

School of Science
Department of Physics and Astronomy
Master Degree in Physics

Le origini dell'insegnamento della fisica
sperimentale a Bologna ricostruite
attraverso un'analisi degli autografi di
Jacopo Bartolomeo Beccari

Supervisor:
Prof. Eugenio Bertozzi

Submitted by:
Arianna Penasa

Academic Year 2022/2023

Indice

ABSTRACT	7
Introduzione	9
Metodologia di ricerca	10
1 La Fisica tra XVII e XVIII secolo	13
1.1 Il secolo del genio	13
1.1.1 Galileo Galilei tra moto e magnetismo	17
1.1.2 René Descartes e la teoria dei vortici	22
1.1.3 Un secolo di dibattiti	24
1.1.4 Isaac Newton tra meccanica e ottica	29
1.2 Il secolo dei lumi	37
1.2.1 I primi passi dell'elettrostatica...	40
1.2.2 ...e della termometria	44
1.3 La diffusione del sapere scientifico	48
1.3.1 Il contesto italiano	50
1.3.2 Il contesto europeo	55
2 La nascita dell'Istituto delle Scienze di Bologna	61
2.1 Il contributo di Luigi Ferdinando Marsili	61
2.1.1 Cenni biografici	61
2.1.2 I contatti con l'Europa	64
2.2 Una storia di confronti e compromessi (1685-1714)	70
2.2.1 <i>Instrumentum donationis</i>	81
2.3 Il compimento del progetto marsiliano	91
3 Le prime dimostrazioni scientifiche presso la camera di Fisica dell'Istituto (1714-1721)	103
3.1 Un dialogo tra sperimentatore, strumento e pubblico	104
3.1.1 Jacopo Bartolomeo Beccari	104
3.1.2 Gli apparati sperimentali	109
3.1.3 <i>Cittadini, scolari, artefici, forestieri</i>	110
3.2 Esercitazioni di termometria (1714-1717)	111

3.2.1	Studio della densità dell'aria in funzione della temperatura . .	120
3.2.2	Effetto della temperatura e dell'altitudine sulla pressione atmosferica	123
3.2.3	Altre esperienze concernenti cause e conseguenze di variazioni di temperatura in aria e in acqua	125
3.3	Esperimenti condotti con la pompa pneumatica (1717-1720)	132
3.3.1	Descrizione e funzionamento della <i>macchina Boileana</i>	138
3.3.2	La trasmissione del suono nel vuoto	141
3.3.3	Il fenomeno della combustione nel vuoto	144
3.3.4	Le conseguenze dell'esposizione al vuoto sulla respirazione animale	145
3.3.5	Misura dell'elasticità dell'aria	147
3.4	Esperimenti di magnetismo (1721)	151
3.4.1	Calamite naturali, artificiali e armate	153
3.4.2	<i>Rompere l'attività magnetica?</i>	157
	Conclusioni	161
	Riferimenti	163

Felix qui potuit rerum cognoscere causas.

- Virgilio, Georgiche, II, 490.

Iscrizione proposta da Francesco Maria Zanotti per la stanza di Fisica
dell'Istituto delle Scienze di Bologna.

ABSTRACT

Il presente lavoro di tesi si inserisce in quel filone di ricerca che, inaugurato negli anni Settanta del secolo scorso, mira a fornire un'analisi approfondita dell'attività dell'Istituto delle Scienze di Bologna in età prenapoleonica. Dopo un intensificarsi della ricerca in questo campo nel corso degli anni Novanta l'interesse sembra oggi essere scemato, nonostante vi siano tuttora punti di interesse che rimangono oscuri. Sulla base dello stato dell'arte della fisica a cavallo tra Sei e Settecento - descritto nel primo capitolo - si vogliono nel prosieguo mettere in luce le connessioni e le reciproche influenze (più o meno consapevoli) che hanno prodotto, come risultato, l'avvio del primo corso di fisica sperimentale presso l'Istituto delle Scienze di Bologna sotto la guida di Jacopo Bartolomeo Beccari. È l'anno 1714: tanto si è discusso, in letteratura, a proposito della fondazione dell'Istituto delle Scienze, quanto poco degli anni ad essa immediatamente successivi. Di quali strumenti scientifici disponeva? Come venivano utilizzati e, più in generale, come si articolava il corso? A quale pubblico si rivolgeva? Il terzo capitolo del presente lavoro è dedicato alla discussione di questi punti, con lo scopo ultimo di aggiungere un tassello a quanto già noto a proposito della fisica del Settecento a Bologna. Per fare ciò sarà necessario estendere lo sguardo oltre le Alpi, prendendo in esame la formazione di realtà parallele all'Istituto delle Scienze bolognese. Questo ampliamento dell'orizzonte di indagine ha una duplice valenza: se da un lato è necessario per poter affrontare la domanda di ricerca, dall'altro la ricostruzione stessa del primo corso di fisica sperimentale può fare luce sul contributo del contesto bolognese alla didattica della fisica moderna in Europa.

Come il lettore avrà modo di apprezzare, il successo del presente lavoro di ricerca non è che parziale. La pressoché totale assenza di fonti storiche primarie circa le lezioni tenute da Beccari negli anni 1714-1721 unitamente alla non disponibilità degli strumenti descritti nell'*Instrumentum donationis* di Marsili rende il lavoro di ricostruzione delle prime lezioni di fisica sperimentale in Italia quantomeno complesso. L'obiettivo (più modesto, ma non di minore importanza) che questo lavoro si augura di raggiungere è quello di ravvivare l'interesse per questo capitolo della storia della scienza, suggerendo un contesto di indagine che, anche in ragione della sua natura interdisciplinare, non può essere esaurito dal lavoro di un singolo.

Introduzione

Salvo rare eccezioni, è difficile ricondurre a un evento preciso e databile la nascita di una disciplina, di un settore di ricerca o di insegnamento. Per quanto riguarda Bologna, le radici della fisica di stampo moderno affondano nel Seicento, con gli studi sulla caduta dei gravi dalla Torre degli Asinelli e quelli sulla diffrazione condotti dal gesuita Francesco Maria Grimaldi. Per quanto pertiene all'insegnamento della disciplina, si trova che il celeberrimo Ulisse Aldrovandi presso lo Studio Bolognese già nella seconda metà del Cinquecento teneva lezioni sui *Meteorologica* di Aristotele, in un connubio tra fisica antica, astronomia e scienze naturali che è tipico dell'età rinascimentale.

Ma non è di questo che si occupa la presente tesi. Questo lavoro cerca di stabilire quale sia stato il momento, quali le istituzioni e le personalità che hanno sviluppato l'insegnamento della fisica in termini moderni, utilizzando cioè strumenti, apparati teorici e contenuti propri dell'epoca immediatamente successiva alla rivoluzione scientifica e riconoscibili come attuali. La ricerca condotta ha portato a individuare l'Istituto delle Scienze, la prima donazione di Luigi Ferdinando Marsili e la figura di Jacopo Bartolomeo Beccari come attori e momenti essenziali di questo processo, descritto nelle pagine che seguono.

La ragione della scarsa attenzione dedicata, fino agli Anni Ottanta del secolo scorso, alla scienza italiana del Settecento è, secondo Marta Cavazza [11], dovuta a un errore di valutazione: per lungo tempo essa è stata percepita come giustapposizione di discipline diverse, rispetto alle quali si avvertiva la mancanza di comunicazione e di apertura alle questioni più strettamente filosofiche (quella che potremmo definire *metariflessione*). Gli studi più recenti, tuttavia, concentrandosi su fondi inediti e portando alla luce la corrispondenza privata degli scienziati sono giunti a un ribaltamento del quadro: non è più possibile parlare della scienza settecentesca come di una scienza caratterizzata da una "povertà filosofica", nel momento in cui la ricostruzione del contesto fa emergere con chiarezza origine, significato e diffusione di determinate concezioni. Non si dimentichi che l'Italia era, in quel periodo, ancora fortemente oppressa dalla censura ecclesiastica e non si commetta, dimenticando ciò, l'errore di limitare la propria indagine all'analisi delle fonti pubbliche. Accanto alla necessità della ricostruzione del pensiero scientifico dell'epoca si colloca l'esigenza di indagarne l'attività scientifica nel suo aspetto più strettamente materiale, ovvero con un'attenzione particolare a quelle fonti che gli storici definiscono *non simboliche*, vale a dire non concepite con l'intento di trasmettere un messaggio ai posteri. Nel contesto delle scienze sperimentali, il classico esempio è quello degli strumenti scientifici; per quanto riguarda l'Istituto delle Scienze, rimane ad oggi oscuro l'utilizzo didattico fatto da Jacopo Beccari della collezione di strumenti ceduti da Marsili con la sua prima donazione all'Istituto, datata 1711. Come scrive di nuovo Cavazza [11],

l'interesse nei confronti dell'Istituto bolognese si è concentrato prioritariamente intorno alla ricerca; poco è stato scritto in merito all'attività didattica, probabilmente in ragione del minor numero di fonti a disposizione. Per quanto riguarda gli strumenti scientifici deputati all'insegnamento della fisica, sono ormai andati perduti quelli contenuti nella prima donazione di Marsili, mentre i diversi reperti naturalistici e anatomici, i libri e gli strumenti ancora conservati presso l'Istituto sono stati oggetto di una prima mostra nel 1979, un'esposizione motivata in realtà più dalla volontà di fare sfoggio di una collezione museale che da un reale interesse scientifico per la storia materiale della scienza.

Date le premesse, un lavoro di tesi in fisica è sembrato l'ambiente più opportuno nel quale proporre un'analisi "funzionale" del materiale citato, ricostruendo il contesto didattico e dando nuova vita ad apparati dei quali rimane, oggi, poco più di una sommaria descrizione.

Metodologia di ricerca

Il contributo originale che costituisce il cuore del presente lavoro di tesi è stato il frutto di un lavoro condotto in più fasi e a più riprese.

Il primo passo, comune a qualsivoglia ricerca, è consistito nella documentazione preliminare in merito allo stato dell'arte della disciplina di indagine nel periodo di interesse - in questo caso, della Fisica a inizio Settecento. Oltre che ai contenuti disciplinari, l'attenzione è stata rivolta alla ricostruzione dei contesti di diffusione del sapere, con le loro problematichità; questo ha permesso di meglio affrontare la successiva ricostruzione della costituzione dell'Istituto delle Scienze, luogo nel quale ha preso vita il primo corso di fisica sperimentale italiano. Fino a questo punto, le fonti prese in esame afferiscono alla dimensione pubblica; si tratta per lo più di una revisione della letteratura esistente, revisione che è stata elaborata allo scopo di delineare lo scenario nel quale si sostanziano i contenuti del Capitolo 3.

Già nelle Sezioni e 2.2.1 e 2.3, tuttavia, viene inaugurata quella commistione di fonti storiche che è stata determinante per la stesura del Capitolo 3: emerge infatti, in entrambi i punti segnalati, la necessità di un'integrazione delle informazioni che è possibile ottenere da un'analisi della letteratura precedente con quanto attestato dalle fonti primarie. Un simile confronto è possibile - e risulta efficace - soltanto successivamente alla consultazione delle letterature, in modo tale da poter circoscrivere l'ambito di interesse e aver acquisito una conoscenza dello sfondo tale da poter rendere fruibile la fonte primaria stessa. Quest'ultima risulta tanto preziosa quanto ardua da affrontare: rispetto alla letteratura, infatti, presenta i contenuti di interesse in forma frammentaria. Un'ulteriore difficoltà è raffrontabile sul piano della comprensione e ha una duplice connotazione. Da un lato, le fonti primarie reperibili in archivio sono per la maggior parte manoscritte e, spesso, consistono di bozze o appunti non pensati per una successiva lettura da parte di un pubblico: in altre parole, accade che la grafia risulti in più punti incomprensibile. D'altra parte, la produzione consultata spazia dall'italiano settecentesco al latino e al francese, richiedendo lo sforzo ulteriore di una traduzione. È il caso, ad esempio, delle pagine dell'*Instrumentum donationis* presentate nella Sezione 2.2.1).

La ricerca archivistica ha coinvolto, in totale, tre sedi:

- la BIBLIOTECA UNIVERSITARIA CENTRALE DI BOLOGNA, spesso indicata con l'acronimo B.U.B. e luogo dove è custodito il Fondo Marsili. In concomitanza con l'avvio delle ricerche attorno alla figura di Luigi Ferdinando Marsili è sembrato opportuno operare una prima selezione dei manoscritti contenuti nel *Catalogo* redatto da Lodovico Frati [22], visionando quanti attestavano una connessione all'attività di Marsili come fondatore dell'Istituto delle Scienze e includendo i documenti e le corrispondenze estere che potevano suggerire punti di contatto tra Bologna e i centri di ricerca europei quali Londra o Parigi.
- l'ARCHIVIO DI STATO DI BOLOGNA, a cui si ci riferirà nel seguito con la sigla A.S.B. e del quale si è preso in esame soprattutto il fondo relativo all'Assunteria di Istituto. Questo ha costituito una fonte preziosa per la comprensione dell'attività dell'Istituto, contenendo documenti ufficiali quali *Gli Atti (verbali di congregazione)* e i registri degli argomenti oggetto delle lezioni per gli anni di interesse. Ad arricchire questi ultimi si trovano, sempre come documenti ufficiali, alcune note spesa controfirmate da Beccari e attestanti l'acquisto, da parte dell'Istituto, di apparati utili alla conduzione di esperimenti scientifici.
- l'ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI BOLOGNA, indicata come A.A.S.B. - in quanto si sono consultati i documenti attinenti all'*Antica Accademia*. Si sono rivelati di interesse, relativamente a questo fondo, documenti autografi o comunque riferiti all'attività di Jacopo Bartolomeo Beccari, docente di fisica sperimentale presso l'Istituto delle Scienze negli anni 1714-1734.

Tutti i riferimenti ai manoscritti utili per la redazione del presente lavoro sono citati in forma di nota in calce al testo.

Un'ulteriore categoria di fonti indispensabile per la ricostruzione degli esperimenti presentati da Beccari presso l'Istituto delle Scienze è quella che comprende sia articoli di ricerca pubblicati sui primi periodici di carattere scientifico, sia veri e propri *manuali scientifici* contemporanei o di poco precedenti ai primi anni del Settecento. Come si discuterà nel capitolo dedicato (sezione 1.3.2), alle principali Accademie d'oltralpe erano associate riviste scientifiche atte a informare la nascente comunità scientifica delle scoperte e dell'operato dei propri membri. Contemporaneamente si assiste all'affermarsi di un nuovo genere letterario: la manualistica scientifica, dove il manuale è inteso come un moderno libro di testo scolastico. Per tutto il Medioevo e buona parte dell'Età Moderna, gli studenti universitari affrontavano lo studio delle discipline a partire dalle pubblicazioni d'autore, con il solo supporto del commento orale da parte del docente. Nel corso del Settecento, in concomitanza con l'apertura dell'Università a un insegnamento più prettamente ostensivo e alla crescente importanza del laboratorio, si affermano testi quali le *Leçons de physique expérimentale* dell'abate Nollet (1745) - che, come suggerisce il titolo, hanno carattere più divulgativo e assurgono allo scopo di accompagnare il lettore/studente in un percorso di fisica sperimentale.

In relazione agli anni presi in esame nel presente lavoro non è possibile parlare di manuali scientifici in senso moderno: quelle indagate sono per lo più sintesi dei lavori sperimentali compiuti entro le accademie - è il caso dei *Saggi di naturali esperienze* per l'Accademia del Cimento (1667) - oppure da parte singole personalità - come i

New experiments physico-mechanicall, touching the spring of the air di Robert Boyle (1669).

Una ricostruzione delle reti di corrispondenza e conoscenza che legavano le diverse realtà scientifiche del tempo si rivela indispensabile al fine di poter circoscrivere l'indagine a quei testi che sicuramente erano noti a Beccari e sui quali egli può aver fatto riferimento nella preparazione del proprio corso di fisica.

Capitolo 1

La Fisica tra XVII e XVIII secolo

Quando si discute lo stato dell'arte di una disciplina ci si limita spesso alla descrizione dei risultati ottenuti dalla ricerca in tale campo. Se proporre una fotografia delle conoscenze da un lato e delle domande aperte dall'altro rappresenta un punto di partenza quasi obbligato per qualsiasi lavoro di ricerca, il taglio che vuole assumere la presente tesi richiede di ampliare lo sguardo dalla ricerca (e, quindi, la *costruzione* del sapere scientifico), alla sua *diffusione*, considerando entrambe le dimensioni per come si caratterizzavano a cavallo tra il Sei e il Settecento.

Nel contesto del presente lavoro - e, in realtà, fino alla nascita delle moderne università a inizio Ottocento -, ricerca e didattica riferite a una medesima disciplina sono dimensioni il cui unico punto di incontro è rappresentato dalla condivisione dei contenuti. Vi è (e vi è sempre stato) un divario temporale tra le scoperte della ricerca e i contenuti dell'insegnamento, divario pari al tempo necessario all'accettazione e successiva assimilazione dei nuovi contenuti. A partire dall'Età Moderna, tuttavia, questa distanza è andata via via riducendosi e la didattica ha mutuato dalla ricerca alcuni elementi, primo fra tutti il laboratorio. Il modo di concepire e di fare ricerca in Fisica è infatti cambiato in maniera sostanziale dopo la prima rivoluzione scientifica e, come conseguenza più o meno diretta, è mutata anche la maniera di fare didattica.

1.1 Il secolo del genio

Del Seicento Marcello Malpighi parla, nella sua *Apologia* contro i galenisti [29], come del "secolo il quale, con due guardate fatte con l'occhiale dell'immortal Galileo, ha più scoperto che non hanno speculato tutte le passate migliaia d'anni".

In queste poche righe vengono evidenziati i caratteri salienti della scienza del tempo: dall'individualismo delle scoperte scientifiche, al potere degli apparati scientifici come rivelatori di mondi, fino al crollo di certezze vecchie di millenni alle quali si sono sostituite nuove verità. Verità di fronte alle quali a una prima reazione di disorientamento ha fatto seguito un diffuso sentimento di speranza per l'avvenire, nella forma di una piena fiducia nell'utilità sociale e pratica dei risultati scientifici che si presentava come trasversale alle diverse posizioni filosofiche (era condivisa da galileiani, cartesiani, baconiani).

Il "secolo del genio" è stato un periodo di notevoli sconvolgimenti intellettuali e scientifici, di portata equiparabile soltanto alla scoperta della relatività e dei quanti nel primo Novecento. Il campo della fisica ha subito una profonda trasformazione,

allontanandosi gradualmente dalla visione del mondo aristotelica che aveva prevalso per secoli. Al periodo compreso tra il 1543 e il 1687 gli storici si rivolgono comunemente come al periodo della *Rivoluzione Scientifica*, ovvero un periodo di cambiamento profondo nella maniera di guardare alla natura e ai suoi fenomeni. Galileo Galilei (1564-1642) è indubbiamente uno dei protagonisti di questo processo, insieme ad Isaac Newton (1642-1727). Se dovessimo evidenziare l'elemento di maggiore novità introdotto dalla Rivoluzione, questo sarebbe il passaggio di autorità da Aristotele alla strumentazione scientifica per quanto riguarda ciò che viene ritenuto essere fondato a livello di descrizione della natura: all'epoca dell'*ipse dixit* si sostituisce progressivamente la consapevolezza dell'esistenza di un legame intrinseco tra scienza e tecnologia. Bellone scrive [5]:

«Il telescopio di Galilei [...] fu più importante di ciò che sino ad allora era stato depositato nelle biblioteche e sottomesso ad argomentazione nelle sfere del senso comune e della filosofia naturale: il *Sidereus Nuncius* faceva infatti prevalere i diritti di una nuova fenomenologia sulle virtù di innumerevoli opinioni accreditate da secoli.»

Quello che traspare dalle parole di Bellone è un punto di vista largamente condivisibile, che mette in guardia dalle semplificazioni purtroppo assai diffuse in storiografia: la portata della Rivoluzione scientifica non risiede nel metodo, quanto piuttosto nella legittimazione degli apparati come veicoli di conoscenza. Tra l'occhio nudo, che vede la Luna così come descritta dagli autori classici, e il cannocchiale, che ne mostra invece chiaramente le imperfezioni superficiali, la ragione viene attribuita a quest'ultimo in quanto strumento rivelatore di un mondo nascosto ai nostri sensi ma non per questo surreale - checché ne dicessero la Chiesa o l'opinione comune. L'immagine (profondamente mitizzata) di Galileo come scopritore del 'Metodo Scientifico' ha origini molto probabilmente moderne: i contemporanei guardavano con ammirazione e stupore all'apparato da lui ideato, riconoscendone il ruolo come iniziatore di una nuova epoca per la scienza. L'eco del cannocchiale galileiano riecheggia persino nei componimenti letterari dell'epoca, nei quali lo strumento occupa un posto, se non di maggior rilievo, comunque paritario rispetto al suo ideatore. Citiamo a tal proposito un estratto del Canto X dell'*Adone* di Giambattista Marino, celebre esponente della letteratura barocca. Il poema è datato 1623 e risale dunque a meno di quindici anni dopo la pubblicazione del *Sidereus Nuncius*:

42. *Tempo verrà che senza impedimento
queste sue note ancor fien note e chiare,
 mercé d'un ammirabile stromento
pei cui ciò ch'è lontan, vicino appare;
e con un occhio chiuso e l'altro intento
 specolando ciascun l'orbe lunare,
 scorciar potrà lunghissimi intervalli
per un piccini cannone e duo cristalli.*

43. *Del Telescopio a questa etate ignoto
per te fia, Galileo, l'opra composta,
l'opra ch'al senso altrui, ben che remoto,
fatto molto maggior l'oggetto accosta.*

*Tu solo osservator d'ogni suo moto,
e di qualunque ha in lei parte nascosta,
potrai, senza che vel nulla ne chiuda,
novello Endimion, mirarla ignuda.*

Il telescopio viene definito "ammirabile stromento" e, come risulta chiaro dalla lettura dei versi 43-44, vanta il diritto di precedenza persino rispetto al nome di Galileo.

Un gesto apparentemente semplice come quello di puntare e il suo *perspicillum* verso il cielo ha determinato una profonda e inarrestabile trasformazione della scienza, da quel momento in poi indissolubilmente legata all'impiego di apparati via via più sofisticati ai quali viene riconosciuta piena legittimità. Il percorso, tuttavia, non fu lineare come spesso viene tracciato nei resoconti storici: sebbene oggi obiezioni come quella che a breve verrà riportata facciano sorridere per la loro ingenuità, non era raro, ai tempi delle prime osservazioni con il cannocchiale, che lo strumento venisse demonizzato. Viene a tal proposito spesso citato il nome di Cesare Cremonini (1550-1631), filosofo peripatetico che si sarebbe addirittura rifiutato di guardare attraverso il cannocchiale galileiano - e al quale, secondo alcuni storici, Galileo si sarebbe ispirato per la creazione del personaggio di Simplicio. In realtà, le cose non sembrano essere andate esattamente così. Il nome di Cremonini compare in una lettera in cui vengono riportate le motivazioni che lo spinsero a non voler accettare ciò che aveva scorto nel cannocchiale - ma, con ogni probabilità, egli vi aveva guardato, perché asserisce che «[...] quel mirare per quegli occhiali m'imbalordisco la testa: basta, non ne voglio saper altro.»¹. Per testimoniare il fastidio provocatogli dal cannocchiale, Cremonini deve aver testato lo strumento; si trattava dei primissimi esemplari, ai quali erano associati difetti di aberrazione sferica e cromatica che, distorcendo le immagini, avrebbero effettivamente potuto creare un fastidio in persone particolarmente sensibili.

Rimane il fatto che lo stesso Galileo, in una lettera indirizzata a Johannes Kepler nell'agosto del 1610, denuncia la ritrosia di alcuni docenti dello Studio padovano per quanto riguarda l'osservazione al cannocchiale. Egli scrive: «Che dire dei più celebri filosofi di questo Studio i quali, colmi dell'ostinazione dell'aspide, nonostante più di mille volte io abbia offerto loro la mia disponibilità, non hanno voluto vedere né i pianeti, né la luna, né il cannocchiale?»².

Non era infrequente che le scoperte fatte da Galileo per mezzo del cannocchiale (la presenza di scabrosità sulla superficie lunare, la via Lattea come insieme di stelle, le lune di Giove) venissero imputate proprio ai difetti delle lenti impiegate nella costruzione dello strumento e non riconosciute come *reali* - nel senso di caratteristiche proprie del mondo sensibile.

Al di là delle personalità maggiormente legate alla tradizione classica, gli scienziati contemporanei di Galilei, come anche coloro che ne proseguirono l'operato, erano

¹Gualdo, P., *lettera a G. Galilei, Padova 29 luglio 1611*, in G. Galilei, *Le opere*, cit., 11° vol., lettera 564, p. 165.

²Galilei, G., *Epistola ad Johannem Keplerum, Paduae 19 Augusti 1610*, in Id., *Le opere*, sotto la direzione di A. Favaro, 10° vol., 1934, lettera 379, p. 423.

consapevoli di star assistendo a un punto di rottura rispetto alla tradizione scientifica classico-medievale: ne è la dimostrazione il fatto che molte opere seicentesche contengano, nel titolo, un riferimento diretto alla novità degli argomenti proposti al loro interno. Celeberrima l'*Astronomia Nova di Keplero* (1609), così come anche i galileiani *Discorsi intorno a due nuove scienze* (1632). Di Francis Bacon (1561-1626) è la *New Atlantis* (1626), nella quale viene descritta un'utopica società governata dalla ragione e fondata su una scienza strettamente connessa e votata all'utilità pubblica - mediante l'applicazione tecnologica.

Non è da sottovalutare un contributo che, per quanto proveniente dal campo umanistico, ha influenzato in maniera determinante l'evoluzione del pensiero scientifico, collocando la scienza all'interno della società con un valore e una missione ben precisi: il miglioramento delle condizioni di vita dei cittadini del mondo. Affinché ciò potesse avvenire, Bacon prospettava come inevitabile un'integrazione del sapere teorico e del sapere tecnico, pratico; viene meno, di fatto, la distinzione ancora vigente al tempo tra arti liberali e arti meccaniche, in quanto non vi è sapere che possa definirsi completamente disinteressato. La società ideale immaginata dal filosofo inglese nella propria opera postuma dimora sull'isola di Bensalem, dove gli scienziati vivono separati dal resto della cittadinanza: non intrattengono rapporti con i concittadini, né con gli esponenti del potere politico, e hanno la facoltà di decidere se le loro scoperte scientifiche debbano essere condivise con il resto della popolazione, decisione che deve essere orientata dalla pubblica utilità delle scoperte stesse. Agli scienziati viene dunque riconosciuto un enorme potere, l'altra faccia del quale è rappresentata da una pesante responsabilità. E sempre a loro viene demandato l'ambizioso compito di costruire un sapere comune e totale, enciclopedico.

A questa missione aderirà con grande slancio la scuola dell'Académie des sciences di Parigi, influenzando anche lo stesso Luigi Ferdinando Marsili circa il progetto dell'Istituto delle Scienze. Non è un caso che la prima opera di carattere enciclopedico, l'*Encyclopédie* di Diderot e d'Alembert (1751), abbia visto la luce proprio in territorio francese.

L'idea di rifondare il sapere sulla base di una forte impronta tecnica e con indirizzo tecnologico traspare già dal titolo dell'opera più celebre di Bacon, il *Novum Organum*, che rimanda in maniera diretta a un superamento dell'*Organon* aristotelico. Alla logica aristotelica (basata su sillogismi ed essenzialmente deduttiva), Bacon contrappone il processo dell'induzione, ovvero il pervenire alla conoscenza attraverso l'esperienza sensibile. E, una volta approdati alla conoscenza, è possibile servirsene per esercitare il proprio dominio sul mondo sensibile, piegandolo alle necessità umane: è universalmente noto il motto baconiano "Sapere è potere".

I progetti di Bacon rimasero tali, nel senso che il filosofo inglese non riuscì a dar loro un seguito concreto. Nel 1621 venne infatti accusato e poi condannato per corruzione, e ciò mise fine a ogni possibilità di carriera politico-istituzionale. Come anticipato, sarà proprio l'ambiente scientifico creatosi intorno alle accademie a raccogliere il suo invito e adoperarsi perché la "nuova scienza" risulti di pubblica utilità e si possa costruire un sapere enciclopedico.

Si potrebbe pensare che una simile concezione della scienza sia maturata in un ambiente puramente "accademico", ovvero che incontrasse l'interesse esclusivo delle personalità scientifiche: nulla di più lontano dal reale. Non sono soltanto filosofi o

scienziati a chiedere che la scienza si adoperi per il benessere della società, ma, in molti casi, la richiesta arriva la società stessa. Una società in rapida trasformazione richiede tecnologie e conoscenze nuove, da quelle in campo medico fino a quelle militari. È emblematico in tal senso il ruolo dell'Olanda, che si offre di ospitare Galileo Galilei in seguito alla condanna all'esilio perché convinta che la navigazione a fini commerciali (su cui la nazione stava costruendo un impero) potesse beneficiare largamente dei suoi studi sul moto³.

