che esprimevano esperienze importantissime come quella del gruppo del *Politecnico*.

(6) In realtà un'opera importante sull'argomento era stata pubblicata a Venezia nel 1746, *Dell'elettricità: o sia delle forze elettriche de' corpi svelate dalla fisica sperimentale*. Il fatto straordinario è che questa opera uscì anonima e che ebbe ampia diffusione. In essa si parla dei vari fenomeni elettrostatici, dalla trattazione dell'elettroscopio a palline di sambuco ad un tentativo di teoria delle forze elettriche pensate come trasmissione di *materia elettrica* in una qualche analogia alla *materia del fuoco*.

(7) *Lettera prima del signor Don Alessandro Volta al signor dottore Giuseppe Priestsley* del 2 settembre 1777 pubblicata in *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*, tomo XXXIV, Milano 1777, pag. 65.

(8) *Della uniforme dilatazione dell'aria per ogni grado di calore, cominciando sotto la temperatura del ghiaccio fin sopra quella dell'ebollizione dell'acqua: e di ciò, che sovente fa parer non equabile tal dilatazione, entrando ad accrescer a dismisura il volume dell'aria* - Pubblicato in *Annali di Chimica e Storia Naturale* di L. Brugnatelli, Pavia, tomo IV, 1793, pag. 227 [in bibliografia 15].

(9) *Discorso sopra i vapori recitato nella Grand'aula dell'Università di Pavia* (14 giugno 1804) [in bibliografia 15].

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AA. VV. - *La storia* - Utet, De Agostini, 2004
- 2 - F. Klemm - *Storia della tecnica* - Feltrinelli, 1966
- 3 - AA. VV. - *Storia d'Italia: Annali 3, Scienza e Tecnica* - Einaudi, 1980
- 4 - AA. VV. - *La storia delle scienze* - Bramante, 1989
- 5 - D. Carpanetto, G. Ricuperati - *L'Italia del Settecento* - Società europea di edizioni, 2008
- 6 - AA. VV. - *Arte, Scienza e Cultura in Roma cristiana* - Cappelli, 1971
- 7 - Rinaldo Pitoni - *Storia della fisica* - STEN, Torino 1912
- 8 - Floriano Cajori - *Storia della fisica elementare* - Sandròn, Palermo 1930
- 9 - Mario Gliozzi, Michele Giua - *Storia delle scienze* (Vol. II) - UTET 1965
- 10 - E. Bellone - *Le congetture settecentesche su elettricità e magnetismo* - in *La Scienza* vol. 12, UTET, De Agostini, La Repubblica 2005
- 11 - F. Sebastiani - *I fluidi imponderabili* - Dedalo 1990
- 12 - Associazione Elettrotecnica Italiana (a cura della) - *L'opera di Alessandro Volta nel 1° centenario della morte* - Ulrico Hoepli 1927
- 13 - Salvo D'Agostino - *Introduzione alla scienza dell'Ottocento e Elettricità e magnetismo fino all'introduzione del potenziale* in *Dispense di Storia della Fisica* - Istituto di Fisica Università di Roma (a. a. 1973/1974)
- 14 - Luigi Galvani - *Opere scelte* - UTET 1967
- 15 - Alessandro Volta - *Opere scelte* - UTET 1967
- 16 - <http://ppp.unipv.it/PagesIt/6Dif/6Videoconf/6VideoC.htm>