Per quanto riguarda Bologna, è opinione comune ritenere che una concezione baconiana della scienza attecchì anche perché rappresentò, probabilmente, il solo modo di perseguire la ricerca senza cadere nelle maglie dell'Inquisizione - quasi si trattasse di una scelta obbligata, dunque. Certamente la volontà di non incorrere nella censura ecclesiastica ha avuto il proprio peso e può darsi che sia stato questo il motivo principale, ma non è certamente stato il solo. Si pensi alla prima, grande operazione di ingegneria idrica in Italia: l'enorme dispiegamento di forze e denaro al fine di deviare il corso del fiume Reno è stato motivato da una necessità pratica, e il suo compimento ha determinato l'istituzione della prima cattedra di idrometria in Italia. Non a caso nelle Accademie si ritrovano, accanto a lettori dello Studio bolognese o delle università del continente, molti mecenati, sia nobili che ecclesiastici, attratti dalla nuova scienza chi per curiosità, chi per moda e chi perché nella scienza spera di poter trovare soluzione a problemi di natura pratica. Nell'Istituto delle Scienze voluto e realizzato da Marsili, du Fontenelle dirà di vedere compiuta l'Atlantide di Bacon.

1.1.1 Galileo Galilei tra moto e magnetismo

Di Bacon è contemporaneo Galileo Galilei, sui cui caratteri innovatori per quanto concerne l'approccio alla scienza conviene soffermarsi. Oltre ai contributi nel campo dell'astronomia, condensati all'interno del *Sidereus Nuncius* (1610), Galileo Galilei ha rivoluzionato la fisica del moto.

Avviato dal padre, il mercante fiorentino Vincenzo Galilei, agli studi di medicina, Galilei si convertirà ben presto alla filosofia naturale e alla ricerca in geometria - grazie soprattutto a due incontri, quello con il matematico Ostilio Ricci (1540-1603) e con l'aristocratico Giovanni Francesco Buonamici. Agli studi sul moto Galilei si avviò proprio seguendo un approccio geometrico: le conclusioni a cui arriva nel *De Motu*⁴ sono figlie di un ragionamento tipicamente archimedeo, tramite il quale si arriva alla messa in discussione dei fondamenti della teoria aristotelica - quali la distinzione tra moti naturali e violenti e l'esistenza dei luoghi naturali.

Una parte sostanziale del lavoro galileiano sul moto si è concentrato nel periodo padovano, ovvero il ventennio compreso tra il 1592 e il 1610 e al quale Galilei si riferirà sempre come agli anni più belli della sua vita. A Padova lo scienziato pisano era stato invitato a occupare la cattedra di matematica, mansione che ricoprirà finché non verrà assunto come matematico di corte presso i de' Medici, per volontà di Cosimo II. Risalgono a questo periodo i cosiddetti *Fogli di Padova*, una serie di

³Una precisa misura della longitudine non può derivare soltanto da metodi astronomici: è necessaria una determinazione meccanica.

⁴L'opera è stata scritta, con ogni probabilità, negli ultimi anni che Galileo ha trascorso a Pisa (1589-1592), a più riprese. Ha visto la luce soltanto come opera postuma, pubblicata nel 1687.

manoscritti rinvenuti presso la Biblioteca Nazionale di Firenze negli anni Settanta del secolo scorso; non concepiti per la pubblicazione, contengono la prova del fatto che già nei primi anni del Seicento Galilei si dedicasse agli esperimenti di caduta lungo il piano inclinato. Tra il contesto della scoperta e quello della giustificazione passano trent'anni: la teoria galileiana del moto è infatti esposta in forma compiuta soltanto nell'ultima opera di Galilei, i *Discorsi e Dimostrazioni* (1638). Un lasso di tempo importante, durante il quale è però verosimile che lo scienziato si sia dedicato, più che alla componente di scoperta sperimentale, alla composizione della cornice teorica entro cui inscrivere i risultati ottenuti negli anni padovani e, successivamente, alla maniera di renderli intellegibili a uomini sì colti, ma non necessariamente dotti in matematica o esperti di filosofia naturale. Rispetto al *Dialogo* (1632), nel quale vengono introdotti alcuni elementi della teoria del moto ma senza il supporto delle dimostrazioni matematiche, i *Discorsi* si presentano come un'opera di impianto fortemente derivativo, in cui il punto di partenza è rappresentato da teoremi e corollari e dove l'esperimento (il celebre esperimento di piano inclinato!) completa la trattazione, supportandola.

È in realtà probabile che Galileo abbia compreso le leggi del moto per via innanzitutto sperimentale e abbia ricercato in seguito la relazione matematica che definisce il moto stesso. Dall'analisi della sua corrispondenza con l'amico Paolo Sarpi (1552-1623) emerge come, già nel 1604, Galilei fosse a conoscenza della relazione di proporzionalità diretta tra lo spazio percorso da un corpo che si muove di moto uniformemente accelerato e il quadrato del tempo necessario allo spostamento; ciononostante, non divulga questa informazione (se non all'amico), in quanto convinto della necessità di derivarlo da un principio "totalmente indubitabile da poter porlo per assioma"⁵. Nel tentativo di trovare ragioni a supporto dell'insensatezza di concepire una netta distinzione tra moti naturali e violenti, egli riconosce nella proporzionalità tra lo spazio percorso da un corpo in caduta (o lanciato verso l'alto) e la velocità acquisita (o persa) tale principio, dal quale si dice in grado di derivare la relazione $s \propto t^2$. Si tratta - come egli stesso riconoscerà facendolo ammettere a Salviati nei *Discorsi* - di una fallacia; e, in effetti, nella medesima opera il moto uniformemente accelerato viene definito come *quello che, a partire dalla quiete, in tempi eguali acquista eguali momenti di velocità*.

La relazione di proporzionalità che definisce questa nuova categoria di moti (non concepita nella cornice aristotelica, che ammette solo il moto uniforme) è dunque $v \propto t$. Da questa relazione è in effetti possibile dedurre quella osservabile in laboratorio, ovvero $s \propto t^2$ ⁶.

Come già accennato, è probabile che l'esperimento di piano inclinato sia servito a Galileo per la comprensione del moto uniformemente accelerato e per una sua prima formalizzazione, anziché - come egli stesso vuole far credere al lettore dei *Discorsi* - come mera conferma di una teoria aprioristicamente concepita sulla base dell'idea che la natura nel suo operare segua leggi semplici e che occorra ispirarsi ad essa. Un primo suggerimento in tal senso arriva dall'*incipit* della terza giornata dei Discorsi, in cui Galilei scrive:

«[...] un mobile discendente a partire dalla quiete percorre, in tempi eguali, spazi che ritengono tra di loro la medesima proporzione che hanno i numeri impari

⁵Lettera di Galilei all'amico Paolo Sarpi, datata 16 ottobre 1604.

⁶Per la dimostrazione teorica si vedano i *Discorsi*, pp. 169-174.

1. 32.	
2. 120	
3. 278	+
4. 526	+
5. 824	
6. 1192	—
7. 1620	
8. 2104	

Figura 1.1: Particolare del retro del foglio 107, dai Fogli di Padova.

successivi *ab unitate*».

Questa locuzione, *ab unitate*, rimanda in maniera diretta all'esperimento di piano inclinato che è possibile ricostruire, nella sua essenzialità, dall'analisi del folio 107v - contenuto nei Fogli di Padova e mostrato in figura 1.1).

In questo tipo di esperimento si vanno a individuare gli spazi percorsi da un corpo che procede lungo un piano inclinato in intervalli di tempo uguali e successivi. Nella figura 1.1, colonna di sinistra presenta una successione di numeri che corrispondono ad intervalli temporali e a ciascuno di essi è associato, nella colonna di destra, un valore di distanza percorsa - misurata in punti (equivalenti a circa un millimetro ciascuno). Come è facile verificare, le distanze percorse stanno tra loro come i quadrati dei tempi (al netto degli errori sperimentali).

Nei *Discorsi* interviene spesso la voce di Simplicio, presente anche all'interno del *Dialogo* come portavoce delle visioni aristoteliche. È lui a chiedere che la lunga sequenza di teoremi e corollari relativi al moto uniformemente accelerato venga interrotta, così che possa "fare un poco di disegno" per vederci più chiaro, ed è sempre lui a chiedere se la teoria abbia trovato riscontro nell'esperimento, dando luogo a Galilei - per bocca di Salviati - di esporre il celebre esperimento di piano inclinato, che viene qui narrato come condotto però *ab initio*.

In molti hanno riconosciuto, nel nome di *Simplicio*, il rimando a una persona per l'appunto semplice, non dotata di una spiccata intelligenza. In realtà, da una lettura attenta delle due più celebri opere galileiane si comprende come Simplicio non sia uno sciocco, quanto un fedele portavoce del modo di procedere scolastico, essenzialmente logico, da cui Galilei prende le distanze. Occorre precisare come Galilei nutrisse una sincera stima e una profonda ammirazione per Aristotele scienziato; le sue critiche non erano rivolte tanto a lui, quanto ai seguaci più massificati della scuola aristotelica, con i quali non era possibile un dialogo proficuo in quanto legati all'*ipse dixit* e restii ad accettare l'idea di una conoscenza in divenire.

I *Discorsi* contengono un ulteriore elemento di novità per quanto concerne la teoria del moto. Dopo aver enunciato le leggi del moto uniforme e del moto uniformemente accelerato nella Terza Giornata, Galilei dedica la Quarta alla trattazione del moto parabolico, descritto come combinazione dei due moti precedentemente esposti. L'aver superato l'idea che esistano soltanto moti naturali e moti violenti permette infatti di concepire una combinazione tra il moto uniforme e quello uniformemente accelerato, sulla scia di un'intuizione che apparteneva a Guidobaldo del Monte (1545-1607). Secondo Bellone [5], Galileo sarebbe arrivato a concepire il moto parabolico già tra il 1605 e il 1609.

A livello di struttura, nei *Discorsi* si assiste all'alternarsi della prosa latina tipica dei trattati di argomento scientifico e del dialogo, attraverso il quale si propone al lettore un commento dei teoremi e corollari enunciati, quando non delle vere e proprie dimostrazioni. Nella finzione letteraria, durante la Terza e la Quarta Giornata (quelle dedicate alla teoria del moto) Salviati, Sagredo e Simplicio si ritrovano a leggere un manoscritto la cui paternità viene attribuita a un ignoto 'Accademico Linceo', che è in realtà il Galileo autore del *De motu*.

Oltre al moto accelerato, nel quadro cinematico aristotelico non poteva essere ammesso il principio di inerzia, esposto da Galileo nel *Dialogo*: esso elimina ogni distinzione tra lo stato di quiete e quello di moto uniforme, che per Aristotele costituiscono invece due casi ben distinti. Ma la pagina più celebre del *Dialogo* galileiano è certamente quella in cui viene formulato il principio di relatività, riconosciuta come uno dei massimi esempi della neonata prosa scientifica, un genere letterario che si pone agli antipodi rispetto all'ampollosità barocca propria dei letterati contemporanei di Galilei. Pur nella linearità del ragionamento e concisione con cui vengono esposti fenomeni ed esperimenti, Galileo non si risparmia nella ricerca di tecniche espressive e figure evocative, che, in combinazione con la scelta del volgare sul latino scientifico allora ancora in uso in ambienti quali le università, fanno del *Dialogo* soprattutto una tra le prime opere concepite per la divulgazione scientifica. Lo stesso principio di relatività, che oggi i libri di testo esauriscono in un periodo, occupa in realtà un'intera pagina del *Dialogo*: non si tratta di ridondanza, ma di un'esposizione che si prende il tempo, lo spazio e le immagini per poter essere compresa da un pubblico di non specialisti, che di fronte all'affermazione "le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali" rimangono (comprensibilmente) spaesati.

Per concludere la parentesi sul contributo di Galileo Galilei alla Rivoluzione scientifica del Seicento sembra opportuno approfondire una consapevolezza di fondo che, dopo Galileo, non ha più abbandonato la Fisica: quella della distanza che separa il mondo sensibile e il mondo di carta, unitamente alla capacità di *riconoscere in concreto gli effetti dimostrati in astratto*, eliminando gli *impedimenti della materia*⁷. Galileo riconosce che due corpi di massa differente, lasciati cadere dalla medesima altezza, non toccano il suolo esattamente nel medesimo istante; ma, a differenza di Aristotele, è in grado di capire che ciò non implica una dipendenza della velocità di caduta dal peso del grave. In condizioni ideali, tutti i corpi cadono con la medesima velocità; nel mondo sensibile, tuttavia, vi è *l'impedimento dell'aria*, al quale viene imputata l'impossibilità di osservare la piena simultaneità nella caduta. Di fronte all'esito di un esperimento, sostiene Galilei, è opportuno capire le ragioni per le quali il risultato atteso non viene osservato in maniera pulita. Nel caso dei moti di caduta,

⁷*Dialogo*, pp. 233-234.

la ragione è da ricercarsi appunto nella resistenza dell'aria. Mentre la cornice teorica aristotelica prevede una differenza nei tempi di arrivo che dipende dalla differenza di peso dei gravi, la differenza nei tempi di arrivo che pur si registra secondo Galileo compiendo l'esperimento è considerata un accidente.

In altre parole, Galileo ha introdotto nella scienza la *modellizzazione*. Fornire un modello della realtà (o di un fenomeno quale la caduta dei gravi) significa concepire una sua rappresentazione in grado di isolarne i tratti salienti, così da renderla trattabile matematicamente.

Gli strumenti matematici a disposizione di Galilei, lo ricordiamo, non comprendevano né il calcolo integrale, né il concetto di funzione: ogni legge doveva essere derivata come rapporto tra grandezze omogenee, secondo proporzioni - in un linguaggio mutuato dalla geometria di origine greca. La teoria delle proporzioni è infatti esposta da Euclide nei suoi *Elementi*, un'opera risalente al 300 a.C. circa. Sebbene il matematico greco se ne serva per confrontare tra loro in maniera quantitativa oggetti strettamente geometrici (come segmenti, figure piane, e così via), Galilei ne estende il campo di applicazione al confronto tra grandezze fisiche - purché omogenee tra loro. Così, nell'universo galileiano il moto uniforme non viene definito come il moto di un corpo che procede a velocità costante ($v = \text{cost.}$), bensì come *quello in cui gli spazi percorsi da un mobile in tempi eguali, comunque presi, risultano tra di loro eguali* - che, tradotto nel linguaggio matematico, restituisce la proporzione

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

Non ha senso confrontare tra loro le velocità (e arrivare alla moderna formulazione $v = \text{cost.}$), perché la teoria delle proporzioni non ammette un confronto tra grandezze non omogenee.

Prima di chiudere la sezione dedicata al contributo di Galileo Galilei alla costituzione della scienza moderna è conveniente aprire una parentesi su alcuni studi a cui lo scienziato pisano si dedicò collateralmente rispetto alle indagini di astronomia e di meccanica.

Dopo la messa a punto del cannocchiale che gli permise le straordinarie osservazioni narrate nel *Sidereus Nuncius*, Galilei si dedicò alla realizzazione di un apparato che spalancò le porte alla moderna biologia: il microscopio. Questo è il nome coniato dagli accademici Lincei dopo che lo stesso Galileo aveva fatto dono di uno dei primi esemplari al fondatore dell'Accademia, Federico Cesi (1585-1630). Regalo quanto mai gradito, in quanto Cesi era soprattutto un biologo e tramite questo strumento (al quale Galileo si riferisce con i termini di *occhialino* o *cannoncino*) avrebbe potuto *veder da vicino le cose minime [...] e contemplare infinitamente la grandezza della natura* [20]. Lo stesso Galilei aveva testato lo strumento nell'osservazione di alcuni insetti, dalla *pulce orribilissima alla bellissima tignuola*.

Galilei si occupò anche di magnetismo, seppur in maniera prettamente fenomenologica: si servì delle magnetiti reperite sull'isola d'Elba in studi volti a quantificare la loro capacità di attrazione del ferro. Con ogni probabilità, il suo interesse in tal senso è motivato dalla pubblicazione, nel 1600, del *De magnete* di William Gilbert

(1544-1603), il trattato che ha dato avvio agli studi moderni circa i fenomeni magnetici - anticipando una loro probabile correlazione ai fenomeni elettrici. In realtà anche Giovanfrancesco Sagredo, amico molto caro dello scienziato pisano, concentrò i propri interessi di ricerca intorno alla termometria e al magnetismo; può darsi che il dialogo con colui che Galileo non esita a definire il suo “idolo” abbia spalancato le porte all’interesse per questo campo della fisica.

Pare che, tra il 1600 e il 1609, Galilei discorresse spesso, via corrispondenza privata, con Sagredo e Paolo Sarpi circa i fenomeni magnetici, sempre in riferimento al *De magnete* - che tutti e tre avevano letto con attenzione. Presso il Museo Galileo di Firenze sono conservate diverse calamite armate risalenti proprio al primo decennio del Seicento, tra cui una donata da Galileo a Ferdinando II de’ Medici che - secondo la testimonianza di Benedetto Castelli - era in grado di tenere sospese *quindici libbre di ferro, lavorato in forma di sepolcro* [23].

Alcuni accenni al tema del magnetismo (sempre con riferimento all’opera di Gilbert) si ritrovano anche nel *Dialogo*; pur riconoscendo le potenzialità del trattato, tuttavia, Galilei rimprovera a Gilbert l’assenza di una trattazione matematico-geometrica.

Il medico e fisico britannico è ricordato come pioniere degli studi sistematici nel campo del magnetismo. Il titolo completo dell’opera, *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* (*Sul magnete, i corpi magnetici, e sulla Terra, grande magnete*), contiene già l’idea cardine attorno cui ruota l’opera, organizzata in sei libri. La Terra viene modellizzata come un grande magnete e l’effetto del campo magnetico che essa produce studiato servendosi di un piccolo magnete: si arriva così a capire la ragione per cui gli aghi delle bussole (in uso almeno dal XIII Secolo) puntano verso il Nord. Molti degli esperimenti descritti all’interno del trattato sono condotti utilizzando quella che viene definita *terrella*, ovvero una calamita di forma sferica che vuole essere un modello di pianeta Terra. Secondo Gilbert, la forza che mantiene in orbita i pianeti è essa stessa di stampo magnetico; questa filosofia magnetica troverà largo seguito negli anni successivi alla pubblicazione del *De magnete*.

1.1.2 René Descartes e la teoria dei vortici

Sugli studi relativi al magnetismo si tornerà più avanti, nel Capitolo 3.4. Risulta tuttavia introdurre in questa sede il contributo portato da un altro protagonista della Rivoluzione scientifica, René Descartes (1596-1650). Nonostante venga ricordato primariamente come filosofo, già in giovane età Descartes si diceva convinto di poter fondare “una scienza del tutto nuova”. Di fisica il matematico e filosofo francese discorre nell’opera intitolata *Le monde ou traité de la lumière*, concepita per la pubblicazione ma edita soltanto postuma e in forma incompleta nel 1662. Nel 1633, l’autore si rifiutò infatti di darla alle stampe per paura di andare incontro al medesimo destino subito da Galilei in quello stesso anno.

Sul piano dell’approccio alla spiegazione dei fenomeni naturali, Descartes si pone agli antipodi rispetto a Galilei, al quale non risparmia critiche - ma dal quale ne riceverà anche. Se, da un lato, nell’opinione di Descartes Galilei ha trascurato la ricerca delle cause prime dei fenomeni, preferendo concentrarsi nell’analisi minuziosa di casi particolari, dal canto proprio Galilei ignora quasi completamente l’operato di Descartes, che godette invece di vasto consenso nell’ambito scientifico - almeno fino all’avvento di Newton. Le ragioni di un tale successo risiedono, con ogni

probabilità, nella non necessità di un apparato matematico per rendere conto dei fenomeni naturali, che vengono ricondotti alle loro cause prime sulla base di ragionamenti filosofici. E la fisica di Descartes abbraccia l'interno Universo, restituendo l'immagine - rassicuratrice - di un mondo che funziona alla stregua di un grande orologio, in cui ogni ingranaggio ha un ruolo definito e un funzionamento che può essere compreso con facilità. Giunge così alla sua massima espressione la concezione meccanicista del mondo, che perdurerà come modello di riferimento fino all'avvento della termodinamica.

Ma l'idea che, più di ogni altra, ha influenzato il pensiero dei fisici almeno fino alla metà del Settecento è quella dei vortici cartesiani, un elaborato modello tramite cui il pensatore ha tentato di fornire una spiegazione al moto dei pianeti - e, primariamente, al moto di rivoluzione terrestre. Come anticipato, Descartes non era un matematico: nel trattare la realtà fisica opera per riduzione, individuando nel movimento e nell'estensione i caratteri nei cui termini è possibile una descrizione del reale (la *res extensa*). Da questo intuimmo che egli non era nemmeno un materialista - non nell'accezione più comune del termine: non ammette infatti la materia tra gli elementi costituenti la *res extensa*. Come spiega in un passaggio delle sue *Meditazioni Metafisiche* (1641), se la materia fosse l'elemento ultimo della realtà non sarebbe possibile conoscere alcunché: essa infatti è mutevole, come dimostra l'esempio della candela di cera che muta in forma, consistenza e colore una volta consumata. La materia non è considerata dunque elemento fondante la realtà, ma è contenuta all'interno della proprietà astratta che è l'estensione. L'estensione definisce l'esistenza della materia; non a caso di parla di *res extensa*: per esistere, un corpo deve possedere l'estensione. Gli attributi dell'estensione si estendono alla materia, in quanto la prima è una sorta di contenitore per la seconda (i corpi sono cioè le "porzioni" in cui l'estensione si suddivide); tra questi attributi figurano l'infinità, la divisibilità (che porta a negare l'esistenza dell'atomo come entità indivisibile), l'omogeneità (da cui discende la negazione del vuoto).

Nell'elaborazione della sua teoria dei vortici, Descartes prende le mosse da una presa di posizione che oggi sappiamo essere errata: l'idea che le forze tra i corpi si possano esercitare solo e soltanto mediante un contatto fisico diretto. Questo lo porterà a negare l'esistenza di una forza gravitazionale e ad elaborare, in sostituzione, una teoria che avrà grande successo soprattutto sul suolo francese e alla quale egli arriva a partire dalla necessità di spiegare il moto dei pianeti intorno al Sole conciliandolo con l'idea che ogni corpo non possa che muoversi di moto rettilineo uniforme. La teoria dei vortici di Descartes è, in ultima analisi, una teoria inerente il funzionamento del sistema solare, per il quale il filosofo francese aveva a disposizione e conosceva bene due modelli: quello copernicano (poi rivisto da Galilei, il cui contributo viene in questo caso da Descartes lodato) e quello di Keplero, che Galilei diffamava - e Descartes con lui. Per entrambi, la teoria di Keplero non pertiene al campo della fisica ma a quello della *magia*, in quanto si fonda sull'esistenza di un'azione a distanza nel vuoto. Dunque Descartes riprende il modello galileiano, tentando di fornirne una spiegazione in termini dinamici alternativa a quella kepleriana.

Il punto di partenza è rappresentato dal principio di inerzia, in accordo al quale tutti i corpi - e, dunque, anche i pianeti - sarebbero dotati di una certa quantità di moto che rimane costante nel tempo. In secondo luogo viene postulata l'esistenza dell'etere, ovvero un fluido che riempie lo spazio tra i pianeti, oltre l'atmosfera terrestre. Si

tratta, in questo caso, di una ripresa diretta di una concezione aristotelica. Il moto rettilineo dei pianeti esiste *in principio*; nella pratica, essi si muovono nell'etere e proprio dall'attrito, ovvero dal contatto con l'etere, derivano le deviazioni rispetto al moto rettilineo uniforme. La resistenza opposta dall'etere al moto della Terra, ad esempio, risulta nella rotazione del pianeta su se stesso e nella produzione di un vortice d'etere.

In un modello simile viene giustificata la centralità del Sole, che si sapeva caratterizzato da una massa di molto superiore a quella di ciascun pianeta: proprio in ragione di questa sua caratteristica, esso genera un vortice d'etere di gran lunga più “potente” rispetto a quello generato dai singoli pianeti, che finiscono per essere imprigionati in questo vortice, di ampiezza pari a quella del sistema solare, e costretti a ruotare non solo su se stessi (il che spiega il moto dei satelliti), ma anche intorno al Sole.

1.1.3 Un secolo di dibattiti

In un'epoca in cui non erano ancora diffusi i periodici, né era prassi la stesura di articoli attestanti i risultati delle proprie ricerche, la comunicazione delle scoperte scientifiche avveniva per mezzo della (spesso lenta) corrispondenza privata tra gli scienziati. L'unica alternativa era rappresentata dalla stesura di opere monografiche, che richiedevano però molto tempo sia per la compilazione che per la successiva diffusione, con il rischio della perdita di paternità di un'osservazione compiuta o di una legge fisica scoperta.

Di particolare interesse nei primi anni del secolo è la corrispondenza tra Galileo Galilei e Johannes Kepler (1571-1630), contemporanei e uniti da un sincero e profondo interesse per l'astronomia. Negli anni delle prime osservazioni celesti di Galilei, anche Kepler si dota di un telescopio; in realtà, sull'esempio del matematico pisano sono sempre di più le personalità che si interessano di osservazioni astronomiche, tanto che alla sfida posta dai limiti dei primi strumenti si aggiunge la lotta per difendere la paternità delle osservazioni. Con ogni probabilità, è quest'ultimo il motivo che spinge Galilei a mettersi in contatto con Kepler, tramite la persona di Giuliano de' Medici - allora ambasciatore del Granducato di Toscana presso l'imperatore di Praga Rodolfo II (alla cui corte Keplero lavorava come matematico). Sono due, in particolare, le scoperte che Galileo comunica a Kepler, la prima nella forma di una sequenza di 37 lettere da anagrammare e la seconda come frase di senso compiuto che, di nuovo, necessita di essere anagrammata per restituire il soggetto dell'osservazione: la scoperta dei “satelliti” di Saturno (che verranno solo successivamente identificati come i suoi anelli) e delle fasi di Venere. Nonostante la proverbiale abilità di Kepler nella risoluzione degli anagrammi, egli non riuscì a cogliere il senso di nessuno dei due, travisandone il significato in maniera curiosa: l'interpretazione degli anagrammi galileiani fatta dall'astronomo tedesco anticiperà infatti due scoperte di molto posteriori: l'osservazione dei satelliti di Giove e delle macchie sulla sua superficie.

Nonostante ne abbia beneficiato di sovente, Galileo non è stato il solo scienziato ad aver fatto ricorso alla tecnica degli anagrammi. Robert Hooke (1635-1703), al quale è associata la celebre legge omonima per la forza elastica, comunicò la sua scoperta nella forma di una stringa di quattordici caratteri in ordine alfabetico:

“eiiinosssttuv”, che, anagrammata opportunamente, restituisce la frase latina “ut tensio, sic vis” (tale la tensione, così la forza). Lo stesso Christiaan Huygens (1629-1695), dopo aver osservato gli anelli di Saturno nel 1665 grazie a un telescopio di sua costruzione, decise di rivelare solo parzialmente la scoperta, celandola nella forma di una sequenza di lettere che, propriamente riarrangiate, avrebbero dovuto restituire “Anulo cingitur tenui, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato” - ovvero, “Un sottile anello lo circonda senza toccarlo, inclinato rispetto all’eclittica”.

Il contributo di Keplero alla scienza del Seicento va ben oltre la corrispondenza con Galilei. Il suo nome viene oggi collegato primariamente alle celebri leggi che regolano il moto di rivoluzione dei pianeti intorno al Sole, due delle quali sono contenute nell’*Astronomia Nova* (1609) mentre la terza, quella che stabilisce il rapporto tra la distanza di un pianeta dal Sole e il suo periodo di rivoluzione, figura in un’opera meno celebre, dal titolo *Harmonices Mundi* (1619). Nonostante l’astronomo fosse ancora molto legato alla tradizione classica, egli riesce infine ad abbandonare l’idea delle orbite circolari in favore di orbite ellittiche, basando il proprio modello di universo su tre principi cardine: a livello teorico, si fonda sull’eliocentrismo copernicano e accoglie la filosofia magnetica promossa da Gilbert, mentre, sul piano sperimentale, può beneficiare dell’enorme mole di dati raccolti dall’astronomo danese Tycho Brahe - che aveva conosciuto alla corte dell’Imperatore Federico II nel 1600.

Fra i protagonisti della Rivoluzione Scientifica meritano una menzione anche Robert Boyle (1627-1691) e Francis Hauksbee (1660-1713), personalità strettamente collegate a quella dello scienziato inglese Isaac Newton (1642-1727). Parlare dello stato dell’arte della Fisica di inizio Settecento significa, di fatto, ripercorrere il contributo di quest’ultimo per quanto concerne i campi della meccanica e dell’ottica. La fama di Hauksbee è legata quasi interamente alla sua opera, *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects*, che, edita nel 1709, presenta in maniera ordinata e dettagliata gli esperimenti da lui condotti soprattutto nel campo dell’elettricità. Vi figurano anche discussioni intorno alla rarefazione e condensazione dell’aria, che riprenderemo nel corpo di questo lavoro in quanto potrebbero aver costituito lo spunto da cui Beccari ha attinto per l’organizzazione delle sue lezioni di termometria presso l’Istituto delle Scienze bolognese nel triennio 1714-1717. Hauksbee conosceva personalmente Newton, del quale fu assistente e dal quale venne successivamente nominato dimostratore presso la Royal Society londinese.

Anche Boyle conobbe personalmente Newton, nel 1673. Di nuovo, a legare i due scienziati è la comune appartenenza alla Royal Society inglese. La notorietà dello scienziato irlandese, il cui contributo abbraccia una vasta gamma di discipline, per quanto concerne la fisica è legata soprattutto agli esperimenti condotti con uno degli apparati divenuti simbolo del XVIII secolo: la pompa pneumatica, ideata da Otto von Guericke (1602-1686) nel 1650 e da Boyle perfezionata e impiegata nello studio delle proprietà dell’aria. La prima descrizione di una pompa a vuoto⁸ compare nei *New Experiments physico-mechanical touching the spring of the air and its effects* (1660). Nel campo della pneumatica, Boyle si avvale della collaborazione di Robert Hooke (1635-1703); in una sorta di passaggio di testimone, Hooke ne continuerà gli studi in merito alla luce e ai colori, sostenendo la teoria ondulatoria e rifiutando dunque il modello newtoniano.

⁸Si veda il Capitolo 3.3 per un approfondimento in merito.

Più che alla macchina pneumatica o agli esperimenti di combustione e calcinazione, oggi il nome di Boyle è legato all'omonima legge che, enunciata nel 1661, attesta l'esistenza di una relazione di proporzionalità inversa tra la pressione e il volume di un gas ideale mantenuto a temperatura costante. Questo contributo è interessante non tanto in sé, quanto se considerato entro una più ampia prospettiva. A differenza di Aristotele (e della tradizione aristotelica), Boyle non parla di *qualità* dei corpi, ma stabilisce che una loro caratterizzazione fisica debba dipendere da proprietà misurabili (quali sono pressione, volume e temperatura). L'approccio dello scienziato irlandese alla materia è corpuscolare: se analizzato a livello microscopico, ogni corpo si compone di particelle tra loro identiche. Questo segna un primo distacco da Aristotele, per cui la materia era invece un *continuum*. Inoltre, gli elementi presenti in natura non sono soltanto i quattro postulati da Aristotele, ma molti di più: questa è la conclusione a cui lo scienziato giunge nella sua opera intitolata *The Sceptical Chymist: or Chymico-Physical Doubts & Paradoxes* (1661), giustificando da un punto di vista sperimentale la propria presa di posizione. Boyle eleva la chimica a scienza indipendente dalla fisica e dall'alchimia (alla quale è rivolta buona parte dell'umorismo contenuto nel testo) e invita chiunque pratici la disciplina a progettare ed eseguire esperimenti sui cui esiti basare le proprie conclusioni: sono proprio gli esperimenti a dimostrare l'infondatezza dell'idea aristotelica dei quattro elementi.

Come spesso accade ed è bene precisare, i contributi sopra menzionati non sono pienamente originali: il pensiero di Boyle si collega all'atomismo democriteo ed è influenzato, in maniera diretta, da quello di Pierre Gassendi (1592-1655) e René Descartes. È piuttosto comune l'idea che a contrapporre Boyle a Descartes sia la diversa presa di posizione rispetto a un argomento di interesse crescente nel Seicento: l'esistenza del vuoto, che Descartes rigetta ma che Boyle sosterrrebbe. Si tratta, in realtà, di una semplificazione eccessiva di quello che è il pensiero boyliano. Nella disputa tra i cosiddetti "plenisti" e "vacuisti", infatti, Boyle occupò sempre una posizione piuttosto vaga: da un lato afferma che *se per vuoto noi intendiamo uno spazio perfettamente privo di qualsiasi sostanza corporea, si può sostenere, in modo abbastanza plausibile, che non esista una cosa simile al mondo* ma, dall'altro, è ben consapevole di come la rarefazione dell'aria ottenuta mediante la pompa pneumatica non corrisponde a un reale vuoto; ne imputa la causa ai limiti tecnici dell'apparato (e non all'inesistenza del vuoto). Occorre a questo punto avanzare una precisazione: il vuoto a cui pensa Boyle non è il vuoto per come lo concepiamo oggi, ma semplicemente uno spazio privo di aria (in cui vi può essere però materia). Gli esperimenti condotti da Boyle e Hooke con la macchina pneumatica non avevano lo scopo di dimostrare l'esistenza di vuoto, ma di studiare le proprietà dell'aria: in particolare, il peso e l'elasticità.

Al dibattito circa l'esistenza o meno del vuoto, a partire dalla seconda metà del Seicento se ne affianca uno inerente la natura della luce. I fenomeni che coinvolgono la luce e la visione sono stati oggetto di studio sin dall'antichità, ma è in questo periodo che filosofi e fisici iniziano a interrogarsi circa la natura della luce. È celebre lo studio sperimentale sulla rifrazione descritto da Tolomeo nel V Libro dell'*Ottica*, un trattato che è giunto sino a noi in forma incompleta e risale al II secolo a.C. Con i limitati strumenti matematici a sua disposizione, Tolomeo non giunge alla formulazione di una legge di rifrazione, ma ordina in una tabella i dati sperimentali

raccolti; da questi è possibile ricavare una forma approssimativa di quella che è nota come la legge di Snell-Cartésio. Oggi sappiamo che il rapporto tra ai seni degli angoli di incidenza e di rifrazione è costante, mentre dai dati di Tolomeo emerge come costante il rapporto tra gli angoli. Nell'approssimazione di piccoli angoli si tratta comunque di una buona legge.

Ma è con la *Dioptrique* di Descartes che il dibattito circa la costituzione della luce entra nel vivo: per il filosofo - che, come si è visto, costruisce la fisica sulla base di ipotesi a priori e deduzioni conseguenti da tale sistema di assiomi -, la luce è, essenzialmente, movimento (e non materia). Come già ricordato, per il filosofo francese la materia non è l'elemento costituente la realtà fisica; lo sono il movimento e l'estensione. Per essere più precisi, la luce viene concepita come tendenza al movimento e la sua trasmissione come causata dalla collisione tra le particelle che riempiono lo spazio interplanetario e quelle costituenti invece i pianeti (e i corpi al loro interno). Si tratta di una trasmissione che avviene in linea retta, lungo i raggi luminosi, e che è istantanea - come istantanea è la propagazione del moto da un'estremità di una bastone che viene agitato all'estremità opposta⁹. Il paragone proposto da Descartes è quello tra il procedere luce e il movimento di un uomo cieco, che procede con l'ausilio di un bastone: come quest'ultimo si fa strada nel mondo grazie alla "pressione" trasferita dagli ostacoli lungo il suo cammino attraverso il bastone e fino alla sua mano, così ciascuno di noi può vedere grazie alla "pressione" trasferita dalle sorgenti luminose ai nostri occhi.

Adottare un simile modello per la caratterizzazione della luce rende piuttosto difficoltosa la spiegazione del fenomeno di rifrazione, per il quale Descartes ricorre a un'analogia meccanica. Nonostante analogie di questo tipo fossero comuni nel Seicento, appare quantomeno sospetto che Descartes vi ricorra dopo aver chiarito che la luce non ha natura corpuscolare: non sono infondate le critiche che verranno mosse alla sua teoria dell'ottica da parte di Fermat, il quale accusa il filosofo di aver costruito ipotesi *ad hoc* e aver lavorato attraverso paralogismi per descrivere la rifrazione in termini del suo modello di luce, piuttosto che averne fornita una reale dimostrazione. Alla critica circa il ricorso a un'analogia meccanica Descartes risponderà sostenendo che la luce, in quanto tendenza al moto, segue le stesse leggi del moto che valgono per i corpi materiali. La giustificazione non convince Fermat, che pone all'attenzione di Descartes la distanza che intercorre tra la potenza e l'atto¹⁰. Tra i due pensatori si accenderà un vero e proprio dibattito, che non avrà soluzione e non terminerà nemmeno con la morte di Descartes (1650): fino al 1662, infatti, Fermat lavorerà allo smantellamento della teoria ottica cartesiana [18]. In quell'anno vedranno la luce due trattati in cui il matematico presenta invece un proprio contributo originale sul tema, l'*Analyse pour les réfraction* e la *Synthèse pour les réfractions*. Nel campo dell'ottica, Fermat è ricordato (oltre che per l'accusa critica al sistema cartesiano) come il padre del principio di minima azione: per raggiungere, partendo da una sorgente, un osservatore, la luce percorre il cammino che richiede il minor tempo. Nonostante l'iniziale scetticismo della comunità scientifica nei confronti di un principio che sembrava avere poco di fisico, nello sviluppo proposto nel

⁹L'analogia con il bastone è dello stesso Descartes e contenuta in *Dioptrique*, V, cap. I, p. 6, in *Oeuvres de Descartes*, Paris, Levrault, 1824.

¹⁰*Oeuvres de Pierre Fermat. La théorie des nombres*. Textes traduits par Paul Tannery. Paris, Librairie Albert Blanchard, 1999. [Rasmussen, 1989], II, 109.

alla dinamica del proiettile materiale e, di conseguenza, la luce acquista velocità (o, per dirla con le sue parole¹², trova “passaggio più facile”) quando entra in un mezzo più denso. Il *passaggio più facile*, spiega il pensatore francese, è imputabile alla struttura interna del mezzo: una maggiore densità corrisponde a un maggior numero di particelle costituenti, che sono più strettamente legate tra loro. Tornando all’analogia con la palla da tennis, occorre immaginare che nel punto B sia collocato un secondo giocatore il quale, non appena la pallina colpisce la rete/acqua, le imprime una spinta verso il basso così da deviare la sua traiettoria verso la normale alla superficie di separazione tra i due mezzi a diversa densità. Proprio come una pallina da tennis perde meno velocità se fatta rimbalzare contro una superficie dura rispetto a un tappeto, così la luce ha velocità maggiore se trasmessa in un mezzo a densità maggiore. In termini moderni diremo che tra la relazione tra la velocità di trasmissione della luce in un mezzo e la densità del mezzo stesso è di proporzionalità diretta. Una volta ammessa tale proporzionalità, le basi per la derivazione matematica della legge della rifrazione sono poste.

1.1.4 Isaac Newton tra meccanica e ottica

Non è però questo il luogo per una discussione approfondita in merito alla derivazione della legge di rifrazione. Una descrizione accurata del modello cartesiano risulta d’altra parte di grande utilità per l’introduzione del contributo apportato alla fisica sei-settecentesca da Isaac Newton. La fama dello scienziato inglese ruota attorno alle due sole opere che ha dato alla stampa: i *Philosophiae naturalis principia mathematica* del 1687 e l’*Opticks* del 1704.

La sua teoria circa la propagazione della luce, insieme al posizionamento rispetto al dibattito inerente la sua natura, è contenuta nell’*Opticks*. È interessante notare come quest’opera, rispetto ai più celebri *Principia*, vanti una diffusione maggiore: Newton ne autorizzò infatti una traduzione prima latina (1706) e successivamente francese (1720). I contenuti del trattato sono stati da Newton elaborati ben prima della sua pubblicazione: quanto descritto nel primo libro riprende in più punti le *Lectiones opticae* (redatte probabilmente tra il 1670 e il 1672 ma mai pubblicate), mentre il secondo libro contiene un articolo già condiviso con la Royal Society nel 1675, dal titolo *Discours of Observations*.

L’idea che la luce si propaghi con velocità più elevata in un mezzo a densità maggiore viene condivisa da Newton, che la supporta servendosi tuttavia di argomentazioni altre rispetto a quelle (piuttosto vacillanti) avanzate da Descartes prima di lui. Per comprendere appieno la natura della luce occorre prendere le mosse dal fenomeno di rifrazione, osservabile in natura; in effetti, l’incipit del primo libro dell’*Opticks* recita:

*My Design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and prove them by Reason and Experiments: In order to which, I shall premise the following Definitions and Axioms.*¹³

¹²Nel riferirsi alla luce, Descartes non utilizza mai il termine velocità (*vitesse*), preferendo descrivere il fenomeno della rifrazione in termini di forze e facilità di passaggio.

¹³Si veda il riferimento [38], p. 1.

Da questa premessa è possibile avanzare l'ipotesi che Newton si sia approcciato allo studio dell'ottica non nel tentativo di rispondere a un interrogativo sulla natura della luce, ma allo scopo di fornire una spiegazione dei fenomeni in cui essa è coinvolta, seguendo un metodo che si distingue da quello cartesiano - del quale Newton aborre le ipotesi aprioristiche, prive, a suo parere, di qualsiasi connessione al mondo reale. A fondamento del metodo newtoniano vi sono la matematica e l'esperimento ed egli ammette la possibilità di procedere sia per via deduttiva che per via induttiva nell'esercizio della disciplina che chiama *filosofia naturale*: è possibile cioè prendere le mosse da principi di natura matematica e impiegarli per rendere conto dei fenomeni fisici, a patto che le conclusioni cui si giunge vengano poi corroborate tramite esperimenti e teoremi; oppure, è possibile partire progettando e realizzando esperimenti che consentano, isolato un fenomeno, di scartare via via le ipotesi di spiegazione non supportate dall'esito degli esperimenti arrivando infine a una spiegazione di carattere generale.

L'ordine in cui decide di presentare le proprie argomentazioni di ottica è tuttavia con ogni probabilità opposto a quello che ha seguito nel contesto della scoperta: subito dopo la premessa sopra riportata, infatti, vengono presentate otto definizioni e altrettanti assiomi. Occorrono ben dodici pagine prima che si inizi a discutere di *proposizioni*, ovvero asserzioni alle quali segue una dimostrazione di carattere sperimentale.

La concezione newtoniana della luce viene presentata nelle pagine conclusive di quello che potremmo a ragione definire il primo articolo scientifico scritto dal fisico inglese, *New theory about light and colors*, uscito sulle Philosophical Transactions nel 1672 - anno in cui, peraltro, Newton diviene membro della Royal Society. Che lo scritto sia anteriore all'*Opticks* è intuibile dalla commistione tra evidenze sperimentali e ragionamenti filosofici che si trova al suo interno e che emerge chiaramente dal paragrafo in cui viene discussa la natura della luce:

«These things being so, it can be no longer disputed, whether there be colours in the dark, nor whether they be the qualities of the objects we see, no nor perhaps, whether Light be a Body. For, since Colours are the *qualities* of Light, having its Rays for their entire and immediate subject, how can we think those Rays *qualities* also, unless one quality may be the subject of and sustain another; which in effect is to call it *substance*. We should not know Bodies for substances, were it not for their sensible qualities, and the Principal of those being now found due to something else, we have as good reason to believe that to be a substance also.»¹⁴

Il ragionamento di Newton, che si presenta piuttosto oscuro a un lettore moderno che sia pratico di fisica ma meno addentro la filosofia, prende le mosse da una consapevolezza che ha segnato una svolta di enorme importanza nello sviluppo dell'ottica: il colore è una qualità (o proprietà) della luce, non della materia. Era infatti opinione diffusa, tra i contemporanei di Newton, che il colore fosse in un certo qual modo “generato” dalla materia quando questa veniva attraversata dalla luce bianca, come nel caso del passaggio attraverso un prisma. L'esperimento che fornisce una dimostrazione di quanto detto è descritto nel primo libro dell'*Opticks* e costituisce a tutti gli effetti un *experimentum crucis*. Un fascio di luce bianca viene indirizzato

¹⁴Si veda il riferimento [36], p. 3085.

contro un prisma, dando luogo a un arcobaleno di colori che vengono proiettati su di uno schermo bianco. Un piccolo foro praticato in questo schermo consente alla sola luce rossa di passare, attraversando un secondo prisma dal quale riemerge, inalterata. Questo dimostra come non sia il prisma a generare i colori, che possono dunque essere a ragione considerati qualità della luce. Per essere precisi, Newton non parla di qualità della luce ma di qualità dei *raggi* di luce. Dunque, i raggi di luce sono portatori di qualità e, in quanto tali, sostanze. Secondo l'accezione data al termine "sostanza" ai tempi di Newton, un'entità non può essere sostanza e, insieme, qualità di qualche entità altra: ne consegue che i raggi di luce non possono essere onde, perché un'onda è una proprietà di un mezzo¹⁵. Dunque, conclude Newton, la luce non può che essere un fascio di particelle. Questa concezione gli permette di spiegare in maniera semplice il fenomeno della rifrazione della luce attraverso il prisma: l'idea di fondo è che la luce bianca sia fatta di corpuscoli di diverse dimensioni, ad ognuna delle quali corrisponde un diverso colore. Un corpuscolo più grosso avrà un'inerzia alla deviazione differente rispetto a uno più piccolo: ecco come mai, passando attraverso un prisma, un fascio di luce bianca si 'scinde' nei diversi colori. La rifrazione che avviene invece quando la luce attraversa una superficie di separazione tra due mezzi a densità diversa (come accade nel passaggio dall'aria all'acqua, per esempio) viene spiegata introducendo il concetto di forza.

La luce viaggia da una sorgente a un osservatore in forma di particelle; quando questi corpuscoli di luce si muovono all'interno di un mezzo (quale può essere l'aria), sperimentano una forza attrattiva esercitata dalle particelle del mezzo (nell'esempio presente, di aria). Il fatto che questa forza sia uguale in tutte le direzioni giustifica il moto rettilineo della luce. Un mezzo più denso (come può essere l'acqua) presenta un maggiore numero di particelle al suo interno, per cui sarà maggiore la forza attrattiva esercitata da queste sui corpuscoli di luce; di conseguenza, i raggi di luce appaiono "piegati". È interessante notare come, in un'edizione successiva dell'*Opticks*, Newton ritorni sul fenomeno della rifrazione fornendone una spiegazione qualitativa che tiene conto della presenza pervasiva dell'etere. Questo viene descritto in termini di una sostanza impalpabile, ineffabile, elastica - dunque ben distinta dai corpuscoli di luce, uno sciame che si propaga all'interno dell'etere. L'etere è mobile e possiede una propria oscillazione, oltre a delle zone a densità diversa; esso agisce "sospingendo" i corpuscoli di luce da zone in cui è presente con densità maggiore (come in aria) a zone in cui è invece più rarefatto (è il caso dell'acqua). Vi è una distinzione tra l'etere - sostanza impalpabile, ineffabile, elastica - e i corpuscoli di luce, uno sciame, un flusso che si propaga all'interno dell'etere. Quest'ultimo è mobile e possiede una propria oscillazione, oltre a delle zone a densità diversa; l'azione che l'etere compie sulla luce è quella di farla passare da zone a densità maggiore (dove vi è meno spazio) a zone a densità minore (dove lo spazio disponibile è maggiore). Relativamente al passaggio della luce aria-acqua, la situazione è la seguente: in aria la densità dell'etere è maggiore, mentre in acqua l'etere è in grado di infiltrarsi negli interstizi tra i reticoli, ma è presente in minore quantità. La componente di velocità verticale che i corpuscoli di luce acquisirebbero attraversando la superficie di separazione tra l'aria e l'acqua sarebbe imputabile dunque al movimento dell'etere.

La conclusione del ragionamento presentato da Newton coincide dunque con quello

¹⁵Si ricordi che, ai tempi di Newton, erano note soltanto quelle che oggi classifichiamo come "onde meccaniche"; non vi era consapevolezza circa la possibilità, per un'onda, di propagarsi anche in assenza di un mezzo (nel vuoto).

di Cartesio, sebbene vi sia una differenza sostanziale nel metodo adottato.

Una presa di posizione chiara nei confronti della teoria corpuscolare della luce è contenuta nell'*Opticks*, dove Newton arriva a sostenere che tale modello debba essere corretto in quanto è il solo a rendere conto dei fenomeni di rifrazione e riflessione della luce.

Il concetto di etere verrà poi recuperato anche da Huygens, insieme all'idea che la luce si propaghi proprio attraverso di esso; tuttavia, il modello di propagazione proposto dal fisico olandese non prevede trasferimento di materia, costituendo una prima formalizzazione del concetto di onda.

Il dibattito circa la natura della luce (nel cui merito non entriamo) ha diviso la comunità scientifica per diversi decenni dopo la pubblicazione dell'*Opticks*; poco a poco, come spesso accade in casi simili, l'interesse nei confronti dell'argomento è andato scemando. Questo fino al Novecento, secolo testimone della riapertura del caso: con la definizione di una nuova branca della Fisica, la meccanica quantistica, nascono nuove domande: che cosa si intende per "dualismo onda-particella"? Che la luce è sia onda che particella? O forse la sua natura dipende dal fenomeno fisico considerato? Il dualismo onda-particella - occorre esserne consapevoli - non è che un retaggio storico, ormai superato, che nasce da un errore di fondo: il tentativo di descrivere e interpretare la natura di entità nuove (come il quanto di luce) in termini di ciò che è già noto (onde e particelle).

Abbiamo citato, tra le opere di Newton, un testo che ha profondamente rivoluzionato la meccanica: i *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

Sempre nel corso del Novecento, il contributo di Albert Einstein alla meccanica - con l'introduzione della relatività speciale e generale - espanderà gli orizzonti della conoscenza, mostrando come la meccanica proposta da Newton costituisca in realtà una descrizione della realtà approssimativa, valida soltanto nel limite di velocità molto minori di quella della luce. Per più di duecento anni, tuttavia, l'impostazione newtoniana è stata identificata come una teoria compiuta e completa della meccanica. Per chiudere il capitolo circa la scienza del Seicento appare opportuno riprendere il contributo di Newton, per lo meno nei suoi punti essenziali, chiarendo in che senso possa considerarsi fondativo per la fisica classica.

La prima edizione dell'opera, pubblicata dalla Royal Society nel 1687¹⁶, non venne accolta con favore unanime, ma divise la comunità scientifica. Si parla di un'accoglienza tiepida e non mancarono episodi di vera e propria opposizione nei confronti di una visione del mondo lontana dal modello cartesiano. Proprio il timore della critica aveva fino a quel momento impedito a Newton, un uomo piuttosto introverso e di carattere schivo, di rendere pubblici i suoi studi - fatta eccezione per alcuni lavori di ottica, che comparvero sotto forma di articoli nelle *Philosophical Transactions* a partire dal 1672, attirando peraltro pesanti critiche da parte di Hooke e Huygens. Alle note di biasimo, lo scienziato inglese reagiva spesso minacciando di ritirare i propri testi dalla pubblicazione oppure sostenendo che non si sarebbe più occupato dell'argomento in questione. Questa sua ritrosia alla pubblicazione gli si ritorcerà contro: lo scienziato inglese non avrà infatti validi strumenti a disposizione per sostenere la paternità delle proprie scoperte, non avendole rese pubbliche se non con

¹⁶Le spese relative alla pubblicazione di questa prima edizione dei *Principia* vennero sostenute per buona parte da Edmond Halley (1656-1742), personaggio che avrebbe avuto un ruolo decisivo nel convincere Newton alla stesura dell'opera.

diversi anni di ritardo; la disputa con Leibniz (1646-1716) circa la messa a punto del calcolo infinitesimale costituisce un esempio. Nonostante Newton avesse redatto *Il Metodo delle flussioni* nel 1671, i suoi lavori inerenti al calcolo infinitesimale saranno pubblicati (parzialmente) soltanto nel 1704, dando motivo a Leibniz di rivendicarne la paternità.

Non è oggetto di disputa, invece, il fatto che i *Principia* costituiscano la *climax* della carriera di Newton. Articolato in tre libri, il trattato costituisce un compendio della meccanica newtoniana e ne presenta le applicazioni in astronomia. L'impostazione, lo stile e la struttura stessa dell'opera la pongono in antitesi rispetto alle pubblicazioni galileiane riguardanti il medesimo argomento: alla forma dialogica e alla scelta del volgare Newton preferisce un'impostazione tecnica (pienamente trattatistica) e l'utilizzo del latino. È egli stesso a fornire una giustificazione di tale scelta, in un passaggio dei *Principia* che anticipa le *celebri regole del filosofare* e recita:

«[...] Rimane ora da esporre la costituzione del mondo. Su questo argomento avevo scritto una prima versione del terzo libro in forma popolare, in modo tale che potesse essere letto da più persone. Ma chi non avesse capito bene i principi lì stabiliti non avrebbe di certo percepito la forza delle conclusioni, né avrebbe messo da parte i pregiudizi cui è stato abituato da molti anni. Pertanto, per evitar discussioni, ho tradotto il contenuto della precedente edizione del libro in proposizioni, secondo uno stile matematico, affinché fossero lette soltanto da quelli che avessero approfondito prima i principi.»

I primi due libri condividono il medesimo titolo, *De motu corporum*, e contengono un'esposizione delle leggi della dinamica, delle loro conseguenze e di varie loro applicazioni (ad esempio, al caso di corpi che si muovono in mezzi resistenti). Questa porzione del trattato, spesso sottovaluta, merita invece una rivalutazione in termini del contributo originale apportato da Newton alla meccanica: il fisico riprendere infatti in maniera rigorosa diverse questioni già sollevate da Galileo ma mai affrontate nel dettaglio, quali ad esempio la resistenza esercitata dall'aria sul moto dei corpi. Viene presentato un primo studio coerente circa il moto di un corpo in un fluido, le cui applicazioni pratiche si riveleranno fondamentali e daranno grande impulso al settore dell'idrodinamica.

Il terzo libro si intitola invece *De mundi systemate*: viene qui enunciata la legge di gravitazione universale e l'applicazione delle leggi della dinamica viene estesa al sistema solare (il sistema *del mondo*, per l'appunto). La critica si concentrò in particolare proprio attorno a quest'ultimo saggio, evidenziando l'incompatibilità di una forza a distanza (come la gravità) con il concetto di etere introdotto da Descartes. In accordo alla teoria dei vortici cartesiana, l'Universo sarebbe un *plenum* di materia nel quale si troverebbero diversi tipi di particelle che, muovendosi, creano dei vortici i quali trasportano meccanicamente il pianeta. Il modello elaborato da Newton è ben diverso: egli prevede infatti un moto libero dei pianeti, che si muovono in uno spazio vuoto sotto l'azione della forza di gravità. È celebre l'analogia proposta da Newton tra la pietra e la Luna, due corpi che devono il loro moto (di caduta al suolo per la prima e di rivoluzione attorno alla Terra nel caso della seconda) alla medesima forza e dovranno pertanto poter essere descritti in termini di uno stesso modello.

L'universo newtoniano è un universo vuoto e matematico; si tratta di una conce-

zione squisitamente moderna per l'epoca se si pensa che, ancora nell'Ottocento, i fisici si affideranno ai concetti di etere e - con l'avvento dell'elettromagnetismo - di campo per "riempire" lo spazio vuoto. Per Newton, spazio e tempo esistono indipendentemente dalla materia, secondo una concezione sostanzialistica. Egli era inoltre sostenitore dell'idea che spazio e tempo, oltre a esistere come enti indipendenti dalla materia, fossero indipendenti tra loro: come sappiamo, questa idea verrà messa in crisi dall'avvento della relatività.

L'universo newtoniano è un universo vuoto e matematico; si tratta di una concezione squisitamente moderna per l'epoca, se si pensa che, ancora nell'Ottocento, i fisici si affideranno ai concetti di etere e di campo (con l'avvento dell'elettromagnetismo) per "riempire" lo spazio vuoto. Per Newton, spazio e tempo esistono indipendentemente dalla materia, secondo una concezione sostanzialistica. Egli era inoltre sostenitore dell'idea che spazio e tempo, oltre a esistere come enti indipendenti dalla materia, fossero indipendenti tra loro: come sappiamo, questa idea verrà messa in crisi dall'avvento della relatività.

Rendendosi conto della mole di informazioni contenuta nei *Principia*, Newton presenta inoltre delle indicazioni per la lettura del testo: egli consiglia al lettore di studiare soltanto *le definizioni, le leggi del moto e le prime tre sezioni del libro I e poi passare a questo libro sul Sistema del Mondo, consultando a piacere le rimanenti proposizioni dei libri precedenti qui citati*.¹⁷ A ben vedere, si tratta dell'approccio con cui anche in epoca contemporanea si è soliti affrontare un'opera tecnica quale un trattato.

Tornando alle leggi della dinamica contenute in apertura al primo libro dei *Principia* - alle quali il filosofo si riferisce anche con il termine 'axiomata', ovvero *assiomi* - è sorprendente notare come una loro traduzione pressoché letterale sia la forma nella quale esse si trovano enunciate, ancora oggi, nei libri di testo. Così, ad esempio,

«Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare».¹⁸

tradotta letteralmente restituisce

«Ciascun corpo persevera nel proprio stato quiescente o movente uniformemente in una direzione, se non fino a quando una forza impressa costringa quello stato a mutare.»

ovvero una formulazione del principio di inerzia molto vicina a quella presentata - ad esempio - dalla Treccani¹⁹, che recita:

Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto uniforme e rettilineo a meno che non sia costretto a mutare quello stato da forze impresse.

¹⁷Si veda il riferimento [37], p. 386

¹⁸Si veda il riferimento [37], p. 12.

¹⁹Treccani, Dizionario delle Scienze Fisiche (1996), alla voce "inerzia".

Nella prospettiva di Newton, tale principio stabilisce i “nuovi moti naturali”: in contrapposizione a quelli naturali e violenti di matrice aristotelica, sono quelle situazioni che non richiedono alcuna spiegazione. Viene modificata l’ontologia del moto rettilineo uniforme, equiparato a uno stato - al pari della quiete.

Si potrebbe avanzare l’ipotesi che una simile fedeltà all’originale storico sia dovuta all’efficacia didattica delle formulazioni; se questo è vero per la prima legge del moto, non si può dire lo stesso a proposito del principio di azione e reazione. La formula proposta da Newton è divenuta, per gli studenti di scuola secondaria, quasi un mantra, simile per alcuni aspetti a certi versi della prosa omerica: facile da mandare a memoria, ma oscura nel suo significato:

«Actioni contrariam semper & aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales & in partes contrarias dirigi²⁰»

può essere tradotta, in maniera letterale, come

«Per un’azione vi è sempre una reazione uguale e contraria: ovvero le azioni di due corpi l’uno sull’altro sono sempre uguali tra loro e dirette in direzioni opposte.»

Nei moderni testi di fisica è frequente ritrovare la legge in forma “troncata”, ovvero leggere che *ad ogni azione corrisponde sempre una reazione uguale e contraria*. Si tratta di un caso in cui la volontà di maggiore sintesi nell’espressione di un concetto risulta controproducente, in quanto non permette la sua piena comprensione.

Diverse ricerche in didattica²¹ hanno evidenziato come, anche nella sua forma originale e compiuta, la formulazione del terzo principio della dinamica presenti una serie di ostacoli al suo apprendimento. È la locuzione “azione e reazione” che, attivando nello studente l’idea di due forze asimmetriche sia temporalmente (l’azione precede la reazione) che causalmente (l’azione causa la reazione), può generare l’insorgere di misconcezioni in coloro che si avvicinano allo studio della dinamica. Secondo Hellingman, alla coppia di termini “azione” e “reazione” andrebbe sostituito il concetto di “interazione”, insegnando il concetto di forza in termini di *interazione* tra corpi.

Nonostante la terza legge del moto costituisca un’aggiunta originale alla meccanica galileiana, al termine dell’esposizione delle leggi del moto Newton dedica uno scolio al chiarimento di come quanto scritto sino a quel punto fosse già noto ai matematici e comprovato da molteplici esperimenti. Pare che Newton sottovaluti il proprio contributo nel campo della dinamica anche in relazione alla seconda legge, la cui struttura causale ricerca nel cambiamento dello stato di moto di un corpo il solo fenomeno per cui sia d’uopo ricercare una spiegazione, in termini di forze impresse; l’effetto di tali forze impresse risulta in un’accelerazione del corpo medesimo. Se per Aristotele le forze erano connesse alla velocità dei corpi, per Newton il legame si stabilisce tra forza e cambiamento di velocità - ovvero, tra forza e accelerazione.

²⁰Si veda il riferimento [37], p. 13.

²¹Si veda, ad esempio: Hellingman, C. Do forces have twin brothers? Physics Education, Volume 24, Number 1, 1989.

All'esposizione delle leggi del moto fa seguito una serie di corollari che saranno utili per le successive dimostrazioni, dimostrazioni che Newton imposta in maniera geometrica. La prima - e più celebre - è la dimostrazione dell'accordo tra la seconda legge di Keplero (che pertiene al piano della cinematica) e il moto di un corpo sottoposto a una forza centrale (piano della dinamica). In altri termini, viene mostrato come un corpo soggetto a una forza centrale soddisfi la seconda legge di Newton. La forma matematica di una forza centrale viene ricavata nella dimostrazione successiva, combinando tra loro la seconda legge della dinamica, la seconda legge di Keplero e la caduta dei gravi così come formalizzata da Galilei. In conclusione, Newton arriva a stabilire che una forza centrale debba avere modulo

$$F = k \frac{1}{r^2}$$

dove r indica la distanza tra i corpi coinvolti, mentre k - al termine di una serie di passaggi trigonometrici - si rivela essere una costante moltiplicativa uguale per tutti i pianeti: ne consegue l'universalità della forza. Dal momento che anche sulla Terra i corpi cadono tutti con la medesima accelerazione, ed è noto come questa sia proporzionale alla forza, Newton avanza (già in chiusura al primo libro) l'ipotesi che, forse, tutto sia parte di un unico sistema: il sistema del mondo. Questo pensiero verrà formalizzato soltanto nel terzo libro.

Se la forza è formalizzata - in accordo al terzo principio della dinamica - come un'interazione tra due corpi e se si suppone che tale forza sia di tipo centrale, allora non è più possibile pensare che il Sole attragga la Terra senza essere a sua volta attratto dal pianeta, con forza uguale e opposta. Dall'esame di questo primo problema a due corpi, Newton ricava la formulazione della legge di gravitazione universale. I due corpi, di massa M (per il Sole) ed m (per la Terra), ruotano attorno a un comune centro di massa e i loro raggi vettore spazzano aree uguali in tempi uguali, da cui

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Come sottolinea Bettini [6], il concetto della "gravità" è stato introdotto nella filosofia naturale da Aristotele, insieme al suo contrario (la "levità"). La fisica antica non concepiva la gravità in termini di una forza, ma di una qualità dei corpi, presente in maniera più o meno marcata a seconda del corpo considerato. I corpi che si trovano sulla Terra venivano detti gravi proprio in ragione di questa loro qualità, in conseguenza della quale il loro luogo naturale è il centro della Terra (verso il quale sono infatti attratti); al contrario, nei corpi in cui a predominare è la levità si osserva un moto naturale verso l'alto. Oggi sappiamo, grazie a Newton, che in realtà tutti i corpi dotati di massa sono soggetti alla forza di gravità.

In accordo alle più recenti valutazioni storiche in merito alla priorità della formulazione della legge dell'inverso del quadrato²², pare che, a partire dal 1660, fosse piuttosto diffusa l'intuizione di una simile proporzionalità. Il merito di Newton risiede nell'aver compiuto un passo ulteriore, formalizzando le intuizioni per mezzo di dimostrazioni. Con i *Principia* la meccanica (classica) trova compimento in quanto

²²Si veda: Gal, Ofer. 2003. "Meanest foundations and nobler superstructures: Hooke, Newton and the 'Compounding of the Celestial Motions of the Planets'", *Physics Today* 56 (9):61-62.

teoria costruttiva matura, fondata su tre principi che si dimostrano in grado di unificare la spiegazione del moto dei corpi celesti e della caduta dei gravi sulla Terra. La locuzione *principia mathematica* può essere resa in termini moderni proprio nell'accezione di *teoria*.

In ultimo, la teoria di Newton ha aperto le porte alla realizzazione di apparati nuovi per la verifica della legge di caduta: al piano inclinato si affianca, ad esempio, la macchina di Atwood, che permette lo studio del moto accelerato come applicazione della seconda legge della dinamica. È significativo notare come un simile apparato sia stato messo a punto soltanto nell'ultimo ventennio del Settecento, un secolo dopo la pubblicazione dei *Principia*.

1.2 Il secolo dei lumi

Se si volesse affrontare il discorso della fisica del Settecento dal punto di vista delle nuove scoperte, lo si esaurirebbe nel corso di un paio di paragrafi. Il secolo dei lumi è dominato infatti, in campo scientifico, dal lento processo di comprensione, successiva assimilazione e rivisitazione dei contenuti dei *Principia* di Newton, alla luce dei nuovi strumenti offerti dal calcolo infinitesimale.

Gli impulsi allo sviluppo di questo nuovo linguaggio vennero principalmente dall'applicazione della matematica alla fisica. Nello stesso campo dell'ottica, la ricerca di metodi adatti a calcolare la tangente a una curva (da cui originò il calcolo differenziale) era indispensabile all'applicazione della legge della rifrazione, che richiede la conoscenza dell'angolo di rifrazione - determinabile conoscendo la normale alla superficie della lente. Prima che Newton elaborasse il metodo delle flussioni e - in maniera ufficialmente indipendente - Leibniz desse alla luce il calcolo differenziale, alcuni dei problemi che troveranno soluzione in seguito all'introduzione dei concetti di derivata e di integrale erano stati affrontati da Galilei nei *Discorsi* e anche dal matematico francese Fermat - quest'ultimo con l'obiettivo di mettere a punto un metodo analitico per la determinazione di aree e volumi. Pur non essendo questa la sede in cui approfondire il discorso in merito alla storia del calcolo infinitesimale, si ritiene opportuno sottolineare un punto di particolare importanza per comprendere la distanza che si registrerà, nei decenni successivi, tra l'avanzamento della matematica sul continente rispetto alla situazione in Inghilterra.

Nel 1684, l'edizione di ottobre di una delle riviste scientifiche più antiche di area germanica, gli *Acta Eruditorum*, pubblica un articolo firmato da Leibniz che pone i fondamenti del calcolo infinitesimale; in difesa di idee elaborate circa un trentennio prima rispetto al matematico tedesco, Newton aggiunge nei *Principia* uno scolio volto a rendere pubblico l'argomento dei suoi scambi epistolari con lo stesso Leibniz: dichiara di aver condiviso con lui il metodo messo a punto per la determinazione di massimi e minimi e della tangente a una curva, e di aver (sempre nel corso dello scambio epistolare) potuto appurare come anche Leibniz avesse sviluppato metodi analoghi. Più che presentarsi come una vera e propria rivendicazione di priorità, tale scolio sembra assolvere allo scopo di chiarire la misura della reciproca influenza esercitata dai due scienziati l'uno sull'altro.

Ad avviare la vera e propria disputa saranno, qualche anno più tardi, i sostenitori delle due personalità. Un secondo articolo pubblicato da Leibniz sugli *Acta* nel

maggio 1697 suscita l'avversione di de Duillier, il quale muove le prime accuse di plagio al matematico tedesco e si schiera a sostegno della parte (a suo dire) lesa, ovvero Newton. La disputa si estende a macchia d'olio, dividendo a metà la comunità scientifica; al di là degli specifici episodi di contrasto tra i sostenitori dell'uno o dell'altro scienziato, è interessante notarne gli effetti a medio termine, che si sostanziano nella frattura tra la comunità matematica inglese (fedele ai metodi di Newton) e quella che potremmo definire "continentale", aperta invece al calcolo leibniziano - e, dunque, avvantaggiata sul campo.

Per quanto concerne il progresso scientifico entro i confini geografici della penisola italiana, non appaiono ingiustificate le posizioni di coloro che guardano al Settecento come a un secolo quasi esclusivamente dedicato all'accettazione dei risultati della Rivoluzione Scientifica. È un secolo di sistematizzazione corale della conoscenza, durante il quale si distinguono alcune figure di spicco che finiscono però per essere messe in ombra dalle personalità del secolo appena tramontato e, al contempo, dall'affermarsi di realtà in cui la ricerca scientifica viene condivisa: dentro gli Istituti e le Accademie nasce l'Università moderna, che accoglierà la scienza nella sua dimensione sperimentale e permetterà che vengano veicolate anche le teorie più recenti. Il Settecento è il secolo in cui la scienza irrompe nella dimensione pubblica, con la messa a punto di strumenti atti a diffondere il sapere e l'affermarsi della divulgazione scientifica.

È ricordato come di primaria importanza in tal senso il ruolo di Francesco Algarotti (1712-1764), figura polimata prototipo dell'uomo illuminista e il cui contributo alla diffusione delle teorie di Newton si presenta in una forma del tutto originale: il *Newtonianesimo per le dame* è la sua opera più celebre e costituisce il primo esempio italiano di divulgazione scientifica brillante. Originario di Venezia, Algarotti è cresciuto in realtà a Bologna, dove si è trasferito all'età di quattordici anni in seguito alla scomparsa del padre: qui l'incontro con personalità del calibro di Eustachio Manfredi, Francesco Maria Zanotti e, non ultimo, Jacopo Bartolomeo Beccari lo avvicinerà alla fisica sperimentale e alle discipline scientifiche in generale. La sua adesione e il sincero interessamento per le teorie di Newton sorgono proprio nei sei anni che trascorre a Bologna - prima di partire per lunghi viaggi alla scoperta dell'Europa; a Bologna, infatti, Newton era considerato diretto successore di Galilei e l'assimilazione del contenuto delle sue opere è stata relativamente più rapida che negli altri poli scientifici della penisola.

Si deve allo stesso Algarotti la prima riproposizione con esito positivo del celebre esperimento del doppio prisma di Newton, portata a termine nel 1727 (si ricordi che l'*experimentum crucis* era stato descritto da Newton nel 1672). Più che per ragioni di rifiuto della teoria, l'ottica di Newton incontrò non poche resistenze ad affermarsi nel continente europeo a causa dell'impossibilità di replicarne gli esperimenti che stavano alla base. Tra i fisici che mostrarono diffidenza nei confronti di questa nuova fisica in seguito all'ottenimento di risultati sperimentali diversi attraverso la conduzione degli esperimenti newtoniani si segnalano il francese Edme Mariotte (1620-1684) e il trevigiano Giovanni Rizzetti (1675-1751); quest'ultimo è autore di un'opera spiccatamente antinewtoniana, dal titolo *Saggio dell'antinewtonianismo sopra le leggi del moto e dei colori* (1741).

Convinto della bontà delle teorie del fisico britannico, Algarotti si pose l'obiettivo di smontare le conclusioni di Rizzetti in occasione di pubbliche dimostrazioni. Il giovane fisico veneziano sposava l'ipotesi, largamente diffusa, secondo la quale la divergenza negli esiti sperimentali ottenuta dai fisici suoi conterranei fosse dovuta a difetti sperimentali imputabili alla scarsa qualità dei prismi impiegati, di fabbricazione veneziana. È celebre lo slogan (chiaramente ironico) che si diffuse, in risposta, tra i sostenitori di Rizzetti: "Gli esperimenti di Newton funzionano solo con i prismi inglesi". In realtà era proprio così: i prismi impiegati da Rizzetti, Mariotte e, in generale, dai fisici che operavano sul continente erano realizzati in vetro, mentre Algarotti condusse i propri studi servendosi di prismi realizzati in calcite ottica²³, un materiale che permette l'osservazione di una rifrazione decisamente più pulita rispetto al vetro.

Un secondo ostacolo alla diffusione del newtonianesimo sul continente può essere identificato sul piano teorico: i *Principia* si presentano come un'opera di elevata complessità, il cui processo di comprensione ed elaborazione ha impegnato la comunità scientifica per almeno mezzo secolo. Soltanto alla metà del Settecento, infatti, la teoria della meccanica elaborata da Newton verrà unanimemente riconosciuta come teoria fisica completa e fondativa.

La lentezza di assimilazione delle tesi newtoniane riflette anche una cautela tipicamente scientifica: prima di assimilare i contenuti della 'nuova scienza', ci si vuole assicurare della solidità dei risultati ottenuti da Newton per mezzo della replicazione dei suoi esperimenti - operazione alla quale si dedicherà anche Laura Bassi (1711-1778).

In questo senso gli avanzamenti della Fisica in questo secolo non si misurano in termini dell'elaborazione di teorie scientifiche nuove, ma della comprensione profonda e riformulazione di teorie già finalizzate nel corso del secolo precedente. I progressi matematici hanno infatti permesso la riformulazione della fisica newtoniana, che lo stesso Newton aveva introdotto in termini geometrici, da un punto di vista analitico; grazie ai contributi di Lagrange ed Euler, la meccanica viene ripensata in termini di principi variazionali.

Il legame tra le due discipline diviene inoltre via via più profondo; come si è accennato, il perfezionamento (quando non l'invenzione) degli strumenti matematici è motivato dalla necessità di elaborare - per poterli comprendere a fondo - i più recenti risultati ottenuti nel campo della fisica sperimentale. La ricerca di massimi e minimi di una funzione matematica era finalizzata allo sviluppo della balistica e lo stesso problema della determinazione delle tangenti acquisiva rilevanza fisica nello studio del moto dei corpi (la direzione del moto di un dato corpo in un punto preciso della traiettoria coincide con la tangente alla traiettoria stessa).

Le tre leggi del moto, oggi presenti in qualsiasi libro di testo per le scuole superiori, nel Settecento si trovano soltanto nei trattati di fisica inglesi. I fisici e matematici operanti sul continente abbracciarono per lo più l'approccio variazionale, nutrendo dubbi in merito al carattere fondamentale del concetto di forza introdotto da Newton: a seconda della concezione maturata in merito alla struttura ultima della

²³Il materiale è noto anche come "spato d'Islanda": si tratta di una varietà di calcite che risulta trasparente nello spettro del visibile, proveniente per l'appunto dall'Islanda e già conosciuta dalle popolazioni vichinghe, che se ne servivano come strumento per orientarsi durante la navigazione (una sorta di antenato della bussola).

materia (discreta oppure continua), si impostava la dinamica attorno al concetto di “impatti discreti” o di accelerazioni continue.

Anche intorno ai concetti di spazio e di tempo assoluti si generò un esteso dibattito, che condusse i matematici continentali al rifiuto di un sistema di riferimento privilegiato e aprì la strada alla riscrittura della meccanica in sistemi accelerati gli uni rispetto agli altri.

Il lento processo di “digestione” dei contenuti delle due maggiori opere di Newton si rivelò, in ultima analisi, un terreno fecondo per lo sviluppo della matematica, di un approccio sperimentale alla ricerca e, non ultimo per importanza, per la costruzione di una vera e propria comunità scientifica. Mai prima di allora vi erano stati dibattiti tanto importanti ed estesi in merito a questioni di natura filosofica, fisica e metodologica. Questa corallità della scienza troverà poi compimento con lo sviluppo, nel corso dell'Ottocento, della termodinamica, teoria che - a differenza della meccanica - non viene attribuita ad un'unica personalità.

Nel campo specifico della Fisica, il Settecento è il secolo testimone dei primi, timidi avanzamenti della termometria e dell'elettrostatica. Allo sviluppo delle teorie fisiche della termodinamica e dell'elettromagnetismo si sono dedicati i fisici dell'Ottocento. In entrambi i campi, la componente sperimentale della disciplina ha giocato un ruolo di prim'ordine: da un lato, la riflessione sui concetti di calorico, temperatura e calore specifico viene condotta sulla base di esperimenti (il concetto stesso di temperatura è un concetto operativo) e, dall'altro, la legge di Coulomb è stata formulata dopo attenta analisi sperimentale del comportamento delle cariche elettriche. Alla Francia deve essere riconosciuto un ruolo di prim'ordine nello sviluppo della fisica settecentesca, che né la penisola italiana né l'Inghilterra hanno saputo eguagliare - nonostante la seconda abbia visto chiudersi, con il Settecento, un'epoca di feroci lotte intestine. La nazione che si avviava verso un regime liberale versava in condizioni paradossalmente meno favorevoli allo sviluppo scientifico rispetto a una Francia ancora dominata dall'alleanza tra la monarchia conservatrice e un clero fortemente autoritario. Una ragione dietro all'apparente paradosso può essere riconosciuta nell'enorme successo che la corrente culturale dell'Illuminismo, pur nascendo sul suolo britannico, ebbe in Francia. Qui, infatti, essa divenne espressione della nascente borghesia - la cui ascesa è stata incentivata proprio dalla presenza di una monarchia assolutista. L'illuminismo diviene la cultura della borghesia, una classe sociale in ascesa che crede fortemente nel potere della ragione come forza trasformatrice del mondo: la matrice ideologica che porterà allo scoppio della Rivoluzione francese è proprio di stampo illuminista.

1.2.1 I primi passi dell'elettrostatica...

Sul progresso scientifico del XVIII Secolo ha influito molto l'impostazione di Francis Bacon (1561-1626), promotore di un approccio induttivo e sperimentale alla conoscenza e sostenitore della necessità di un sapere onnicomprensivo: della sua ambizione di redigere una sorta di “storia universale” si farà portavoce la Royal Society in maniera particolare.

Con il termine “storie” si fa riferimento, in questo contesto, ai diversi oggetti di indagine che nascono dall’analisi di fenomeni fino a quel momento sconosciuti, e portati dalla luce per mezzo di uno sperimentalismo che non comportava un obiettivo preciso, se non l’aggiunta di un tassello alla conoscenza del mondo naturale. Come già anticipato, alla scienza l’ideale baconiano guardava con interesse in quanto vi riconosceva un’utilità pratica: delle scoperte scientifiche e delle conseguenti applicazioni tecnologiche avrebbe beneficiato l’intera comunità.

Nel campo dell’elettrostatica, la scoperta di nuovi fenomeni fu diretta conseguenza della messa a punto di nuovi apparati sperimentali. La speculazione teorica non era assente, ma nemmeno indipendente dall’indagine sperimentale: una volta scoperto un fenomeno per cui non ancora non si aveva una spiegazione, era la sua riproduzione e analisi in laboratorio che ne suggeriva possibili interpretazioni. È emblematico, in questo campo, il ruolo giocato dalla bottiglia di Leida, invenzione del fisico olandese Pieter van Musschenbroek (1692-1761); la sua messa a punto incentivò molteplici studi atti a comprenderne a fondo il funzionamento, ovvero la capacità di immagazzinare una significativa quantità di carica - allora descritta in termini di un fluido elettrico - per poi rilasciarla. In tal senso la speculazione teorica proseguiva simultaneamente rispetto all’esperimento: da un lato, la messa a punto di apparati nuovi permetteva di visualizzare nuovi fenomeni, ai quali si cercava di dare spiegazione, e, dall’altra, tale spiegazione non poteva prescindere dalla pratica di laboratorio.

Il capitolo dedicato all’elettrostatica viene ancora oggi introdotto, in ambito scolastico, per via sperimentale: si presentano gli esperimenti condotti proprio a inizio Settecento²⁴ servendosi di bacchette di materiale diverso e apprendendo così l’esistenza di due tipi di carica elettrica, che Charles-Francois de Cisternay du Fay (1698-1739) aveva definito “vetrosa” e “resinosa”. L’elettricità era concepita come una proprietà dei corpi e si osservava che corpi dotati di elettricità distinte si attraggono, mentre corpi dotati della medesima elettricità si respingono. Du Fay era giunto a queste conclusioni servendosi di un tubo di vetro elettricamente carico e avvicinandolo a una sottile foglia d’oro per osservarne il comportamento, ripetendo poi l’esperimento sostituendo al vetro una resina.

È interessante osservare come si ragionasse di elettricità e corpi elettrificati applicando la teoria dei vortici cartesiana, che già godeva di vasto consenso e che da questa applicazione ne guadagnò di ulteriore. Si riteneva infatti che sulla superficie dei corpi elettrificati fosse presente un vortice composto di materia molto sottile, che non costituiva semplicemente un modello teorico per la spiegazione dei fenomeni elettrici ma al quale era attribuito valore di realtà: a suffragio di questa conclusione, John Theophilus Desaguliers (1683-1744)²⁵ descrive la sensazione che si prova nell’avvicinarsi a un corpo elettricamente carico, una sensazione di andare incontro a qualche cosa di “simile a una ragnatela”.

Gli stessi fenomeni di attrazione e repulsione venivano interpretati secondo la mede-

²⁴Si tratta di adattamenti didattici, che però non si discostano troppo, a livello concettuale, da quelli realmente condotti nei primi decenni di indagine sistematica dei fenomeni elettrici.

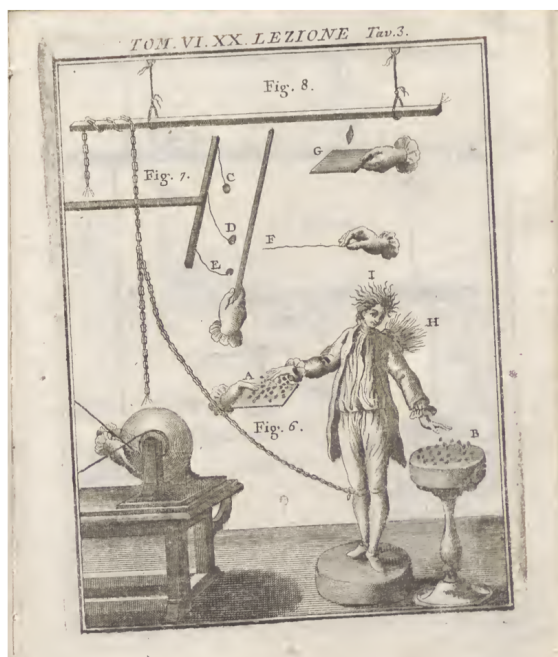
²⁵Scienziato e religioso insieme, Desaguliers si interessò non soltanto di elettricità, ma anche di ottica e di meccanica - contribuendo alla diffusione del newtonianesimo. Conobbe Newton di persona e, per un certo periodo, lavorò come suo assistente. La Royal Society londinese lo annoverò tra i propri membri in ragione delle sue spiccate doti sperimentali; viene ricordato anche come vincitore della medaglia Copley (1734), un riconoscimento di grande prestigio assegnato dalla stessa Royal Society.

sima teoria dei vortici, immaginando che l'elettrizzazione di un corpo si associasse alla perdita di fluido elettrico (che si riteneva lasciasse materialmente il corpo stesso); il fatto che un simile scompenso fosse controbilanciato da un afflusso di fluido dall'esterno spiegava l'attrazione di una bacchetta elettrizzata nei confronti di corpuscoli di piccole dimensioni - come dei pezzetti di carta. La repulsione si aveva nel caso in cui il corpo venisse invece "trasportato" dal vortice che procedeva lontano dal corpo. Questa spiegazione in particolare venne concepita dall'abate Jean Antoine Nollet (1700-1770), il quale - oltre ad essere un religioso - è noto come uno dei fisici sperimentali di maggior rilievo del Settecento. Oltre che del già menzionato Du Fay, Nollet fu assistente di René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) e autore di testi di fisica sperimentale di grande rilievo, quali le *Leçons de physique* (1745). A lui si deve inoltre la realizzazione di diversi apparati di fisica a scopo didattico, non soltanto attinenti allo studio dell'elettricità ma anche a quello dei moti.

Nel presentare il contributo di Francesco Algarotti alla diffusione delle teorie ottiche di Newton si è accennato alle dimostrazioni pubbliche tenute dallo stesso; queste trovavano spazio all'intero dei cosiddetti Gabinetti di Fisica, il cui fiorire rivela come la diffusione del sapere scientifico facesse leva, fin da allora, sulla spettacolarizzazione. La scienza irrompe nella dimensione pubblica, prima che per la sua utilità, per il divertimento che può suscitare come intrattenimento. Interi palazzi privati diventano nel Settecento teatro di dimostrazioni scientifiche, organizzate da personaggi abbienti che spesso chiedono la collaborazione di ricercatori o professori dell'Università. Di conseguenza, sono sempre più i testi di carattere scientifico "ostensivo", ovvero delle vere e proprie raccolte di esperimenti (con tanto di tavole illustrate) che fungono da guida e riferimento per dimostrazioni di questo tipo. Se gli esperimenti di rifrazione della luce erano indubbiamente di grande effetto scenico, una fetta ancora maggiore di popolazione era attratta dalle dimostrazioni di elettrostatica. Nel 1767 John Priestley, nella sua *History of Electricity* [42], scriveva:

«Né la pompa per vuoto, né la macchina che mostra la costruzione del mondo, né gli esperimenti idrostatici, magnetici e ottici hanno mai radunato un così grande concorso di folla come gli esperimenti di elettricità [...]»

L'ingresso delle dimostrazioni scientifiche negli ambienti di corte francesi si deve in maniera particolare a Du Fay e alla brillante collaborazione dell'abate Nollet: accanto all'interesse accademico nei confronti di fenomeni nuovi nasceva un interesse ludico, che guardava all'esperimento fisico come a un gioco da salotto. Nonostante non tutti i professionisti del settore la vedessero di buon grado, questa nuova 'moda' contribuì a portare la scienza all'interno del tessuto sociale. Dalla volontà di intrattenere il pubblico derivò un impegno crescente nel rendere la materia di studio accessibile a coloro che non avevano conoscenze pregresse in fisica. Dai testi specificatamente pensati per accompagnare un dato apparato sperimentale - illustrandone il funzionamento e i possibili impieghi in fase di dimostrazione pubblica - derivano i primi testi di didattica sperimentale, pensati per un pubblico di studenti. Sono molteplici i testi redatti sulla falsariga del già menzionato trattato dell'abate Nollet: *Specimen experimentorum naturalium quae singulis annis in illustri pisani lyceo* è il titolo di una raccolta di oltre duecento esperimenti descritti e illustrati da



(a)



(b)

Figura 1.3: **(a)** Illustrazione tratta da Nollet, J. A. Lezioni di fisica sperimentale, Tomo VI, XX Lezione, Tav. 3. 1772. Si nota la presenza, all'interno di una stessa tavola, di più figure, ciascuna delle quali rimanda a un particolare esperimento. **(b)** Rappresentazione moderna di uno degli esperimenti di elettrostatica maggiormente ricorrenti all'interno dei moderni musei scientifici, l'elettrizzazione per contatto.

Carlo Guadagni (1722-1801), che compongono un trattato da intendersi come testo di accompagnamento per una data collezione di strumenti.

Indubbiamente si trattò anche di un importante business: il Settecento è il secolo nel quale inizia a delinearsi la figura professionale del costruttore di strumenti, i cui principali clienti erano, al tempo, proprio nobili e sovrani decisi a intrattenersi e intrattenere mediante la spettacolarizzazione della scienza. In un'epoca in cui la ricerca non godeva delle moderne sovvenzioni statali, la possibilità di uno progresso scientifico era assicurata primariamente dal mecenatismo di sovrani e aristocratici i quali tanto più si avvicinavano alla materia e tanto più erano disposti a investire.

Sarebbe riduttivo chiudere il capitolo sulla fisica elettrica nel Settecento presentandola in termini di un gioco fine a se stesso: come anticipato in apertura, la scoperta di fenomeni nuovi e che potevano apparire come 'magici' alla popolazione comune costituì terreno fertile per ricerche sperimentali approfondite e nuove speculazioni teoriche in materia. Emblematico è il caso degli studi condotti, sul finire del secolo, da Luigi Galvani in merito all'elettricità animale, suggeriti dalla sperimentazione degli effetti dell'elettricità sugli esseri umani (celebre l'esperimento, divenuto classico, del contatto con un generatore carico che fa drizzare i capelli) ma, soprattutto, sugli animali. Lo stesso abate Nollet impiegava la scossa generata dalla scarica della bottiglia di Leida su animali di piccole dimensioni (come gli uccellini) per constatarne gli effetti. Galvani si spinse oltre: i molteplici esperimenti condotti

studiando la correlazione tra scariche elettriche e subitanee contrazioni nei muscoli di animali quali le rane lo portarono ad elaborare una teoria secondo la quale gli esseri viventi sarebbero dotati di un' *elettricità intrinseca*; un concetto intorno al quale si addensarono non pochi dubbi ma che oggi, in fisiologia, è per buona parte sovrapposto a quello di potenziale di membrana delle cellule.

La scienza fa il proprio ingresso nella società, ancor prima che per mezzo della pubblica utilità (si pensi alla diffusione dell'illuminazione pubblica), nel momento in cui gli scienziati stessi si aprono alla condivisione delle loro scoperte e si adoperano nel suscitare il pubblico interesse per mezzo di dimostrazioni. È lo stesso tipo di spettacolarizzazione che di sovente si ritrova, ancora oggi, nei musei scientifici di tutto il mondo: lo scopo, in questo caso, è quello di suscitare la curiosità e avvicinare a una materia spesso ritenuta arida.

Alle dimostrazioni che avevano come teatro le corti europee si affiancavano quelle tenute da sperimentatori (che spesso erano anche docenti universitari) in salotti privati, i già citati Gabinetti di Fisica. Sono celeberrimi quelli di Laura Bassi (1711-1778) e del marito, Luigi Veratti (1707-1793), oltre che la collezione di strumenti stabilita da Lord Cowper (1738-1789) e Firenze e donata all'Istituto delle Scienze di Bologna in seguito alla sua morte. Nel caso dei coniugi Bassi-Veratti, la componente di spettacolarizzazione appariva ridimensionata e il gabinetto faceva le veci di un'aula didattica: le dimostrazioni tenute da Laura Bassi erano delle vere e proprie lezioni di fisica sperimentale, aperte a tutti.

Anche quando la Fisica sperimentale entrò a pieno diritto tra le discipline universitarie, i Gabinetti continuarono a proliferare: è celebre in tutta Europa quello realizzato da Giovanni Poleni (1683-1761) a Palazzo del Bo e specificatamente concepito come supporto per le lezioni universitarie. Dal 1739, infatti, l'Università di Padova aveva istituito la cattedra di filosofia sperimentale, assegnando in quello stesso anno la docenza proprio a Poleni; dell'anno successivo è l'inaugurazione del primo teatro di filosofia sperimentale, ovvero un laboratorio specificatamente preposto all'insegnamento universitario.

Nonostante siano stati introdotti all'interno di questa sezione, è bene sottolineare come i Gabinetti di Fisica ospitassero collezioni di strumenti vaste e variegate, non soltanto di pertinenza della fisica elettrica: immancabili erano le macchine pneumatiche per la conduzione di esperimenti nel vuoto, le lanterne magiche e i microscopi solari.

1.2.2 ...e della termometria

Oltre ai temi affrontati da Newton e ai dubbi lasciati aperti nelle *Queries* con cui si chiude l'*Opticks*, i fisici delle generazioni successive si dedicarono a questioni nuove. Alla spiegazione di fenomeni non descritti nei *Principia* né nell'*Opticks* ci si approcciava, spesso, con gli strumenti del meccanicismo newtoniano, valutandone l'applicabilità. Nonostante il cambiamento di argomento, l'influenza newtoniana rimaneva dunque forte: considerati i temi di interesse centrale per il nuovo secolo - la luce, il calore, l'elettricità e il magnetismo - ci si domandava se la teoria del moto e degli urti tra particelle in moto potessero fornire una spiegazione anche in tali campi di indagine. Per essere precisi, quella che potremmo definire come "concezione corpuscolare" era diffusa già tra i filosofi naturali del Seicento; con Newton essa

raggiunge un elevato grado di formalizzazione e una vasta diffusione, sostituendosi poco a poco alle idee cartesiane.

Non bisogna tuttavia compiere l'errore di ritenere che, da Newton in poi, il suo approccio metodologico sia stato unanimemente accettato e applicato in ogni campo di indagine della fisica particolare: spesso, l'affrontare problemi completamente nuovi rispetto a quelli risolti da Newton richiedeva un approccio nuovo - come risulterà chiaro da una breve ripresa dei principali sviluppi nello studio del calore e dei fenomeni termici nel primo Settecento.

Per poter fornire una spiegazione efficace dei fenomeni termici occorre chiarire i concetti, fondamentali, di temperatura e di calore. A questo problema si sono dedicati i fisici moderni a partire da Galilei, al quale dobbiamo un primo tentativo di realizzazione di un termoscopio, utile a "misurare il caldo e il freddo" (1597). Quello che oggi viene comunemente indicato come termometro galileiano è, in realtà, uno strumento messo a punto con ogni probabilità dall'Accademia del Cimento e non da Galileo medesimo - sebbene l'idea di fondo consista nel dotare il termoscopio di una scala graduata per la determinazione quantitativa della temperatura. Celebre è anche il termoscopio realizzato da Santori nel primo decennio del Seicento: il principio di funzionamento è analogo a quello galileiano e consiste nello sfruttare la dilatazione termica per ottenere indicazioni sullo stato termico dei corpi. Tale strumento è costituito da un'ampolla di vetro dotata di un collo molto lungo e sottile e di dimensioni tali da poter essere tenuta tra le mani. Il trasferimento di calore determinato da tale contatto provoca la dilatazione termica dell'aria contenuta all'interno dell'ampolla; se, successivamente, questa veniva capovolta e immersa in un recipiente d'acqua si osservava una salita del livello dell'acqua nel cannello dello strumento. L'espansione dell'acqua è motivata da una contrazione dell'aria, in seguito all'abbassamento della temperatura. L'idea di fondo - ovvero, lo sfruttamento di una proprietà osservabile quale la dilatazione termica per la determinazione della temperatura - è sopravvissuta ed è stata poi effettivamente impiegata nei moderni termometri, a mercurio prima e ad alcol in seguito. Come testimoniato da Santorio Santorio (1561-1636), l'interesse per lo sviluppo dei primi strumenti di misura della temperatura nasceva da esigenze di tipo medico: nei suoi *Commentari su Avicenna* (1625), egli sottolinea l'utilità dei termometri nella misura della temperatura corporea dei pazienti. Già agli inizi del Seicento, dunque, i termometri erano sufficientemente precisi da potersi rivelare utili nelle applicazioni pratiche.

I primi decenni del Settecento vedono la diffusione capillare di scale termometriche: i nomi di scienziati come Anders Celsius (1701-1744), Joseph-Nicolas Delisle (1688-1768), René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), Daniel G. Fahrenheit (1686-1736) e altri sono ancora oggi associati a scale di misura della temperatura - alcune ancora in uso, altre cadute in disuso. Si stima che, intorno alla metà del secolo, fossero almeno 7-8 le scale termometriche in circolazione. Già da tempo aveva iniziato ad emergere un problema: quello del confronto tra misure di temperatura registrate per mezzo di strumenti diversi. Scale di temperatura differenti erano state realizzate considerando diversi punti fissi e, a rendere ancora più sfidante la conversione, si registravano variazioni regionali nei liquidi impiegati come fluidi termometrici (con conseguenti differenze nei coefficienti di espansione termica e, dunque, problemi di linearità nelle scale).

La piena comprensione del concetto di temperatura - per ora limitata al piano operativo - potrà avvenire soltanto nell'Ottocento, con approfonditi studi circa il comportamento dei gas e, soprattutto, grazie al lavoro di Ludwig E. Boltzmann (1844-1906).

Parallelamente a un impegno di tipo operativo, i fisici del tempo dibattevano intorno a una questione teorica di fondamentale importanza: la natura del calore. Il dibattito nacque, probabilmente, proprio in risposta a problematiche di natura operativa: quale grandezza veniva misurata davvero per mezzo del termometro? Al calore e alla temperatura si è guardato, almeno per tutta la prima metà del Settecento, come a concetti sovrapponibili: non essendo stata chiarita la distinzione sul piano teorico, era opinione molto diffusa che *quantità di calore* e *temperatura* fossero termini preposti a identificare una medesima grandezza.

Una teoria che (pur rivelandosi poi errata) godette di ampio successo è quella del calorico, formalizzata da Antoine Lavoisier (1743-1794). In accordo a tale visione, responsabile dei fenomeni termici sarebbe per l'appunto il calorico, ovvero una sostanza fluida, imponderabile, in grado di passare da un corpo più caldo a uno più freddo e identificato pertanto come causa delle variazioni di temperatura. Nel corso degli anni furono elaborati molteplici modelli di calorico: il concetto divenne punto centrale di un quadro concettuale che sembrava essere molto promettente per la spiegazione dei fenomeni termici.

L'interpretazione "idraulica" dell'elettricità in termini di un fluido in grado di passare da un corpo a un altro (durante il processo di elettrizzazione) diede vita a interrogativi nuovi: il fluido elettrico e il fluido calorico potevano essere manifestazioni di un unico ente? La pratica sperimentale mostrava non poche affinità: entrambi potevano essere prodotti mediante strofinio e, generalmente parlando, un buon conduttore di elettricità si rivelava essere anche un buon conduttore di calore. Fu in realtà lo stesso Du Fay a smentire questa ipotesi, sempre per mezzo di un esperimento: realizzati due cubi, uno dei quali cavo e l'altro pieno, osservò che, elettrizzandoli, in entrambi venivano prodotti i medesimi effetti. Ne concluse che, mentre il calorico pervade i corpi in profondità, il fluido elettrico si concentra soltanto sulla loro superficie; in altri termini, gli effetti elettrici dipendono soltanto dalla configurazione dello strato superficiale di un corpo.

Ufficialmente saranno gli esperimenti di James P. Joule (1818-1889) a decretare il definitivo tramonto della teoria del calorico; in realtà, come molte teorie fisiche radicate e verso le quali gli scienziati quasi provano affezione, ci vorrà del tempo prima che il calorico venga abbandonato del tutto. Ne era ben consapevole il filosofo Thomas Kuhn (1922-1996), secondo il quale il superamento di teorie considerate fallaci avviene in maniera molto lenta e può dirsi completo soltanto con la morte (o il ritiro dalla scena scientifica) dei suoi sostenitori. Pur nella sua inconsistenza, ricordiamo che la teoria di calorico ebbe grande importanza per lo sviluppo dei fenomeni termici: pur entro un quadro concettuale che oggi sappiamo non corrispondere alla realtà, gli studi in merito a calore e temperatura hanno potuto svilupparsi con esiti spesso proficui.

La teoria del calorico mise in ombra una concezione del calore antecedente, di derivazione meccanicistica e in accordo alla quale i fenomeni termici sarebbero causati da moti molecolari. Nella sua *Hydrodinamica* (1738), Daniel Bernoulli (1700-1782) ipotizzò che i gas fossero costituiti da un numero molto grande di molecole e che il

calore fosse in qualche modo misura dei moti di tali molecole; delle sue ipotesi fornì anche un modello matematico.

L'idea del calore come sostanza circolava in ambito chimico già ai tempi dei lavori di Hermann Boerhaave (1668-1738), al quale si deve probabilmente il suggerimento di un'analogia con la concezione fluidistica già in uso nella spiegazione dei fenomeni elettrici.

Rimanendo nell'ambito della termometria e della pneumatica, i primi decenni del Settecento sono animati anche dalla volontà di applicazione dei principi e fenomeni fisici nella costruzione di dispositivi per la produzione di lavoro meccanico. Celebre è quello messo a punto di Thomas Savery (1650-1715), ovvero la prima macchina a vapore della storia. Se si guarda oltre una descrizione puramente teorica del suo funzionamento, tuttavia, ci si rende conto di come essa fosse in realtà ben poco funzionale al pompaggio dell'acqua che invadeva le miniere. Le ragioni di un simile limite sono duplici: da un lato, la tecnica beneficia degli avanzamenti ottenuti in campo scientifico - che, a quei tempi e riguardo il calore, erano piuttosto limitati - e, dall'altro, erano limitati anche i contatti tra la comunità scientifica che andava delineandosi e la dimensione della pratica operativa di operai e artigiani.

Tradizionalmente, l'arretratezza scientifica italiana che si registra a partire dalla seconda metà del Seicento in avanti è stata attribuita al controllo esercitato dall'Inquisizione sulla produzione scientifica, conseguenza della rottura tra la Chiesa e la comunità scientifica esplicitata con la condanna di Galileo nel 1633. Verso la fine degli anni Novanta, in concomitanza con un accresciuto interesse per la scienza italiana tra il Sei e il Settecento, sono emersi nuovi punti di vista: l'impatto dell'Inquisizione è stato ridimensionato e si sono citate, come concause, il ritardo nell'acquisizione degli strumenti matematici adatti alle nuove teorie fisiche e ragioni di natura essenzialmente economica (si pensi all'impossibilità di replicare gli esperimenti di Newton a causa dell'indisponibilità del materiale, "lo spato d'Irlanda". In senso più generale, la città in quel tempo versava in condizioni economiche precarie). Non sono da sottovalutare fattori più strettamente culturali/umani, quali una sincera fede cattolica - che potrebbe orientare l'operato di uno scienziato lontano da quello di Galileo e dalla nuova scienza professata nel resto del continente. Ciò che distingue Bologna dagli altri centri scientifici diffusi sul territorio nazionale è l'assimilazione precoce dell'analisi infinitesimale e della geometria analitica: trova dunque conferma la tesi sostenuta da Ugo Badini, secondo cui sono proprio questi gli strumenti che, mancando, hanno determinato l'impossibilità di rimanere al passo con l'avanzamento scientifico europeo.

Nota: Nel presente capitolo si sono impiegati, indistintamente, i termini "fisica" e "filosofia naturale"; ancora per tutto il Settecento, infatti, i campi di indagine di fisica, filosofica, chimica e biologia non erano ben definiti e differenze di terminologia si registrano in diversi contesti. Mentre in Francia l'idea di una fisica sperimentale (*physique expérimentale*) si afferma presto, sul suolo inglese si preferisce parlare, in senso generale, di filosofia sperimentale (*experimental philosophy*). Nell'intento di veicolare questa sovrapposizione terminologica si è dunque preferito mantenere entrambe le denominazioni.

1.3 La diffusione del sapere scientifico

Parlare di *diffusione* del sapere rimanda a due ambiti distinti: è possibile entrare in contatto con i più recenti sviluppi della scienza nel contesto di una cornice didattica²⁶, oppure mediante il tramite dei canali di informazione. Al giorno d'oggi, il riferimento principale in tal senso è costituito dagli articoli di ricerca, pubblicati e resi disponibili a chiunque nutra un interesse in materia. Alla pubblicazione di un cospicuo numero di articoli inerenti uno stesso tema segue, nella maggioranza dei casi, la redazione di un testo o manuale, che viene dato alla stampa e diffuso capillarmente, grazie alla connessione su scala globale che velocizza gli scambi (di idee, ma anche di materiale) nel mondo globalizzato.

Per un uomo del Basso Medioevo - o della prima Età Moderna - tutto ciò non era possibile. La circolazione dei testi era lenta - ma lo stesso si può dire per il Settecento, e, grossomodo, fino al primo Novecento. A questo disagio deve essere aggiunto il fatto che, fino alla metà del XV Secolo, ogni testo esistente era manoscritto: il tempo necessario alla redazione di un manuale era dunque notevole e, in aggiunta a ciò, il numero di copie disponibili molto limitato. L'invenzione della stampa a caratteri mobili migliorò la situazione, sebbene non fosse raro che tra una scoperta scientifica e la sua comunicazione per mezzo di un'opera monografica trascorressero lustri: come si è avuto modo di discutere nella sezione 1.1.3 portando l'esempio di Galilei e Kepler, ancora per tutta la prima metà del Seicento le scoperte scientifiche venivano comunicate soprattutto attraverso la corrispondenza privata (e manoscritta).

In riferimento ai progressi della Fisica tra Sei e Settecento è dunque chiaro come anche le più moderne teorie scientifiche circolassero tanto tra i professori dello *studium* quanto tra i semplici amatori, a patto che questi disponessero di una buona rete di corrispondenza.

Si accennerà, nelle sezioni a venire, al progressivo affermarsi dei periodici a carattere scientifico, alcuni dei quali sono peraltro attivi e contano diverse pubblicazioni ancora oggi; è bene chiarire fin d'ora, tuttavia, come questa neonata forma di diffusione del sapere non soppianti *in toto* e da subito la corrispondenza privata tra scienziati. Rispetto a quanto accade oggi, infatti, nel Settecento riuscire a ottenere un articolo pubblicato (ad esempio) sulle *Philosophical Transactions* poteva risultare, per un accademico bolognese, non meno complesso che mettere le mani sulle pubblicazioni di Newton. Non era infrequente che, per aggirare l'ostacolo, si chiedesse l'intercessione di un qualche corrispondente estero, in grado di inviare il testo desiderato a mezzo posta.

Affrontiamo ora il capitolo relativo alla diffusione del sapere all'interno delle moderne università.

Allora nota come filosofia naturale, nel Seicento la fisica faceva parte delle discipline del *quadrivium*. Era ancora viva ai tempi la distinzione, di origine medievale, tra l'*universitas* (ovvero, l'insieme dei docenti e degli studenti) e lo *studium*, ovvero il luogo in cui essi si ritrovavano per tenere o seguire le lezioni.

Di fatto, l'università stessa era ancora molto legata all'originale modello medievale e restia all'apertura alle nuove frontiere del sapere scientifico. Il latino rimane, per

²⁶Il riferimento è ai gradi più alti di istruzione: la fisica di frontiera la si affronta, ad esempio, soltanto nei corsi di laurea magistrale oppure in percorsi di specializzazione post-laurea *ad hoc*.

tutto il secolo, la lingua universale in cui si esprimeva il mondo accademico, sia nelle conferenze che nelle discussioni che nelle vere e proprie lezioni universitarie e il modello di insegnamento è fondato su una trasmissione passiva del sapere da un insegnante - riconosciuto come depositario della conoscenza - agli studenti. L'elenco degli insegnamenti era preceduto, ancora nel Quattrocento, dal termine *legantur*, ossia *devono essere letti*: lo stile di insegnamento tardo-medioevale prevedeva infatti che il docente affrontasse la lettura di un testo, il commento dello stesso e aprisse infine una discussione con gli studenti riguardo l'argomento trattato. Le lezioni prevedevano, come momento conclusivo, quello della *quaestio*, ovvero una sessione di discussione che coinvolgeva docente e studenti. Soltanto la cattedra di anatomia poteva vantare una didattica parzialmente ostensiva; tutti gli altri insegnamenti erano di stampo verbale e trasmissivo.

Lo studio della filosofia naturale, presupposto imprescindibile per l'accesso alle facoltà di diritto, medicina e teologia, avveniva, ancora nel Seicento, sulla base del corpus dei testi aristotelici. Il percorso iniziava con la lettura e il commento dei *Physica*, per poi affrontare particolari ambiti dello studio della natura attraverso opere del calibro del *De caelo* e *De generatione et corruptione*. La peculiarità dell'insegnamento scolastico si concentrava intorno allo sforzo di impartire e difendere le verità della fede per mezzo della ragione; si comprende dunque l'ostilità mostrata in ambiente accademico verso le nuove scoperte scientifiche. Consapevolezze quali l'eliocentrismo avrebbero messo a dura prova, se non scardinato, l'intero sistema di pensiero. È proprio con l'avvento della Rivoluzione Scientifica che il termine 'scolastico' assume una connotazione sempre più spesso negativa, soprattutto in ambito scientifico. Il momento della *quaestio*, che potrebbe rappresentare una parentesi di libero pensiero e analisi critica dei testi classici, era in realtà un esercizio di applicazione della logica formale di Aristotele e doveva avvenire in conformità alle *auctoritates*, ovvero in accordo a quanto sancito dalle personalità di riferimento per le diverse aree disciplinari (Aristotele per la metafisica, Tolomeo per l'astronomia, Galeno per la medicina). La convinzione degli Scolastici era che l'autorità coincidesse con la ragione; nel basare le loro speculazioni sul principio dell'*ipse dixit*, essi erano convinti di star esercitando al massimo le facoltà razionali. L'autorità afferma quanto afferma perché mossa dalla ragione, secondo loro. Gli stessi Galilei e Kepler, considerati i due grandi simboli del secolo, avevano ricevuto un'educazione scolastica; da questa si allontaneranno, ma essa costituirà sempre un termine di paragone e un punto di partenza per gli sviluppi successivi del pensiero.

L'università come istituzione medievale nasce e poggia su una concezione teologica dell'esistenza, formalizzata - tra gli altri - da Tommaso d'Aquino (1225-1274) e secondo la quale all'essere umano, creato a immagine e somiglianza di Dio, è affidato il compito di utilizzare appieno la propria ragione per fare luce sul disegno divino. In altre parole, la ragione può e deve essere adoperata per comprendere più in profondità le verità della fede. Non a caso, gli studi teologici rappresentavano il punto più alto della formazione medievale: l'*universitas studiorum* era costituita da un insieme di discipline al cui vertice si trovava proprio la teologia. Ma l'*universitas* era anche, al contempo, una *comunità*, un'associazione di maestri e allievi che possedeva un proprio spazio fisico nel quale riunirsi - quasi una sorta di città nella città - e poteva contare sul sostegno e sulla protezione da parte delle autorità ecclesiastiche. In età moderna ha avuto un processo di laicizzazione delle università, favorito (qua-

si paradossalmente) dagli scismi della Chiesa cattolica. La Riforma protestante promossa dal teologo Martin Luther (1483-1546) ha contribuito in maniera determinante a spostare l'interesse accademico dal rapporto dell'essere umano con Dio in direzione del rapporto dell'uomo con la natura. Alla centralità della verità rivelata nelle Sacre Scritture si sostituisce la centralità dell'uomo in quanto interprete della stessa. L'*università degli studi* per come la si concepisce e vive ancora oggi nasce proprio (in Europa) tra Sei e Settecento, con una progressiva laicizzazione, l'apertura ad ambiti disciplinari diversi e, a partire dall'Ottocento, una specializzazione sempre crescente.

1.3.1 Il contesto italiano

«Avevo fin da ragazzo posto da parte la Astrologia giudiziaria, la Medicina e la Teologia, le prime due perché non ci credevo, l'ultima perché volevo crederci.»

- G. Montanari, lettera a Magliabecchi del 22 settembre 1676
BNF, Magl. VIII, 736, 2

L'annessione del territorio di Bologna allo Stato della Chiesa (1506) aveva ridotto a dimensioni cittadine l'antica *Alma Mater*. I rapporti internazionali costruiti negli anni subirono di conseguenza un ridimensionamento, accentuato, a partire dal 1600, da una chiusura dell'università in se stessa: i lettori iniziano a venire reclutati quasi esclusivamente tra i dottori bolognesi e si fa sempre più pressante il controllo censorio da parte delle autorità ecclesiastiche. Non erano accolti con favore i sostenitori delle tesi galileiane, fiorenti nell'Accademia del Cimento e tra cui è possibile riconoscere Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) - che, infatti, coglierà al volo l'occasione di un trasferimento permanente in Francia. Sono queste personalità *moderne* - tra le quali figurano anche Marcello Malpighi (1628-1694) e Geminiano Montanari (1633-1687) - che, comprendendo il pericolo di un isolamento scientifico, non perdono di vista e anzi accentuano il dialogo e le connessioni con le neonate Accademie oltremontane. Una simile paura era tutt'altro che ingiustificata: in quegli anni, in Italia si faticava tanto a reperire informazioni circa le più recenti scoperte scientifiche fatte all'estero quanto a comunicare le proprie. Si è visto come il Settecento rappresenti il secolo dell'affermazione dei periodici, che inaugurano un modo nuovo di fare scienza e garantiscono una più capillare diffusione delle informazioni; la potenzialità di questo nuovo mezzo di comunicazione viene subito compresa dalle personalità scientifiche di spicco dell'area bolognese, il cui desiderio di essere accolti come membri delle maggiori accademie straniere è motivato non tanto (o non soltanto) da una questione di prestigio, ma soprattutto dalla volontà di inserirsi nei circuiti di scambio di informazioni.

Di fronte a una proposta di insegnamento universitario che non riusciva a mantenersi al passo con i tempi (in maniera molto efficace, Carmelo Mammana parla di un'Università *imbavagliata dalla Chiesa*²⁷), sintomo di una struttura fossilizzata e all'interno della quale prevalevano gli esponenti del sapere umanistico, restii all'apertura a nuove idee (specialmente se in contrasto con i principi della fede cattolica), vanno a costituirsi delle strutture parallele alle università nella forma di Accademie,

²⁷Mammana, C., *Le Accademie Scientifiche nel XXI secolo: alcune riflessioni*, in Bollettino Accademia Gioenia Sci. Nat., Vol. 45, n. 375, pp. 680-695, Catania, 2012.

ovvero istituzioni vettori di libero pensiero che spesso si riunivano in salotti privati per discorrere di questioni di avanguardia, senza il limite dettato dalle idee teologiche o politiche allora in voga. Anzi, spesso politica e teologia erano proprio i soli argomenti tassativamente esclusi dalle conversazioni.

Il primato in tal senso è tutto italiano: l'Accademia dei Lincei, prima istituzione di carattere prettamente scientifico sul territorio europeo, viene fondata nel 1603 a Roma. Una differenza sostanziale tra università e accademie - peculiare del territorio peninsulare - riguarda i finanziamenti: mentre le università potevano godere di pubbliche sovvenzioni, le accademie nascevano e venivano alimentate dall'iniziativa di privati, in taluni casi mecenati (come i Medici a Firenze). All'interno di questo scenario non è difficile comprendere le ragioni che hanno reso la maggior parte delle Accademie italiane esperimenti tanto precoci quanto limitati nel tempo.

L'esperienza pioniera in tal senso è quella rappresentata dalla già citata Accademia dei Lincei, il cui nome rimanda direttamente al motto "investigare la natura con occhio di lince", in un'allusione all'acutezza dello sguardo dell'animale che è propria anche dello studioso della natura. Ritroviamo, in questa prima esperienza di cenacolo alimentato dall'amore per la scienza, alcuni dei caratteri che distingueranno anche le successive Accademie. Primo fra tutti è la giovane età dei promotori: il socio fondatore, il romano Federico Cesi, era appena diciottenne nel 1603. Un secondo tratto caratterizzante è la breve vita dell'istituzione, che tramonterà nel 1630 come conseguenza diretta della morte prematura del suo fondatore - un altro elemento ricorrente nella storia delle Accademie del tempo, società a forte impronta personale. A questo primo periodo di attività ne seguiranno in realtà altri due, anche se a distanza di tempo: una prima rinascita avvenne a metà del XVIII Secolo, mentre la seconda prende avvio nel 1801 e perdura tutt'ora. Veniva fatto divieto ai Lincei di appartenenza a qualsivoglia ordine religioso, sebbene essi potessero professare liberamente una propria fede. È soprattutto in questa religiosità non dogmatica che è possibile scorgere un atteggiamento di grande equilibrio e fortemente avanguardistico, per i tempi. Il campo di indagine degli accademici abbracciava l'intero panorama scientifico, attribuendo grande importanza anche alle discipline meccaniche.

A partire dal 1611, l'Accademia annovera tra i propri membri anche Galileo Galilei, personalità fortemente legata a Firenze e alla famiglia dei Medici; e proprio nel cuore del Granducato di Toscana sorse, nel 1657, l'Accademia del Cimento, con il motto "provando e riprovando"²⁸. La maggior parte di coloro che ne facevano parte erano in qualche modo "discepoli" di Galilei, nel senso che si facevano promotori delle dottrine galileiane. La fondazione si deve al principe Leopoldo de' Medici, che, con la collaborazione del fratello Ferdinando, allestì una sala di Palazzo Pitti per le assidue riunioni degli adepti di un sodalizio che non si dotò mai di un vero e proprio programma né di costituzioni, ma al quale bastava il raccoglimento attorno a un tavolo da lavoro e il cimentarsi in esperienze di fisica. Si tratta, dunque, di un primo, importante episodio di mecenatismo: il fatto di non possedere uno scheletro ben definito è dipendente proprio dalla natura dell'Accademia come 'esperimento di corte'.

L'Accademia del Cimento ebbe vita ancor più breve dei Lincei, sciogliendosi appena

²⁸La citazione è mutuata dalla Divina Commedia dantesca (Paradiso, Canto III, 1-3): *Quel sol che pria d'amor mi scaldò il petto / Di bella verità m'avea scoperto / Provando e riprovando, il dolce aspetto.*

dieci anni dopo la sua costituzione - di nuovo, per cause connesse alla dipartita del fondatore (divenuto cardinale), aggravata in questo caso da dissidi interni.

Di grande interesse è la documentazione scritta prodotta dagli accademici del Cimento, che testimonia le diverse esperienze di fisica compiute nel suo decennio di attività. I volumi dedicati alla fisica sperimentale sono ben undici, conservati presso la Biblioteca Nazionale di Firenze. Nel 1667, anno di soppressione dell'Accademia, vide la luce anche una pubblicazione ufficiale, curata dal segretario Magalotti e dal titolo *Saggi di naturali esperienze*²⁹.

Se dovessimo citare, anche per il Cimento, un membro illustre, la menzione andrebbe a Vincenzo Viviani (1622-1703), personalità vicina a Galileo nei suoi ultimi anni di vita e prosecutore dei suoi studi sperimentali.

A differenza di quanto si potrebbe pensare, il rapporto delle Accademie con le Università non fu mai conflittuale. Non era raro che professori dello *studium* fossero al contempo accademici, chi per sincero interesse nei confronti di una pratica scientifica libera da qualsiasi dogma, chi (anche) attratto dalle opportunità che una simile realtà offriva - come il prestigio e l'aumentata possibilità di pubblicazione delle proprie opere. Non tutti i professori universitari sostenevano infatti il modello didattico ancora in voga tra Sei e Settecento, basato sulla lettura e il commento degli autori; ciononostante, entro le mura degli *studia* non potevano che piegarsi alle *Ordinazioni* del 1639, le quali, redatte dal Cardinale Sacchetti, vietavano loro di *uscire dalle materie assignate ne' rotoli, né quelle trasportare fuori dei soliti luoghi, né meno disputare questioni non trattate dagli interpreti che hanno commentato quelle materie assignate*³⁰. D'altro canto, era concesso ai lettori dello Studio di entrare a far parte delle Accademie e persino di tenere lezioni private (chiaramente, al di fuori degli spazi universitari)³¹.

Questa opportunità venne colta da tutti i maggiori scienziati del tempo, da Giandomenico Cassini a Geminiano Montanari, a Marcello Malpighi. Al nome di quest'ultimo, che occupò la cattedra di medicina teorica di Pisa tra il 1666 e il 1691, è legata in maniera indissolubile l'esperienza del Coro anatomico, un'accademia fondata nel 1650 ad opera di Bartolomeo Massari - anch'egli docente di medicina teorica. Come suggerisce il nome, il Coro si occupava di medicina e anatomia sperimentali, sottoponendo a verifica le teorie allora in voga. Si trattò di un'esperienza che avvicinò il Malpighi alla medicina sperimentale e, pur nel breve lasso di tempo in cui rimase attiva (ovvero, fino alla morte del suo promotore, avvenuta nel 1665), attirò verso di sé le ostilità della maggior parte dei colleghi di Massari, i cui attacchi si concentravano soprattutto sul giovane Malpighi.

L'esperienza del Coro anatomico merita una menzione nel presente lavoro non tanto per gli argomenti trattati, quanto piuttosto per la sua organizzazione. È evidente qui - molto più che non nelle esperienze dell'Accademia dei Lincei o del Cimen-

²⁹Nel 2001 è stata pubblicata l'edizione digitale (full text) del testo, oggi consultabile gratuitamente collegandosi al sito web apposito curato dall'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze.

³⁰*Ordinazioni fatte e stabilite per conservare la dignità e riputazione dello Studio di Bologna*, apprestate nel 1639, edite nel 1641 dal Card. Legato G. Sacchetti con l'approvazione del Senato, su cui cfr. E. Costa, Contributo alla storia dello studio bolognese durante il sec. XVII, in «Studi e memorie per la storia dell'università di Bologna», III, 1912, pp. 1-88, da cui sono tratte le citazioni.

³¹*Ordinazioni sui privilegi degli scolari dello Studio*, 1665, emesse dal Card. Carafa (BUB, Ms. 1052, cc. 118-120).

to - il carattere didattico dell'esperienza: accanto a Massari, socio fondatore e già insegnante dello Studio, si riunivano di fatto suoi discepoli, ovvero personaggi più giovani e desiderosi di apprendere secondo metodi all'avanguardia. Si tratta di uno schema che verrà ripreso dalla celebre Accademia degli Traccia (o dei Filosofi), fondata ad opera di Montanari nel 1665 e che accoglierà, tra i suoi affiliati, entrambi i fratelli Marsili (Anton Felice e Luigi Ferdinando). Si trattò di un'esperienza profondamente formativa per entrambi e in particolare per il più giovane, che qui entrò in contatto diretto con l'ideale baconiano della necessità di una storia naturale completa e globale. L'Accademia si occupava di filosofia naturale, illustrando i più recenti risultati della ricerca scientifica attraverso esperimenti sul vuoto, sul peso dell'aria, sulla luce, sul suono. Significativa è l'apertura mostrata da Montanari nei confronti di chiunque desiderasse *vedere per proprio studio altre esperienze particolari*³²; di nuovo, un elemento che tornerà nel progetto di Luigi Ferdinando Marsili.

Se l'Accademia del Cimento guardava all'operato di Galilei come a un punto di riferimento, Montanari si mostra più vicino a Robert Boyle (1627-1691), al quale riconosce il merito di aver condotto *sensate esperienze* pur senza deliberare su questioni di natura metafisica (quali l'esistenza o meno del vuoto). A questa impostazione Montanari (ma tutta la cultura bolognese del tempo, in realtà) guarda con favore anche perché poteva costituire un modo sicuro per poter perseguire la nuova scienza senza incorrere nella condanna da parte della Chiesa.

A credere fermamente e spendersi in maniera diretta per una serena convivenza tra il progresso scientifico e l'autorità ecclesiastica è stato Anton Felice Marsili (1651-1710), convinto del fatto che una simile coesistenza si potesse avere a condizione che non vi fossero intromissioni né della scienza in materia di fede, né della fede in materia di scienza. Dal fratello maggiore, Luigi Ferdinando mutuerà l'apertura del proprio Istituto a chiunque fosse interessato alle attività in esso svolte: Anton Felice parla di *Professori e dilettranti*³³, il fratello si rivolgerà a *cittadini, scolari, artefici, forestieri*³⁴.

Sulla base delle sue ideologie - e mosso dalla convinzione di poter così avviare una riforma dello Studio bolognese -, Monsignor Marsili fonda, nel 1687, due accademie distinte: l'una denominata "filosofia-esperimentale" e l'altra invece "ecclesiastica". Mentre il carattere di quest'ultima era fondamentalmente storico - in quanto ci si occupava dello studio della storia della Chiesa -, la prima si caratterizzava per uno stampo sperimentale in senso ampio: gli esperimenti illustrati dagli accademici non si limitavano alla fisica, ma potevano trattare anche di medicina, anatomia e persino botanica. Dell'Accademia dell'Arcidiacono è stato membro illustre Domenico Guglielmini (1655-1710), ricordato soprattutto per le sue *Riflessioni filosofiche dedotte dalle figure de' sali* - che possiamo considerare a tutti gli effetti un lavoro pionieri-

³² *Avviso dell'esperienze naturali, per mezzo delle quali, oltre i soliti discorsi geografici, si rintraccerà la soluzione di vari problemi nel corso degli studi dell'anno presente, nell'accademia della Traccia che si raduna in casa del Sig. Dott. Geminiano Montanari, pubblico Matematico di questo Studio*, riportato da G. Fantuzzi, op. cit., I (1781), p. 24, e ora anche in M. Cavazza, art. cit., p. 107.

³³ Marsili, A.F., *Idea e metodo delle due Accademie Ecclesiastica e Filosofia Esperimentale aperte in Bologna da mons. Arcidiacono Antonio Felice Marsili in sua casa nel principio dell'anno 1678*, in B.U.B., Ms. 75 II, c. 343.

³⁴ B.U.B., *Le Costituzioni dell'Istituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287, Cap. V., Art. 4.

stico nel campo della cristallografia.

Tale accademia “filosofico-esperimentale” ebbe in realtà vita molto breve, rimanendo operativa per appena un biennio (1687-1689). Ciononostante, si è trattato di un’esperienza che ha indirizzato l’operato del fratello minore di Anton Felice Marsili, Luigi Ferdinando, come si avrà modo di approfondire nel prosieguo del testo.

Rimane da discutere, nel fiorire delle Accademie seicentesche, un’ultima realtà: quella degli Inquieti, il cui motto recitava “Mens agitat”³⁵. Al momento della sua costituzione, avvenuta nel 1691 da parte dell’allora sedicenne Eustachio Manfredi (1674-1739), l’accademia spicca nel panorama bolognese per la sua impostazione, profondamente scolastica: gli Inquieti, riuniti in casa di Manfredi stesso, discorrono di filosofia secondo il metodo da loro appreso nelle scuole, ovvero procedendo per sillogismi e *disputationes*.

Un’ulteriore differenza rispetto alle altre Accademia sorte nello stesso periodo (e massimamente rispetto al Cimento) risiede nella rigida organizzazione degli Inquieti, che avevano previsto per la loro Accademia delle leggi e l’elezione annuale di un Principe.

Dall’impostazione scolastica gli Inquieti si allontaneranno poco a poco, fino ad abbandonarla del tutto in favore di un’adesione allo spirito scientifico più moderno, con ogni probabilità in ragione dell’entrata in contatto con personalità del calibro di Domenico Guglielmini e del medico e anatomista Antonio Maria Valsava. In un certo senso (e seppur in dimensione più contenuta), l’evoluzione dell’Accademia degli Inquieti ricalca, anticipandola, quella che sarà la trasformazione dell’insegnamento impartito all’interno delle Università. Di nuovo risulta significativa (e, forse, determinante) la giovane età degli accademici, ancora nel pieno della loro formazione culturale e perciò maggiormente predisposti ad accogliere idee e metodi avanguardistiche, senza mostrare la chiusura tipica di chi teme che la novità possa intaccare i privilegi. Più che un’istituzione scolastica *gerarchica*, in cui sono distinti nettamente i ruoli del docente e degli allievi, l’Accademia si configurava nei termini di un’esperienza di formazione tra pari.

A partire dal 1700, la storia dell’Accademia degli Inquieti si lega a doppio filo alle vicende biografiche di Luigi Ferdinando Marsili, finendo per confluire nel suo grandioso progetto di costituzione dell’Istituto delle Scienze. Noto ora come Accademia delle Scienze dell’Istituto di Bologna, il gruppo degli Inquieti “sopravvive” ancora oggi tra le mura di Palazzo Poggi e ha annoverato tra i propri affiliati personalità scientifiche sia bolognesi che estere, tra le quali si ricordano Luigi Galvani, Alessandro Volta, Anders Celsius, Laura Bassi, Augusto Righi, Marie Curie, Albert Einstein.

Nel prossimo capitolo, la storia dell’Istituto delle Scienze verrà affrontata nel dettaglio.

³⁵Si tratta di una citazione virgiliana, contenuta in Eneide, VI, 727. La locuzione completa recita “Mens agitat molem”, ovvero “Lo spirito vivifica la materia”. Il motto scelto dagli Inquieti voleva rimandare da un lato al movimento prodotto da una mente universale (coincidente con Dio) nella natura e, dall’altro, al moto (di stupore e meraviglia) prodotto nella mente umana dallo studio della filosofia naturale. Proprio in ragione di questa continua irrequietezza i membri dell’Accademia scelsero il nome di “Inquieti”.

1.3.2 Il contesto europeo

Nonostante si riconoscano differenze - talvolta anche marcate - per quanto concerne gli scenari socio-politici europei, anche nel resto del continente si assistette alla nascita di accademie scientifiche, un'esigenza nata in risposta alla generale incapacità delle università di portarsi al passo con i tempi. In particolare, in Francia e Inghilterra tali istituzioni avevano carattere statale e potevano pertanto beneficiare di pubbliche sovvenzioni. La ragione che spinge gli uomini di scienza a riunirsi, a partire dal XVII secolo, in associazioni di stampo accademico è la stessa già vista per l'Italia: all'interno delle università non vi è spazio per le moderne teorie fisiche, né è possibile il dialogo tra coloro che, spesso per proprio conto, vi si sono avvicinati. Come il lettore avrà modo di constatare nei paragrafi che seguono, dedicati a ripercorrere la nascita delle più celebri Accademie oltremontane - la Royal Society londinese e l'Académie des sciences parigina -, i membri di un'accademia scientifica non necessariamente condividevano fede religiosa e nazionalità. Nonostante al giorno d'oggi questa precisazione possa sembrare superflua - dal momento che la comunità scientifica è una comunità fortemente internazionale, in cui i progetti di ricerca di maggior rilievo vengono portati a termine proprio grazie alla collaborazione tra nazioni diverse -, vale la pena soffermarsi sul tema.

Uno degli eventi che segnano l'avvio dell'Età Moderna è la Riforma protestante; allo scisma tra la Chiesa cattolica e la nuova confessione protestante fanno seguito brutali guerre di religione, che assumono spesso i connotati di conflitti civili. Tali scontri hanno segnato in maniera profonda la classe intellettuale, unificandola attorno al desiderio di pace religiosa e politica, desiderio nato dalla consapevolezza che soltanto in questo scenario la ricerca scientifica sarebbe potuta progredire perseguendo lo scopo delineato da Bacon - ovvero, la pubblica utilità. Se, in una prima fase successiva alla loro costituzione, le Accademie effettivamente sposarono l'ideale di un sapere come bene universale, aperto a tutti e a beneficio della collettività, ben presto lo scenario cambiò. Da bene universale, la scienza passò ad essere concepita come bene *nazionale*, ovvero uno strumento per sancire il predominio di uno Stato sugli altri. Sono i primi, lenti passi di quel nazionalismo che, portato all'estremo, sarà causa latente dello scoppio delle guerre mondiali.

Accanto alle imposizioni derivanti dalle classi dirigenti e dai sempre più frequenti dibattiti circa la paternità di questa o quell'altra scoperta, sono sempre di più le personalità scientifiche che spingono in direzione di una sincera e proficua collaborazione tra le nazioni. Nella rete che si stende tra le accademie italiane e le realtà d'oltralpe è possibile intravedere, quasi fosse una manifestazione precoce o una profezia, quella dimensione di condivisione che troverà il proprio culmine, nel Novecento, con i congressi Solvay.

La Royal Society londinese

La più antica accademia scientifica inglese sorse sulla scia degli incontri tra gli scienziati e i filosofi che, negli anni compresi tra il 1640 e il 1650, scelsero come punto di ritrovo il Gresham College di Londra. Qui il banchiere Thomas Gresham (1519-1579) aveva fondato un'istituzione molto simile all'università nella struttura organizzativa, ma nella quale era possibile approfondire lo studio di discipline non trattate in maniera adeguata all'interno di quest'ultima. È il caso della geometria e della medicina, delle quali si approfondiva soprattutto la componente pratica. Come nel

resto del continente, a questa iniziativa facevano eco diverse altre associazioni, di sovente clandestine e in ogni caso mal tollerate dalla Chiesa. Contemporaneamente, il filosofo Francis Bacon esortava la monarchia inglese a una riforma delle università e alla costituzione di spazi e momenti in cui la scienza potesse progredire in un clima di collaborazione.

Sulla scia di questi fremiti nasce - ufficialmente nel 1660 - la Royal Society, che ricevette l'approvazione reale da parte di Carlo II Stuart (1630-1685) nel 1663 e si dotò del motto *Nullius in verba*, a sottolineare l'impegno sperimentale nella ricerca; è lampante l'antitesi con l'*ipse dixit* professato nelle università.

A differenza dell'Accademia del Cimento e - come vedremo nella prossima sezione - dell'Académie des sciences - e discapito del nome, la Royal Society non fu in rapporti particolarmente stretti con i vertici del potere politico. Questo perché la monarchia inglese non possedeva quei tratti assolutistici tipicamente francesi e, inoltre, re Carlo II non chiese mai agli accademici di tenere dimostrazioni specificatamente pensate per intrattenere e dilettere la corte. Nell'atto costitutivo³⁶ che porta la sua firma riecheggiano i desideri di Bacon: il monarca chiede ai membri della neonata Accademia di adoperarsi per lo sviluppo di tutte le discipline in tutto l'Impero e, in particolare, per il progresso della filosofia sperimentale.

«We look with favour upon all forms of learning, but with particular grace We encourage philosophical studies, especially those which by actual experiments attempt either to shape out a new philosophy or to perfect the old.»

Nel paragrafo immediatamente successivo, tuttavia, si registra un cambiamento di tono: quel 'noi' che sembrava includere la collettività, in un atteggiamento cosmopolita in piena risonanza con le volontà baconiane, viene circoscritto alla comunità scientifica inglese:

«In order, therefore, that such studies, which have not hitherto been sufficiently brilliant in any part of the world, may shine conspicuously amongst Our people, and that at length the whole world of letters may always recognize Us not only as the Defender of the Faith, but also as the universal lover and patron of every kind of truth.»

Tra i venti membri che la Royal Society contava al momento della fondazione si ricordano Robert Boyle (1627-1691) e il segretario Henry Oldenburg (1619-1677), il cui nome è associato alla rivista scientifica che, a partire dal 1665, diviene veicolo di diffusione delle più recenti scoperte scientifiche degli accademici: le *Philosophical Transactions*. Nonostante il periodico fosse chiaramente, fin dai suoi albori, una produzione strettamente connessa alla Royal Society, soltanto nel 1752 questo legame verrà sancito in maniera ufficiale. Per tutta la prima metà del secolo, le *Philosophical Transactions* sono state presentate come iniziativa di Oldenburg - ed è proprio grazie a questo carattere formalmente privato che la rivista ha potuto godere di ampia libertà nelle pubblicazioni e conseguente grande fortuna come rivista scientifica di prestigio. Non era il sovrano a cernire gli articoli per la pubblicazione, ma lo stesso

³⁶Tratto da Peters, M. A., *The Royal Society, the making of 'science' and the social history of truth* (2018), in *Educational Philosophy and History*, Volume 51, pp. 227-232.

Oldenburg; l'autorevolezza del periodico - e, di riflesso, della Royal Society - non era dunque diretta conseguenza dell'autorità reale, ma si andava costruendo mano a mano attraverso quello che oggi chiameremo un confronto tra pari: il consenso e l'approvazione dei membri interni - così come dei corrispondenti esteri - era lo strumento attraverso cui si andava legittimando il lavoro dell'accademia guidata da Oldenburg.

L'Académie des sciences parigina

Quasi contemporaneamente alla fondazione della Royal Society, sul suolo francese vede la luce - sotto l'egida di Luigi XIV - un'istituzione di carattere analogo, che prese il nome di Académie des sciences. Come nel caso dell'Inghilterra, non si trattò di un'iniziativa originale proposta dal sovrano, quanto piuttosto della formalizzazione e del riconoscimento di una realtà che esisteva già, sebbene in forma privata. A partire dal 1648, infatti, scienziati del calibro di Pierre Gassendi (1592-1655) e Christiaan Huygens (1629-1695) si erano riuniti intorno alla figura di Henri-Louis Habert de Montmor (1600-1679), un uomo di lettere con interessi scientifici che aveva concesso casa propria come sede per le riunioni del gruppo di scienziati, che divenne noto come 'Académie Montmor'.

Come già visto per esperimenti simili costituitisi sul suolo italiano, tale sodalizio ebbe tuttavia vita breve: cessò la propria attività già nel 1664 - a causa, pare, di screzi interni. Fu proprio uno dei membri di tale accademia, Adrien Auzout (1622-1691), a portare all'attenzione del sovrano francese la necessità di sovvenzioni per la ricerca scientifica. Sebbene l'autorizzazione di Luigi XIV alla costituzione dell'accademia sia datata 1666, gli statuti ufficiali vennero sottoscritti tre anni più tardi e ricevettero regia approvazione soltanto nel 1713. Nei suoi primi anni di vita, l'Académie des sciences si configurava più come un'istituzione governativa subordinata alla monarchia che come una vera e propria accademia scientifica. Questa mancanza di indipendenza è una connotazione che non abbandonerà mai del tutto la realtà scientifica parigina, pur attenuandosi nel tempo soprattutto in seguito alla tessitura di una fitta rete di corrispondenze tra gli scienziati dell'Académie e gli studiosi di altre nazionalità. A sua volta, questo legame con la scienza europea è il risultato dei lavori redatti dagli accademici, che, già nel 1699, costituivano un importante biglietto da visita.

Rispetto alla Royal Society, tuttavia, l'Académie rimarrà molto più legata al proprio sovrano che non alle realtà ad essa analoghe: il fatto che fosse lo stesso sovrano a legittimare l'operato degli accademici impedì una connessione profonda con il mondo scientifico europeo, così come limitò notevolmente il riconoscimento dei contributi dei singoli scienziati. Anche all'Académie era associata una pubblicazione, il *Journal des Sçavans*, il quale presentava tuttavia caratteri ben distinti rispetto alle *Philosophical Transactions* della Royal Society: non si trattava, infatti, dell'organo di comunicazione ufficiale dell'accademia - nonostante qui venissero pubblicati i resoconti dei lavori svolti dai suoi membri. Resoconti che apparivano in forma breve e mai accompagnati dal nome dell'autore della scoperta o dello studio, allo scopo di veicolare l'idea che quanto trasmesso fosse l'esito di un lavoro corale, svolto da scienziati di prim'ordine accuratamente selezionati dal sovrano in persona. A questo legame con la corona l'Académie riconduceva la propria autorevolezza, che non ricer-

cava dunque né nel confronto tra i propri membri né tantomeno nella corrispondenza con l'estero.

Ci si è interrogati a più riprese sulle ragioni che hanno spinto la monarchia francese a propendere, inizialmente, per l'isolamento della propria comunità scientifica e sulle conseguenze di un simile scenario. I più recenti risultati in storia della scienza suggeriscono di allargare lo sguardo alla comprensione delle dinamiche sociali allora in voga dentro e fuori le comunità scientifiche, governate da precisi codici di comportamento. L'affermarsi della dimensione delle Accademie generò un ampio dibattito proprio intorno alle norme di comportamento alle quali gli accademici si sarebbero dovuti attenere nel presentare i propri lavori, tanto all'esterno quanto ai principi loro mecenati. Nella Francia assolutista del Re Sole - molto più che nella Bologna pontificia o nell'Inghilterra di Carlo II -, tali codici erano particolarmente stringenti. Il fatto che il sovrano si facesse garante dell'autorevolezza dell'Académie richiedeva di sottoporre a un attento controllo le pubblicazioni della stessa accademia - proprio in ragione di questo legame diretto e al fine di scongiurare possibili imbarazzi o discrediti per la monarchia. Al contempo, l'ingombrante figura del sovrano ha permesso agli accademici di acquisire con calma i codici e le buone maniere della società colta, preservandoli inizialmente all'interno di uno spazio sociale protetto. La volontà di oscurare i nomi dei singoli scienziati all'interno delle pubblicazioni risponde anche alla volontà di evitare - per quanto possibile - dispute in merito alla paternità. È rimasto a lungo impresso nella memoria del tempo un episodio che ha coinvolto le figure di de Roberval e de Montmor - il già menzionato fondatore dell'Académie Montmor. A differenza di quest'ultimo, Gilles de Roberval (1602-1675) non poteva definirsi esattamente una personalità di alto rango: ciononostante - e con l'aggravante di essere in quel momento ospite in casa di de Montmor -, pare abbia rivendicato, con toni tutt'altro che pacati, la propria superiorità intellettuale rispetto a questo³⁷. Nonostante esistessero dei veri e propri manuali di galateo³⁸, le accademie scientifiche non annoveravano nei loro ranghi soltanto esponenti dell'aristocrazia o gentiluomini avvezzi alla vita di corte: molti studiosi di scienze erano legati maggiormente alla dimensione artigiana - o, comunque, borghese. Inoltre, non erano infrequenti gli episodi di sovvertimento delle regole del buongoverno da parte di esponenti della comunità scientifica desiderosi di mutare un codice di comportamento che rifletteva distinzioni sociali e dava maggior peso alle parole di uomini di spicco anziché di chi tali parole le suffragava.

Il 'problema delle buone maniere' si presentava all'interno di tutte le accademie scientifiche, che si prodigarono per stabilire i punti sui quali dovesse fondarsi una discussione costruttiva ed educata. Ad esempio, il supportare le proprie conclusioni con le evidenze sperimentali e il rifiuto di qualsivoglia approccio dogmatico assicuravano la collaborazione non soltanto tra i membri di una stessa accademia, ma anche tra scienziati di diversa affiliazione. I buoni rapporti con i principi e sovrani (che, lo ricordiamo, erano i maggiori finanziatori della ricerca scientifica) erano garantiti da un'accurata scelta dei temi affrontati: sul suolo francese era assolutamente bandita qualsiasi argomentazione che potesse mettere in discussione la legittimità del potere assoluto. L'Académie, dunque, pur godendo di grande prestigio presso la corte francese, incontrò difficoltà notevoli nell'estendere tale prestigio all'esterno.

³⁷Come si legge in una lettera, datata 6 dicembre 1658, inviata da Boulliau a Huygens.

³⁸Tra questi si segnala il *Nouveau traité de la civilité*, redatto nel 1671 da Antoine de Courtin.

È proprio all'interno delle Accademie sorte a cavallo tra Sei e Settecento che va poco a poco delineandosi la struttura dei contemporanei gruppi di ricerca: pur in una condizione di effettiva subordinazione al potere politico (o, meglio, ai poteri politici), la comunità scientifica riesce a trovare spazio per la costituzione, sperimentazione e validazione di metodologie di ricerca e pubblicazione atte a garantire il progresso della conoscenza.

A cavallo tra Sei e Settecento, il termine “accademia” assumeva un significato diverso dall'accezione contemporanea. Secondo Treccani³⁹, oggi un'accademia identifica un

Istituto d'insegnamento, in genere di carattere superiore (nei paesi anglosassoni, secondario), spec. d'arte, recitazione, ecc., o di scienze militari e affini: *a. musicale; a. d'arte drammatica; a. cinematografica; a. di danza; a. militare; a. navale; a. aeronautica.*

Questo si legge al punto 3 della voce *accademia*; al punto precedente si trova invece una caratterizzazione delle accademie in epoca moderna:

Associazione permanente di studiosi, retta da un proprio statuto, istituita con lo scopo di curare e promuovere le lettere, le scienze e le arti; anche il luogo di riunione o la sede degli uffici: *A. della Crusca* (fondata nel 1582), *A. dei Lincei* (1603), *A. del Cimento* (1657), *A. dell'Arcadia* (1690) [...]

Rispetto al carattere permanente delle Accademie, Cavazza sottolinea come il termine potesse anche genericamente indicare, al tempo, *una riunione di più persone per discutere un tema comune [...] senza alcuna pretesa di continuità e periodicità* [10]. Nell'accezione più generale del termine questo può certamente essere il caso; tuttavia, la pretesa di periodicità è a mio avviso sottintesa nel momento in cui un'assemblea di persone decide di dotarsi di un nome, un motto e, in molti casi, persino di uno statuto.

In conclusione è possibile convenire come il ruolo delle Università nell'evoluzione della cultura scientifica tra Sei e Settecento sia stato, al massimo, marginale. Non vi è personalità scientifica di spicco del tempo il cui nome e la cui attività siano legati esclusivamente all'ambiente universitario: la ricerca scientifica e la discussione dei risultati che la stessa ha prodotto sono attività che, fino all'Ottocento, venivano svolte all'interno delle Accademie, luoghi in cui per primi è stata sperimentata la didattica ostensiva.

È piuttosto comune la posizione di chi sostiene che le accademie scientifiche sorte in Italia nel Sei e Settecento non avessero come scopo la diffusione del sapere e si distinguessero in tal senso dai moderni centri di ricerca, avvicinandosi più alle accademie letterarie fondate a partire dal Quattrocento (riferimento più prossimo per le accademie di carattere scientifico). Questa posizione viene in realtà smentita dal carattere di molte delle accademie sopra menzionate, nelle quali avveniva o una

³⁹Treccani online: <https://www.treccani.it/vocabolario/accademia/>. Consultato in data 10 settembre 2023.

formazione tra pari oppure una vera e propria trasmissione di informazioni da un docente a degli allievi. A differenza di quanto avveniva nelle accademie letterarie, spesso accessibili soltanto da parte di persone di grande cultura ('addottorate'), le accademie scientifiche mostravano un'apertura a un pubblico potenzialmente illimitato, ammettendo tra i requisiti soltanto la curiosità e l'interesse nei confronti della nuova scienza. D'altra parte, i tempi non erano ancora maturi per la presa in carico, da parte delle Accademia, della odierna terza missione, demandata alle Università: la divulgazione scientifica acquisirà forma soltanto a partire dal secondo Settecento. Nei decenni successivi all'avvio dell'attività presso l'Istituto delle scienze bolognese, diverse università apriranno le porte all'insegnamento della fisica sperimentale; nel 1738 è il turno di Padova, dove la cattedra viene affidata a Giovanni Poleni.

L'Università moderna, articolata in settori disciplinari ben caratterizzati, giungerà a piena costituzione soltanto nel corso dell'Ottocento. Una svolta decisiva sarà segnata dall'annessione di buona parte dell'odierna Italia settentrionale all'Impero francese di Napoleone Bonaparte (1769-1821) nei primi anni del XIX secolo. Ora sotto giurisdizione francese, il sistema educativo vigente doveva uniformarsi a quello oltremontano: un'istruzione di stampo laico, gratuita e obbligatoria per il grado primario, a cui poteva seguire l'istruzione media, quella superiore e, infine, quella universitaria. Con Napoleone l'università italiana diviene un'istituzione autonoma, assumendo la struttura che, in gran parte, la caratterizza tutt'oggi.

Capitolo 2

La nascita dell'Istituto delle Scienze di Bologna

2.1 Il contributo di Luigi Ferdinando Marsili

2.1.1 Cenni biografici

Luigi Ferdinando Marsili nasce a Bologna il 10 luglio del 1658, quinto di sei fratelli, all'interno di una famiglia di nobili origini appartenente al rango senatorio. La madre, Margherita Ercolani, faceva parte, a dire di Fantuzzi, *una delle più splendide famiglie di Bologna* [19]; al padre Carlo Francesco si deve il titolo nobiliare, che Luigi eredita in seguito alla rinuncia da parte del primogenito, Anton Felice. La famiglia Marsili era al tempo celebre e illustre non soltanto per i propri natali, ma anche e soprattutto perché contava, tra i propri ranghi, personaggi di alta risonanza intellettuale. È il caso dello zio di Luigi Ferdinando, Cesare Marsili, membro dell'Accademia dei Lincei ma, soprattutto, corrispondente diretto di Galileo Galilei, conosciuto a Roma nel maggio del 1624 e con il quale - come dimostra il tono della corrispondenza - stabilì fin da subito un rapporto amichevole, alimentato dalla condivisione dell'interesse per la sperimentazione e gli apparati scientifici.

In seguito all'annessione allo Stato Pontificio (1506), Bologna era amministrata da un governo misto, ovvero dalla compresenza del Senato e della Chiesa. Espressione del potere pontificio era la figura del Cardinale Legato, il quale esercitava un ruolo di primo piano anche nell'amministrazione dell'Università. Eccezion fatta per gli scontri tra Senato e Chiesa, la città in questo periodo gode di un periodo di tranquillità che avrà fine soltanto al tramontare del secolo, con l'avvento delle truppe napoleoniche. La fortuna di Bologna era, già ai tempi, legata alla sua posizione strategica: la città costituiva infatti una tappa obbligata per tutti coloro che desiderassero spostarsi tra le città toscane e Padova o Venezia, tra Roma e il Nord Europa. Come le antiche colonie greche dell'Asia Minore videro il sorgere della filosofia proprio in ragione del loro essere un crocevia primariamente di idee e influenze culturali provenienti da più parti, così Bologna assorbì e rielaborò gli influssi culturali provenienti soprattutto dalle più feconde capitali europee.

Le fonti biografiche consultate sono concordi - e lo stesso riconosce Marsili in persona - nel ricondurre la nascita del suo amore per le discipline scientifiche e il

“collezionismo” al primo soggiorno a Padova, dove si recò all’età di quindici anni in compagnia del padre: in quell’occasione ebbe modo di visitare l’orto botanico dell’Università, del quale rimase affascinato. Dei lettori in servizio presso l’Università di Bologna, una volta tornato in patria Marsili frequentò Marcello Malpighi, Geminiano Montanari e Lelio Trionfetti; a tutti e tre si riferisce come ai suoi maestri, non risparmiando parole di lode nei loro confronti. Trionfetti lo sostenne nello studio delle scienze naturali, mentre Malpighi era soprattutto un anatomista; a Montanari deve invece lo sviluppo di competenze nel campo della matematica. D’altra parte, il percorso formativo di Marsili sarà tutt’altro che regolare: non frequenterà l’Università né conseguirà mai alcun titolo, ma si formerà nel corso dei suoi innumerevoli viaggi, entrando in contatto con personalità di spiccata erudizione e, spesso, anche come autodidatta. Sebbene fossero anche lettori dello Studio, non è esattamente nelle aule dell’Università che Marsili entra in contatto con le maggiori personalità scientifiche del tempo: si ricordi che Geminiano Montanari ebbe un ruolo decisivo per la fondazione dell’Accademia della Traccia, della quale facevano parte anche Malpighi e Trionfetti e, successivamente, divennero membri Luigi e il fratello Anton Felice. È da Montanari che Marsili mutua l’ideale baconiano di una scienza da indirizzare alla pubblica utilità: grazie a lui si avvicina cioè allo *sperimentalismo baconiano*.

Gli anni giovanili videro Marsili coniugare studio ed esercizi cavallereschi, secondo il costume del tempo. Nel 1678, all’età di vent’anni, conclusi gli studi matematici egli inizia a riflettere circa la carriera da intraprendere. La scelta ricade infine sul mestiere delle armi, che al pari di una carriera amministrativa poteva soddisfare l’esigenza di porsi al servizio dello Stato ma, in aggiunta, non avrebbe privato Marsili dell’opportunità di conoscere il mondo.

Come anticipato, Bologna attraversava in quel periodo un’epoca di pace; i conflitti erano altrove, primariamente sul versante turco. Al confine con l’Impero Austriaco, in particolare, i Turchi mostravano un’insofferenza crescente nei confronti dei limiti imposti loro dal trattato di Nimega. Da tempo Marsili aveva in programma un viaggio in Turchia, desideroso di conoscere tanto l’organizzazione politico-militare dell’Impero ottomano, quanto usi e costumi di una popolazione tanto lontana da quella occidentale; per poterlo affrontare in sicurezza, tuttavia, aveva necessità di ricevere un incarico ufficiale che lo portasse a Costantinopoli. L’occasione si presentò nel 1679, quando la Serenissima Repubblica di Venezia gli concesse di accompagnare il nuovo bailo, Pietro Civran, alla volta della capitale ottomana, con il titolo di *camerata* - ovvero, ambasciatore. Al titolo non si accompagnavano mansioni ufficiali, per cui Marsili ebbe modo di dividere il proprio tempo tra le osservazioni scientifiche e lo studio etnografico della popolazione locale. Nelle osservazioni naturalistiche e fisiche non operò totalmente da autodidatta, ma poté beneficiare di una fitta corrispondenza con Malpighi e Montanari, che aggiornava sui progressi compiuti. È in questo periodo che Marsili si avvicina a studi di carattere oceanografico: le conclusioni tratte dall’analisi dei venti, delle correnti, della temperatura delle acque e della struttura delle coste oceaniche confluiranno nella sua opera più nota, l’*Histoire physique de la mer* (1725).

Rientrato a Venezia sul finire del 1680, trascorse i mesi invernali a Bologna nella sofferenza per il lutto provocato dalla scomparsa del padre. In questo periodo maturò in maniera definitiva la decisione di dedicarsi al mestiere delle armi, riuscendo ad

arruolarsi nell'esercito asburgico - anche grazie alla mediazione dell'allora pontefice, Innocenzo XI. La volontà di respingere l'offensiva turca in Ungheria (allontanando così il nemico dal cuore dell'Europa) lo spinse a intraprendere analisi e studi di fortificazioni; purtroppo, i suoi progetti per la difesa delle città sul fiume Rabà si rivelarono fallimentari e, in seguito alla sconfitta, venne rapito e trattenuto in schiavitù dai tartari per circa un anno.

Una volta intrapresa la carriera militare, il tempo da poter dedicare all'approfondimento delle scienze naturali e alle osservazioni geografiche sarebbe in teoria dovuto essere limitato dagli incarichi militari ai quali era chiamato; in realtà, Marsili non perdeva occasione di assecondare la propria passione. Anche una volta imprigionato e incaricato di costruire trincee ne approfittava per osservare e registrare la maniera turca di realizzarle: *parlerà di [trincee] tanto profonde ch'ugualmente ad essi ed a' nemici sono d'intrigo*. E lo stesso fa quando, sempre prigioniero, viene inviato a servire caffè all'interno di una bottega; addirittura, una volta riconquistata la libertà pubblica un'opera inerente la bevanda e le sue proprietà.

Dalla lettura dell'autobiografia marsiliana emerge, in diversi punti, la necessità che il Generale aveva di conoscere e studiare ogni elemento a lui nuovo e inedito. Scrive: *Usciti dalla città, dopo il viaggio di un giorno ci accampammo sotto quattro noci; ed in quel sito ebbi comodità di osservare il campo di Buda e la di lei situazione, formandone con foglie di erba sulla carta alcun segni, con intenzione di darne notizia per l'assedio della medesima [...]*. Ancora: *Partito poi per il Sirmio, vi giunsi nel tempo d'un orrido freddo e d'altissime nevi, che pur non m'impedirono di far la suddetta ricognizione, con mappa e relazione. Speditamente infine, col pretesto di mera curiosità, mi portai a Belgrado [...] era la mia intenzione di riconoscere il tratto del suddetto fiume insino al confluente del Danubio*. [32]. La curiosità assurge dunque a motore per la ricerca, e in Marsili emerge specialmente riguardo questioni di pratica utilità. La biblioteca che poi cederà all'Istituto delle Scienze conta un cospicuo numero di manoscritti rari di provenienza orientale, ottenuti proprio durante le spedizioni a fini militari.

Una volta tornato in libertà e acquisito il grado di ufficiale, Marsili tornò al servizio dell'impero asburgico, fornendo ai vertici militari preziose informazioni strategiche circa la città di Buda - allora occupata dai turchi, ma che capitolò in breve tempo grazie soprattutto all'operato dello stesso Marsili.

In campo militare, Marsili si distinse soprattutto per le sue abilità strategiche, tanto nella progettazione di offensive (migliorie per incrementare l'efficacia dell'artiglieria) che di difensive (mirate a massimizzare l'efficacia delle fortificazioni). A testimonianza del suo impegno, un'intera sala dell'Istituto delle Scienze è dedicata, ancora oggi, all'arte militare. Qui è possibile apprezzare un'esposizione di elementi di artiglieria e le stesse pareti della sala ospitano una serie di pannelli lignei che illustrano modelli teorici per la fortificazione di città.

Tra il Quattrocento e il Settecento si registrarono cambiamenti dal punto di vista dell'organizzazione e della conduzione delle campagne militari: vennero introdotte le armi da fuoco, gli eserciti permanenti e i rami specialistici delle milizie - quali il genio e l'artiglieria. Marsili vedeva nella guerra una fonte di ispirazione per l'innovazione tecnologica; anziché come una forza distruttiva, la interpretava in termini di un impulso alla crescita scientifica e tecnologica. È questa la ragione per cui,

all'interno dell'Istituto, egli decide di raccogliere testimonianze di un'applicazione pratica delle discipline che gli studenti affrontavano, nelle aule dell'Università, soltanto da un punto di vista teorico. L'ingegneria e l'arte militare diventano campi di applicazione per la matematica e la fisica, la chimica e la balistica. A tale scopo concorrevano anche dei modelli plastici, impiegati in vere e proprie esercitazioni pratiche: utilizzando miniature di soldati di colore bianco (così da creare un netto contrasto rispetto allo sfondo nero) si mettevano in scena le diverse tecniche offensive e difensive, allo scopo di individuare quella vincente. Nemmeno l'arte militare era esentata, dunque, da uno scopo didattico.

Un'ulteriore qualità che viene riconosciuta a Luigi Ferdinando Marsili è la notevole abilità diplomatica, dimostrata soprattutto nelle trattative che condussero alla firma della pace di Carlowitz (1699), i cui accordi segnarono il tramonto dell'impero ottomano. Il suo genio militare e ingegneristico venne successivamente messo al servizio della ridefinizione dei confini, secondo le trattative siglate.

La carriera militare si concluse, non per volontà di Marsili, nel 1704, anno in cui venne congedato dall'esercito in seguito alla perdita di Breisach nel contesto della guerra di successione spagnola. La città occupava infatti una posizione strategica, per cui la resa quasi subitanea a Luigi di Francia - decisa dal Conte Filippo D'Arco - ebbe come conseguenza l'accusa e poi il processo per tradimento. Pare che tra D'Arco e Marsili non corresse buon sangue: chiamati a collaborare per la difesa della piazza di Breisach, le loro opposte idee riguardo la probabilità di un attacco nemico li portarono alla disputa. D'Arco, infatti, si rese conto troppo tardi di come Marsili avesse ragione nel chiedere rinforzi e progettare efficientamenti per le fortificazioni della città: a differenza sua, riteneva infatti prossima un'offensiva da parte francese. La resa costò a Filippo D'Arco la vita, mentre a Marsili il congedo con disonore. Onore che egli in verità tentò di recuperare, recandosi personalmente a Vienna, presso l'imperatore, per rendere conto della propria innocenza - riconoscendo come responsabili della sconfitta l'ormai defunto Conte D'Arco e il margravio di Baden, Ludwig Wilhelm. La riabilitazione arriverà soltanto anni più tardi; Marsili aveva nel frattempo deciso di abbandonare la carriera militare.

Si apre così l'ultimo capitolo della sua vita, dedicato interamente allo studio, all'osservazione scientifica e al progetto di costituzione dell'Istituto delle Scienze.

Luigi Ferdinando Marsili morirà il primo novembre del 1730, a distanza di circa sei mesi da un colpo apoplettico che lo aveva sorpreso in Provenza. Farà in tempo a rientrare nella città natale e sancire il passaggio di tutte le sue opere manoscritte all'Accademia delle Scienze.

2.1.2 I contatti con l'Europa

Nonostante i significativi contributi apportati in diverse aree della scienza, eccezione fatta per Bologna, la figura di Luigi Ferdinando Marsili gode di maggiore fama all'estero che non in Italia.

Già da una prima analisi del materiale contenuto nel fondo archivistico omonimo dell'Università di Bologna si evince il cosmopolitismo dello scienziato, la cui corrispondenza lo lega alle principali centri europei e la cui produzione spazia dall'italiano, al latino, al francese, contando anche contributi redatti in ungherese e turco. La carriera militare lo portò a Costantinopoli, a Vienna, in Svizzera e in Germania, in



Figura 2.1: *Ritratto di Luigi Ferdinando Marsili, incisione di Marchi.*

Ungheria e in buona parte della regione attorno Danubio, a Parigi e a Montpellier, a Londra e Leida (per citare soltanto alcune delle mete visitate).

La sua fama in territorio italiano è connessa principalmente alla rinomanza dell'Istituto delle Scienze di cui è fondatore; nel resto d'Europa viene invece ricordato primariamente per i contributi apportati in diverse aree delle scienze e per le sue abilità nel campo della strategia militare. È principalmente nel corso dei suoi soggiorni in Francia che Marsili ha condotto analisi e studi approfonditi circa il mare e le correnti, studi per i quali è considerato il fondatore della moderna oceanografia. In territorio austriaco ha dato prova delle proprie capacità di cartografo e stratega, avendo contribuito in maniera determinante alla riscossa occidentale sugli Ottomani - culminata con la firma la pace di Carlowitz - e presentando un contributo significativo alla successiva ridefinizione dei confini. Giunto nell'attuale Ungheria, trovò in un sovrano d'altri tempi, Mattia Corvino (1443-1490), una figura per certi aspetti a lui affine, quasi un predecessore: come Marsili, anche Corvino nutriva un profondo interesse per la cartografia e, allo scopo di realizzare mappe accurate dei territori sotto la propria giurisdizione, fu tra i primi esploratori del Danubio. Pare che Marsili sia ricordato anche per essere riuscito a salvare da un incendio molti dei libri contenuti nella biblioteca del sovrano. Dei mesi trascorsi in Turchia sono celebri gli studi inerenti la pianta del caffè e le osservazioni circa le correnti del Bosforo. Si ricordi, infine, che le sue maggiori opere videro la stampa in Olanda, ad Amsterdam, e non in territorio italiano - aspetto, questo, comune alla maggioranza delle pubblicazioni scientifiche del tempo e ascrivibile alla volontà di non dover richiedere l'*imprimatur* ecclesiastico, in un periodo in cui la censura inquisitoria era ancora piuttosto attiva. Si vuole ora restringere il campo di indagine ai rapporti che legano Marsili ai due principali centri culturali europei del secolo, ovvero Londra e Parigi - dimora delle principali accademie scientifiche.

A Parigi Marsili si reca nel 1706, desideroso tanto di ricevere dal sovrano gli onori negati in seguito al congedo con disonore dall'esercito asburgico quanto di ampliare

il proprio bagaglio culturale con nuove osservazioni nel campo delle scienze¹ e delle arti. Oltre alle osservazioni naturalistiche, Marsili poté beneficiare del contatto con scienziati di prim'ordine: dalle conversazioni intrattenute con il medico personale del duca d'Orléans, l'Aubéry, apprese di chimica, mentre la visita all'Osservatorio astronomico - e alla sua collezione di apparati quali cannocchiali e sestanti - lo vide beneficiare della compagnia di Giacomo Filippo Maraldi, nipote del più celebre Cassini. Non mancarono le osservazioni anatomiche, illustrate da Jean Méry. Alla prestigiosa Académie des sciences potrà associarsi in qualità di membro effettivo a partire dal 1715; già al tempo del suo soggiorno in territorio francese, tuttavia, i rapporti con tale istituzione si caratterizzavano per una profonda stima reciproca. Il 6 marzo del 1705 Marsili scrive al segretario dell'Académie, Bernard Le Bovier de Fontenelle (1657-1757), nel tentativo di guadagnare il sostegno alla propria causa anche da parte delle istituzioni culturali - oltre che politiche. Nonostante la risposta di Fontenelle, pervenuta un paio di mesi più tardi, sia negativa in tal senso (in qualità di portavoce dell'Académie egli si astiene dal formulare giudizio alcuno in merito al discredito militare), essa è al contempo ricca di lodi nei confronti del Marsili scienziato, che viene incoraggiato a proseguire le proprie ricerche - soprattutto nel campo della geografia -, e altresì a comunicarne gli esiti all'Accademia.

« [...] Non spetta a lei [all'Académie] giudicare i sovrani, e si mantiene silenziosa e rispettosa su ciò che li riguarda; ma poiché conosce da tempo la vostra abilità sia in guerra che nelle scienze, sarà sempre ben disposta a credere a tutto ciò che è più vantaggioso per voi. Quanto le avete comunicato sulla posizione delle montagne in Europa la ha resa desiderosa di saperne di più; sarà lieta di trarre beneficio dai vostri insegnamenti. [...]»².

Marsili seguì il consiglio di Fontenelle, trasferendosi da Parigi a Montpellier e poi a Cassis per proseguire i propri studi scientifici.

I contatti con l'Académie - e, più in generale, con la realtà culturale francese - si erano stabiliti in realtà ben prima del 1706, grazie alla mediazione di Giovanni Domenico Cassini. Quest'ultimo era noto a Bologna per i propri studi astronomici e per la realizzazione della meridiana che ancora oggi è presente nella Chiesa di San Petronio (1655); già docente di matematica e astronomia presso l'Università, nel 1669 accolse l'invito del ministro Jean-Baptiste Colbert (1619-1683) a trasferirsi a Parigi - dove era largamente apprezzato e dove gli venne commissionata la realizzazione dell'Osservatorio astronomico prima e la sua dirigenza in seguito. Marsili entra in contatto con Cassini nel 1695, anno in cui lo contatta per rivolgergli alcune domande a proposito dell'astronomia applicata alla geografia. In particolare, Marsili chiedeva di esplicitare il metodo da Cassini medesimo messo a punto per la determinazione delle longitudini. Un simile tema era comprensibilmente di grande interesse per Marsili, che ne vedeva l'utilità pratica in ottica geografica e, forse, anche militare.

¹Queste sono contenute in BUB Ms. 84, Opuscoli diversi Vol. II, Fasc. A.n.n., *Osservazioni erudite, fatte a Parigi e Montpellier dal Gen. Marsili l'anno 1706*.

²Clementini D., *Luigi Ferdinando Marsili. Viaggio tra le scienze*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Filosofia, Ciclo XIX, Università degli Studi di Bologna, a.a. 2006-2007. p. 124, traduzione mia

In quello stesso anno Cassini si trovava a Bologna per controllare lo stato della meridiana sopracitata; oltre a rispondere alle richieste di Marsili (che, tuttavia, non incontrerà personalmente), Cassini lo invita a prendere parte a un 'circolo' di osservatori sparsi in diverse parti del mondo. Convinto dell'utilità di un simile gruppo di lavoro, Marsili si mette in contatto con le proprie conoscenze tedesche: chiede a Christoph Eimmart di fargli da mediatore per la costruzione di un sestante e un quadrante azimutale e lui incarica del lavoro Johannes Christian Sturm, un astronomo di Altdorff - cittadina celebre per ospitare abili costruttori di strumenti scientifici. Questi strumenti vennero utilizzati da Marsili per alcune osservazioni lungo il Danubio, operazione che egli poté compiere avvalendosi della collaborazione di Johann Christof Müller - già assistente di Eimmart. Su indicazione di questo, nel 1700 Marsili chiese a Giuseppe Campani (allora a Roma) la costruzione di un cannocchiale e diverse lenti. Da due lettere³ inviate da Francesco Martino Vespigiani - intermediario di Marsili presso Campani - apprendiamo che nel febbraio del 1700 Vespigiani aveva inoltrato a Campani l'ordine di un cannocchiale di 20 palmi, un microscopio e alcune lenti.

Dato il ruolo di primo piano che Cassini ricopriva a Parigi, non è possibile escludere che abbia portato in Francia parte dell'esperienza bolognese delle accademie, in una rete di influenze reciproche della quale è difficile trovare l'iniziatore. D'altra parte, nonostante la decisione di permanere stabilmente in Francia, Cassini manterrà contatti epistolari con i colleghi di Bologna, e, principalmente, con Geminiano Montanari - il quale è a sua volta e come si è visto profondamente legato a Marsili. Cassini rappresenta dunque, in questo contesto, un canale preferenziale di comunicazione diretta tra l'esperienza francese e quella bolognese, potendo quest'ultima beneficiare della conoscenza dei progressi compiuti in Francia grazie proprio alla mediazione di Cassini, il quale soleva inviare ai colleghi i giornali dell'Accademia parigina. D'altra parte, Eustachio Manfredi e Vittorio Francesco Stancari erano impegnati, negli anni compresi tra il 1700 e il 1701, in una proficua attività di osservazione astronomica a Bologna, che li divideva tra la specola di palazzo Marsili, quella presente nel palazzo del Davia e la meridiana di San Petronio; i risultati di tali osservazioni saranno inviati proprio a Cassini e Maraldi a Parigi.

Gli anni intorno al 1670 sono quelli nei quali si registra la più fervente attività dell'Accademia della Traccia; negli stessi anni si fanno più intensi gli scambi epistolari tra alcuni membri del sodalizio bolognese e Henry Oldenburg, allora segretario della Royal Society londinese. Tale corrispondenza influenzò in maniera determinante il pensiero del maggiore dei fratelli Marsili e, conseguentemente, l'operato del fratello Luigi - il quale aveva al tempo poco più di dieci anni e, pertanto, non visse in prima persona questa prima fase di contatto con il contesto europeo.

I principali protagonisti dell'apertura di un canale di comunicazione con la realtà inglese sono Marcello Malpighi e Geminiano Montanari, entrambi particolarmente interessati all'attività dell'Accademia inglese. La corrispondenza diretta di Montanari con la Royal Society è attestata già nel 1670, come si evince dalla menzione di alcune sue lettere in cui manifesta una chiara adesione al pensiero baconiano.

Malpighi era entrato a sua volta in corrispondenza con la Royal Society su invito di Henry Oldenburg, il quale gli aveva chiesto di condividere quanto noto a proposito dei fenomeni naturali locali. Con l'ammissione di Malpighi a *fellow* della Royal So-

³BUB, Ms. 79.

ciety ha inizio un sodalizio che si manterrà negli anni: Malpighi orienterà sempre il proprio operato nella cornice dell'ideale baconiano e, di riflesso, la Royal Society guarderà sempre con immensa stima a Malpighi, prendendosi l'onere di pubblicare, a proprie spese, ogni sua opera. Principalmente grazie al tramite di Malpighi, gli accademici della Royal Society erano costantemente informati dei progressi scientifici di Bologna. Valeva anche il viceversa: le personalità scientifiche 'illuminate' che operavano a Bologna hanno avuto modo di approfondirne non soltanto l'organizzazione ma anche le questioni affrontate e dibattute nelle diverse sedute della Royal Society. Sappiamo così che era particolarmente vivo, nella seconda metà del XVII secolo, l'interesse per Boyle, del quale Malpighi e Montanari richiedono a Oldenburg una copia delle opere. Nel 1671 arriva quella sulla rarefazione dell'aria (condivisa a Malpighi e Montanari), mentre viene stampato direttamente a Bologna nel 1675 un opuscolo (sempre di Boyle) inerente la composizione dell'aria. Intorno a questo tema vi era un interesse assai diffuso, che troverà applicazione pratica nelle stanze di Chimica dell'Istituto.

Come allievo di Malpighi e Montanari, Marsili entrò in contatto con l'attività della Royal Society fin dalla prima gioventù: buona parte delle sue opere sono dedicate all'Accademia inglese, sulla scia di una tradizione trentennale inaugurata proprio da Malpighi. Nel caso di quest'ultimo, l'approvazione da parte dei membri della Royal Society compensò il supporto e l'appoggio che non arrivarono mai dalla sua città natale. Anche molti scienziati suoi concittadini si avvicinarono alla Royal Society proprio nella speranza di poter proseguire le proprie ricerche sperimentali, che a Bologna incontravano l'opposizione della parte più conservatrice della comunità scientifica.

Già membro della Royal Society, Marsili visitò Londra soltanto nel 1721, all'età di 63 anni; vi trascorse qualche settimana prima di partire alla volta di Leida - dove incontrò Hermann Boerhaave (1668-1738), suo corrispondente di vecchia data. I giorni passati a Londra furono sufficienti per fare la conoscenza di Edmond Halley e Isaac Newton e parlare alla Royal Society del neonato Istituto delle Scienze bolognese.

A proposito dei legami con le realtà culturali europee, Marsili scrive:

«[...] sempre fui in corrispondenza con tutte le accademie, rispettivamente a noi oltremontane, e sempre più conobbi che nella mia Patria bisognava per le scienze seguitare l'esempio, per le Matematiche del Cassini, e per lo studio naturale, nella parte così necessaria della medicina e anatomia, del mio riverito maestro Marcello Malpighi, come per gli studi naturali del canonico Trionfetti; e con questi tre più volte comunicai questo mio pensiero per erigere un tale Istituto, che più insegnasse per gli occhi, che per le orecchie, e che rimettesse in Italia quel buon gusto che prima vi fu posto dall'accademia del Cimento, stata madre di tutte le accademie oltremontane che, col crescere, fra la loro applicazione, si ebbero poca gratitudine alla nostra Italia.»⁴

Dunque Marsili riconosce un ruolo pionieristico all'Accademia del Cimento, che sarebbe stata, a suo dire, modello per le accademie di scienza fiorite sul territorio

⁴Marsili, L.F., *Istruzione finale al signor Biagio Ferrari, per la riduzione e regolamento migliore dell'Istituto (1726)*, in B.U.B., Ms. 2013.

europeo. Uno studio approfondito volto a evidenziare quale realtà davvero possa essere considerato pioniera di questo nuovo modo di fare e comunicare la scienza esula dagli scopi del presente lavoro e, a mio avviso, lascia il tempo che trova: è di ben maggior interesse l'analisi delle connessioni che, fin da subito, si sono instaurate tra le diverse realtà e che hanno infine portato alla concezione dell'Istituto delle Scienze bolognese, chiaramente modellato sulle accademie straniere ma che a sua volta ha, nel corso del secolo, influenzato l'operato degli scienziati europei. E tali connessioni erano volute da entrambe le parti: l'Italia (e, in particolar modo, Bologna) guardava all'estero e, al contempo, le accademie d'oltralpe hanno preso a modello dapprima la scuola galileiana del Cimento e, anni più tardi, l'Istituto delle Scienze voluto da Marsili.

Questa ricerca di connessioni nasce dalla condivisione dell'ideale baconiano di creazione di una storia naturale completa e universale, compilata a partire dalla correzione degli errori degli antichi e sulla base di un'indagine ostensiva della natura. E tale ideale era condiviso da tutte le personalità scientifiche 'moderne' dell'epoca: da Montanari a Guglielmini, da Monsignor Marsili a Oldenburg. La connessione tra i circoli scientifici bolognesi e l'accademia londinese origina, in ultima analisi, dalla condivisione del mandato baconiano.

Stefano Belli riconosce nell'ideale di pubblica utilità della scienza *il filo rosso lungo il quale si svolgerà tutta l'attività sia scientifica che militare che politica di L. F. Marsili* [4].

Se l'organizzazione dell'Istituto delle Scienze bolognese deve molto al modello francese dell'Académie des sciences, gli ideali sono mutuati dal contesto inglese: è la Royal Society che, per prima, promuove la compilazione di una storia naturale scevra da superstizioni e intromissioni metafisiche. La concezione che Marsili aveva del sapere è una concezione che ci riporta indietro nel tempo fino a Comenio, personalità di riferimento per la pedagogia. Egli fu tra i primi a concepire l'unità del sapere, sul modello dell'unità della natura. Marsili sostenne sempre l'importanza di indagare la natura in ogni sua parte per poter infine arrivare alla compilazione di una storia completa. L'ipotesi che esista, per dirla con le sue parole, *une Symmetrie réglée de toutes les parties qui le composent* [33] (in riferimento alla natura) fa emergere il Marsili fisico o, in senso ancora più generale, scienziato. Nonostante l'impegno sociale profuso nella realizzazione dell'Istituto delle Scienze, egli era convinto che una simile opera non potesse essere portata a termine *nel ridotto di un gabinetto*: ecco che la carriera militare diviene (anche) occasione per ampliare gli orizzonti conoscitivi attraverso indagini sul campo...per poi applicare, sempre sul campo, le nuove conoscenze acquisite.

Si noti, inoltre, che non vi è scritto di Marsili dal quale non traspaia la sua fervente religiosità: se c'è un distacco rispetto alla tradizione, questo è a sfavore della didattica e delle scienze tradizionali, insegnante presso le Università, e non nei confronti della fede.

E forse è stato proprio il connubio tra una simile convinzione e le esperienze vissute nel corso degli innumerevoli viaggi a fare di Marsili una personalità che possiamo a tutti gli effetti definire *illuminata*, quasi certamente in anticipo rispetto ai tempi - come del resto spesso è chi si mostra aperto alla novità, perché per natura l'essere umano tende al conservatorismo. Data la sua poliedricità, molte fonti si limitano ad accompagnare il nome con l'epiteto *uomo di grande cultura*; altre, invece,

specificano i vari campi nei quali si distinse, quasi sempre antepo-
nendo l'attributo di *scienziato* a quello di *militare*. Ma Marsili non è stato né uno scienziato né un
militare nell'accezione comune dei termini; se si va in cerca di una caratterizzazione
certa, la si trova nel definirlo un uomo fuori dal comune. Per ingegno e possibilità,
sicuramente; ma anche e soprattutto perché disposto a mettersi in gioco e reinven-
tarsi allo scopo di ampliare il proprio sapere per farne poi patrimonio collettivo.
Uno spirito, insomma, ben diverso rispetto a quello che accomunava gli ambienti
universitari del tempo, tendenzialmente chiusi sia rispetto alle frontiere del sapere
sia nei confronti di chi non era parte del medesimo gruppo.

Curiosamente, Marsili non viene mai raffigurato in vesti accademiche, come po-
tremmo immaginare un uomo di scienza. Vi sono dipinti che lo ritraggono nel
mezzo dell'azione, altri in cui è raffigurato nelle vesti di diplomatico e, persino, un
busto in marmo che lo mostra abbigliato da generale romano, con il caratteristico
elmo dotato di pennacchio in testa. Indagine scientifica e arte militare non erano,
per Marsili, dimensioni distinte: se questa fosse stata la sua concezione, infatti, si
sarebbe dedicato primariamente all'una o all'altra occupazione - trascurando la real-
tà militare in favore della ricerca scientifica o, altrimenti, dedicandosi appieno alla
carriera militare. Scelte di questo tipo avrebbero però compromesso uno dei valore
fondamentali per Marsili, quello di pubblica utilità della scienza.

2.2 Una storia di confronti e compromessi (1685-1714)

*«Nella Fisica, che è la scienza che conduce alla vera cognizione
dello studio della natura in tante sue parti, gli oltramontani ora
superano in tutto e per tutto noi italiani.»*

- B.U.B., Ms. 630, cc. 42-43.

L'apertura al pubblico dell'Istituto delle Scienze di Bologna si tenne nella mattinata
del 13 marzo 1714⁵, segnando il punto d'arrivo di oltre un decennio di trattative che
avevano coinvolto principalmente le figure di Luigi Ferdinando Marsili, il Senato e
l'allora Pontefice Clemente XI. Dalla lettura degli *Atti* conservati presso l'Archiv-
vio di Stato di Bologna si apprende, relativamente alla giornata in oggetto, che la
cerimonia formale fu seguita da due dissertazioni di carattere scientifico. La prima,
tenuta da Geminiano Rondelli (1652-1739), aveva come oggetto la mancata risalita
del mercurio lungo sottilissimi fili d'oro, mentre la seconda, ad opera di Eustachio
Manfredi, trattava dell'eclissi solare prevista per il 3 maggio del 1715. La volontà
era quella di dare un saggio delle dimostrazioni scientifiche alle quali il pubblico
avrebbe potuto prendere parte, decidendo di frequentare le sale dell'Istituto.

Le vicende che condussero a questo giorno possono essere oggi ricostruite nella
loro integrità grazie all'ampia disponibilità di fonti a riguardo, una buona parte
delle quali ha carattere ufficiale. Il secondo fascicolo contenuto nella settima bu-
sta dei *Diversorum*, conservati presso l'Archivio di Stato di Bologna, è interamente
dedicato alle *Trattative fra il Gen. Marsigli e il Senato per la sua Donazione e la*

⁵A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Atti I (1712-1722)*.

Fondazione Dell'Istituto. Vi sono poi i numerosi manoscritti autografi di Marsili, conservati presso la Biblioteca Universitaria di Bologna, all'interno del fondo omonimo; dalla convergenza di quanto appreso dall'una e dall'altra parte è possibile scoprire, ad esempio, come il disegno di un'istituzione in grado di riportare Bologna la ricerca scientifica d'avanguardia fosse presente, in Marsili, già nel 1685⁶. Egli iniziò a delineare nel concreto il progetto a partire dal 1702, anno al quale risalgono i *Punti per l'accademia*⁷, che condivise inizialmente solo con il proprio mentore, Lelio Trionfetti. Il documento - oggi conservato in forma manoscritta presso la Biblioteca Universitaria di Bologna - consta di venticinque articoli che spaziano dal tema religioso (punti 1-4), all'oggetto dell'attività accademica (punti 5-11), fino ad arrivare a trattare questioni di organizzazione interna (numero totale degli accademici, loro ruoli e doveri). Di particolare attualità è il punto 19, che recita:

«Li sei Academici godero, che sijno poveri, e senza nessuna considerazione né a nascita, né a parenti, mà solo alla loro volontà, ed ingenio.»

La distanza rispetto al Pubblico Studio non si sostanzialmente dunque soltanto nel taglio diverso con cui venivano presentate le discipline scientifiche - ovvero, sul piano del contenuto -, ma anche a livello di principi: come si è discusso, a partire dal Seicento l'Università bolognese inizia a richiudersi su se stessa, mal tollerando studenti stranieri e riservando le cattedre a personalità eminenti che a Bologna potevano vantare i natali.

Sebbene il disegno di una simile istituzione possa risultare rivoluzionario in rapporto alla realtà dell'università bolognese, un'analisi più attenta mostra come esso rappresenti la naturale convergenza degli stimoli che premevano da più parti: da un lato, il nuovo modo di fare scienza inaugurato da Galileo Galilei e, dall'altro, l'esempio portato dalle realtà oltremontane quali la Royal Society e l'Académie des sciences di Parigi (per le quali, a loro volta, non è possibile escludere un'influenza galileiana o dei seguaci di Galileo). Di fronte a un panorama scientifico i cui paradigmi erano in rapido mutamento, la realtà universitaria assumeva le tinte grigie dello stantio; non vi era, come si è visto, desiderio alcuno di ripensare l'attività o il ruolo del Pubblico Studio da parte di chi ne avrebbe avuto la concreta possibilità.

Più che da influssi esteri, in questa fase iniziale il desiderio di Marsili di ripensare la didattica della scienza a Bologna fu condizionato dall'influenza del fratello maggiore, oltre che dalla cerchia di scienziati suoi conoscenti i quali già operavano in tal senso all'interno delle accademie private.

L'esperienza - di fatto inconcludente - di Anton Felice⁸ servirà a Marsili come punto di partenza per la realizzazione del proprio progetto, anziché costituire un deterrente; deciso a non ripetere gli errori di valutazione commessi dal fratello, Luigi si impegnerà perché l'ideale baconiano della compilazione di una storia naturale universale, congiuntamente a quello dell'utilità della ricerca scientifica, possa trovare uno spazio fisico nel quale concretizzarsi.

È interessante ricordare quale scopo il maggiore dei fratelli Marsili si prefiggesse

⁶Marsili, L.F., *Istruzione finale al signor Biagio Ferrari, per la riduzione e regolamento migliore dell'Istituto* (1726), in B.U.B., Ms. 2013.

⁷BUB, Ms. 83 B, cc. 79-83.

⁸Si veda, a tal proposito, quanto scritto nel capitolo precedente (Sezione 1.3.1).

per l'accademia filosofica-esperimentale, e cioè che essa fosse mirata *all'osservazioni ed agli esperimenti sopra l'opera della natura*⁹. Questi non si limitavano soltanto alla Fisica, ma anche alla Medicina, all'Anatomia, alla Chimica e persino all'Arte. Chiunque era ammesso come dimostratore all'interno dell'Accademia ed era concesso replicare esperimenti già fatti da altri ma anche metterne a punto di nuovi, con il triplice scopo di istruire, fare ricerca e comunicare le scoperte - sempre nel limite di quanto dimostrabile sulla base dell'esperimento condotto.

L'ispirazione per la concezione di una simile struttura organizzativa arriva a Marsili dalla Royal Society, dalla quale egli mutua la circoscrizione dell'oggetto di studio all'esperimento naturale e riprende la rosa di discipline contemplate. Nonostante fosse un'accademia privata, il fatto che il fondatore ricoprisse le cariche di arcidiacono e cancelliere dello Studio e, insieme, promuovesse l'apertura a una condivisione pubblica delle scoperte donava un carattere di ufficialità a questa realtà.

Come accadrà anche per l'Istituto delle Scienze limitatamente ai progetti in materia didattica, non è possibile stabilire se e in quale misura i progetti qui illustrati abbiano trovato realizzazione concreta, perché non vi è documentazione a riguardo. Si sa tuttavia - grazie a uno scritto comparso sul Giornale de' Letterati nel 1688 - che l'accademia aveva in programma di affrontare, per quanto concerne i temi fisici, la natura e le proprietà del ghiaccio e il magnetismo; tema, quest'ultimo, che sarà al centro delle lezioni di fisica sperimentale tenute da Jacopo Bartolomeo Beccari presso l'Istituto. Ricordiamo che tale accademia ebbe vita breve: già a partire dal 1689 non si hanno più notizie in merito.

Anton Felice Marsili aveva peraltro esposto, chiaramente e senza edulcorarli, i problemi interni all'Università: parla della presenza di appena sessanta immatricolati contro novanta lettori, di come l'esiguità dei fondi a disposizione obbligasse di tanto in tanto alla sospensione delle lezioni, del diritto di anzianità che portava ad assegnare le letture ai dottori più anziani e che si combinava al diritto di cittadinanza, senza che vi fosse alcun criterio meritocratico [30]. I punti stilati dal Monsignore per la riforma dello Studio sono di un'attualità disarmante: si parla di conferimenti e mantenimenti della carica sulla base delle *fedi degli scolari studenti* e dell'abolizione dei criteri di anzianità e cittadinanza per quanto riguarda l'assegnazione delle letture. Come sicuramente lo stesso Marsili si aspettava, una simile proposta di ammodernamento radicale non incontrò il favore dei colleghi dei dottori e, negli anni successivi (fino al 1694), tra il cancelliere e i colleghi si giocò «una partita a scacchi di altissimo livello», per riprendere le parole con cui Solange Marchignoli definisce le battaglie tra accusa e difesa all'interno dei tribunali. Questa volta, però, è la difesa a vincere: il maggiore dei fratelli Marsili ne esce totalmente sconfitto e qualcuno avanza addirittura la proposta di abolire *in toto* le lezioni in casa allo scopo di incrementare il numero di studenti immatricolati presso l'Università. Ai progetti di Marsili si oppone anche Malpighi, probabilmente mosso dal timore di una crescente, ingombrante presenza di esponenti religiosi nello Studio laico.

Purtroppo, Monsignor Marsili morirà nel 1710, prima di poter vedere realizzate compiutamente le proprie idee riformatrici nell'Istituto voluto dal fratello. Idee che non rimasero confinate tra le mura di casa Marsili, ma che andavano diffondendosi e rafforzandosi sul territorio bolognese, trovando in Muratori prima e in papa Benedetto

⁹Marsili, A.F., *Idea e metodo delle due Accademie Ecclesiastica e Filosofia Esperimentale aperte in Bologna da mons. Arcidiacono Antonio Felice Marsili in sua casa nel principio dell'anno 1678*, in BUB, Ms. 75 II, cc. 338-343.

XIV, successore di Clemente XI poi, i più ferventi sostenitori.

In seguito alla resa del fratello maggiore, che abbandonerà i propri progetti, e ai personali fallimenti in campo militare che lo riportano a Bologna, è Luigi Ferdinando a fare propria la battaglia per una riforma del Pubblico Studio. I numerosi viaggi attraverso il continente lo avevano convinto della reale possibilità di realizzare una simile impresa, proprio perché ne aveva avuto esperienza diretta frequentando le accademie d'oltralpe. Anche una volta rientrato a Bologna manterrà stretti contatti con diversi membri delle accademie londinese e parigina, come testimonia la sua vasta corrispondenza privata: questo contribuì ad alimentare la rete di conoscenze su cui l'Istituto, una volta operativo, poteva contare.

L'entrata in scena di Marsili come mecenate e protettore delle scienze avviene nel 1701, come conseguenza della partenza del fratello per Perugia, dove era stato nominato vescovo.

La prima questione di cui Marsili si occupa è la ricollocazione di tutti i materiali scientifici accumulati negli anni, che voleva trasferire nel palazzo di famiglia perché fossero disponibili a chiunque avesse desiderio di studiarli. La supervisione del lavoro viene affidata a Eustachio Manfredi, per il quale Lelio Trionfetti, interrogato a proposito dallo stesso Marsili, non risparmiò lodi. È noto il ruolo di Manfredi nella fondazione, datata 1691, dell'accademia degli Inquieti; meno noto, forse, è il suo contributo alla fondazione dell'Istituto delle Scienze. Mentre era impegnato a portare a termine l'incarico affidatogli da Marsili - incarico che prevedeva anche la realizzazione di un osservatorio astronomico su un terrazzo dello stesso palazzo familiare - Manfredi si rese infatti conto di quanto potesse rivelarsi fruttuosa - per sé ma anche per gli altri membri dell'Accademia degli Inquieti - una collaborazione con Marsili. Quando, nel 1702, Manfredi invia a quest'ultimo il progetto per la realizzazione della specola, si permette di suggerire uno sfruttamento delle sale rimaste a disposizione per la realizzazione di un museo e un'*Accademia fisica*¹⁰. Sono in effetti successivi a questa data i riferimenti, da parte di Marsili e indirizzati a diversi suoi corrispondenti, riguardo la possibilità di realizzare un'accademia scientifica in casa propria.

Insieme a questa idea nascono i primi timori di una controazione inquisitoria e, di conseguenza, le prime cautele di Marsili che, nei *Punti per l'Accademia*¹¹ include un principio di autocensura:

«Chiunque sarà adnesso in questa nostra adunanza [...] dovrà [...] promettere tanto per l'Astronomia, che qualunque principio fisico nella Philosophia Esperimentale di tutto uniformarsi alla Santa Romana Cattolica Chiesa [...]».

Il primo incontro ufficiale tra Marsili e gli Inquieti si tiene nel 1704 ed è da questo momento che si intensifica la corrispondenza degli scienziati bolognesi con le realtà europee, grazie anche all'attività del segretario degli Inquieti Vittorio Stancari (1678-1709), noto soprattutto come costruttore di strumenti ma che si occupava anche di astronomia e matematica.

¹⁰BUB, Ms. Marsili, 79. Lettera datata 31 gennaio 1702.

¹¹B.U.B., Ms. 83 B. *Punti per l'Accademia* - 3 Ottobre 1702.

Il punto di riferimento di Marsili in Europa per la scienza era rappresentato dall'Académie des sciences. Confrontando la situazione francese con quella italiana e bolognese in particolare, il generale si era reso conto dell'esistenza di differenze importanti a livello di contesto socio-politico.

Mentre nel resto d'Europa fioriva la borghesia, prossima a elevarsi a classe dirigente, a Bologna regnava ancora l'antica nobiltà, comprensibilmente attaccata ai propri privilegi e restia al cambiamento. Prima di arrivare a concepire l'Istituto delle Scienze, Marsili tenterà di avvicinarsi al modello francese con i propri mezzi - vale a dire, organizzando e mettendo a disposizione di chiunque avesse interesse in merito uno spazio, debitamente attrezzato, in cui poter coltivare fisica e astronomia. Nel 1703 apre così le porte l'osservatorio marsiliano, situato all'interno del palazzo di famiglia, in via San Mamolo d'Azeglio; a partire dal 1705, questo accoglierà l'Accademia degli Inquieti. A differenza del fratello maggiore, dunque, Luigi non fonderà un'accademia *ex novo*, ma accoglierà le necessità dei gruppi di scienziati illuminati già presenti sul territorio. Il tutto era, in questa prima fase, organizzato in forma privata, senza sovvenzione alcuna - né da parte del Senato, né tantomeno da parte della Chiesa.

Questa iniziativa ebbe effettivamente successo e garantì, unitamente al contributo di Cassini, l'avanzamento dell'astronomia italiana. A credere e sostenere fin da questi primi anni il disegno di Marsili furono i più giovani e attivi membri dell'accademia degli Inquieti, tra cui Manfredi e Stancari; e sono gli stessi membri di questo sodalizio a intrattenere forti legami con la realtà scientifica europea. Si prenda ad esempio la figura dello stesso Cassini; a lui viene commissionata la spedizione di strumenti di astronomia di fabbricazione francese, così che l'osservatorio sito in casa Marsili fosse dotato di supporti d'avanguardia e potesse contribuire alla ricerca di frontiera¹².

In conclusione, l'Académie des sciences rappresentò, per gli scienziati bolognesi del tempo, sia un modello cui guardare e da cui prendere ispirazione sia un canale di pubblicizzazione in Europa delle opere e delle scoperte nate a Bologna: non si dimentichi che la maggiore opera di Marsili, l'*Historie physique de la mer*, sarà dedicata proprio all'accademia francese. A partire da legami fondamentalmente personali, con gli anni si instaurarono vere e proprie corrispondenze istituzionali tra l'Istituto bolognese e l'Académie des sciences - in coerenza con l'evolvere del Settecento, secolo caratterizzato dal passaggio da una comunicazione privata (anche della scienza) alla pubblicazione delle ricerche su periodici e giornali.

Grazie ai suoi periodi di permanenza in Francia, Marsili entrò in contatto con diversi membri dell'Académie des sciences; ma il rapporto più stretto rimase quello con il già citato Cassini, al quale si riferiva come a un *padre amatissimo*, in un sentimento ricambiato dall'astronomo. All'età di ottantacinque anni (e prossimo alla morte), Cassini riuscì a essere presente alla lettura, presso l'Académie, della comunicazione della prossima istituzione del "nuovo Istituto accademico Marsiliano e Clementino" - ovvero, l'Istituto delle Scienze e delle Arti di Bologna.

Un'altra realtà alla quale Marsili guardava come a un modello è la Royal Society, esempio interessante di convivenza tra ricerca scientifica autonoma da un lato e po-

¹²Si parlerà comunque sempre di un'astronomia applicata alla geografia e alla cartografia, per andare incontro al proposito di una scienza pubblicamente utile ma anche per scongiurare qualsiasi contrasto con personalità religiose.

tere politico-religioso dall'altro. In territorio inglese, il segreto degli ottimi rapporti intrattenuti con il potere risiedeva proprio nell'aver sempre avuto la cura di limitare le proprie indagini e discussioni a problemi scientifici, operando cioè all'interno di una bolla di apoliticità. I campi di indagine che sono di pertinenza della Royal Society vengono definiti nel 1663 da Hooke e includono *all useful Arts, Manufactures, Mechanick practices, Engines and Inventions by Experiments (not meddling with Divinity, Metaphysics, Morals, Politicks, Grammar, Rhetoric or Logik)* [49]: lo stesso accadrà all'interno dell'Istituto, con la suddivisione in stanze (e l'assenza di qualcuna deputata alla Metafisica o alla Teologia). La rinuncia a dibattere temi di natura teologica è motivata, per quanto riguarda il contesto bolognese, anche dal timore di incorrere nei provvedimenti dell'Inquisizione. Si tratta di una prudenza di cui sono stati pionieri gli accademici del Cimento e che è perdurata nel tempo. Ancora prima di divenire argomento proprio dell'Accademia del Cimento e della Royal Society, la reciproca autonomia di scienza e fede era stata invocata da Galileo Galilei, primo portavoce di quella *legittima autonomia della scienza* che la Chiesa riconoscerà pubblicamente soltanto con papa Paolo VI e il suo *Gaudium et spes* (1965).

Al prezzo della rinuncia a qualsiasi riflessione di natura metafisica, la scienza sperimentale può decollare anche a Bologna, dove trova una cornice persino più vicina all'ideale baconiano rispetto alla Royal Society: mentre questa rimase sempre un'istituzione privata (e autofinanziata), l'Istituto delle Scienze di Bologna aveva natura pubblica e ha sempre beneficiato, a partire dalla sua fondazione, di fondi statali. Oltre ad accelerare il processo di specializzazione, una simile concezione della scienza guadagnò il favore di molti esponenti della Chiesa: non si dimentichi che l'acquisto di Palazzo Poggi e la sua trasformazione nella sede dell'Istituto delle Scienze sono operazioni rese possibili dal favore e dal sostegno monetario dell'allora pontefice Clemente XI. Sicuramente un papa illuminato, ma che non si sarebbe spinto a tanto per un'idea di scienza che ledesse l'immagine della Chiesa. E Marsili non dimentica un simile 'favore' ma, anzi, vuole che sull'Istituto vegolino addirittura quattro santi: S. Tommaso d'Aquino, S. Carlo Borromeo, S. Caterina de Vigri, S. Pietro.

Le chiare somiglianze tra le diverse esperienze di costituzione delle accademie portano a chiedersi quale realtà abbia per prima maturato una simile impostazione. Da un punto di vista cronologico, il primato spetta al Coro degli Inquieti, costituitosi nel 1650 - e, dunque, con largo anticipo rispetto alle più note realtà europee. Questo costituisce una prova del fatto che le successive accademie bolognesi non sono sorte dalla necessità di emulare modelli precostituiti, quanto piuttosto come unica via giudicata possibile per integrare l'insegnamento proposto nelle Università, venuta meno la possibilità di riformare questa dall'interno. A sua volta, una simile necessità deve essere derivata, con ogni probabilità, dal confronto con un contesto internazionale in cui l'attività scientifica stava cambiando: si tratta di un insieme di concause nel quale è difficile individuare la causa prima.

Realtà come la Royal Society o l'Académie des sciences hanno a loro volta e con ogni probabilità preso ispirazione dalle esperienze maturate sul suolo italiano, adattandole poi allo specifico contesto socio-politico. Ci si potrebbe domandare come sia possibile un simile legame, viste la scarsa documentazione pubblica(ta) a proposito

delle accademia bolognesi della seconda metà del XVIII secolo¹³. La risposta si trova osservando che i maggiori esponenti delle diverse accademie (e dello stesso Istituto delle Scienze) erano al tempo stesso membri delle accademie europee più in vista e tenevano regolare corrispondenza con i colleghi d'oltralpe. Per quanto riguarda i legami a livello italiano, si ricordi che il Coro anatomico esercitò una profonda influenza su Marcello Malpighi, facendo di fatto di lui un anatomista; e a quello stesso Malpighi Marsili si riferisce come a colui che *di tal nobile scienza [anatomia] m'aveva dato qualche principio* [32]. Un altro punto di riferimento di Marsili è Geminiano Montanari, che viene da lui ricordato come *maestro, di gloriosa memoria* [32] e dalla letteratura scientifica come fondatore dell'Accademia della Traccia - oltre che lettore di matematica e astronomia presso l'Università di Bologna. A Montanari si deve la pubblicazione, nel 1667, dei *Pensieri fisico-matematici*, un testo che illustra la conduzione di trentasei esperimenti inerenti la capillarità, già illustrati nel corso delle sedute presso l'Accademia della Traccia. Montanari non manca di sottolineare il primato dell'Accademia del Cimento, che sarebbe, a suo dire, modello per le accademie d'oltralpe - convinzione che verrà ripresa da Marsili. Nel momento in cui l'accademia cessa la propria attività (1667), il primato passa alla Royal Society. D'altra parte, entrambi i fratelli Marsili sono stati allievi di Montanari proprio presso tale Accademia. Non è possibile escludere che un primo contatto di Marsili con la fisica sperimentale sia avvenuto proprio in questo contesto, dove Montanari proponeva esperimenti *per dare un'idea degli studi particolari del secolo scorso*, dimostrando particolare attaccamento per l'operato di Boyle [34]: si trattava di esperimenti sul vuoto, sul peso dell'aria e dei fluidi in generale e sulla viscosità dei liquidi. Lo spaziare anche ad argomenti di ottica, proponendo ai suoi allievi esperimenti sulla luce e sui colori, risponde al duplice intento di rimanere al passo con i tempi e di realizzare l'utopia baconiana di una completa comprensione sperimentale del mondo naturale. A tal proposito egli scrive: *È una vergogna che sia già tanto invecchiato il mondo senza che abbiamo una universale e veridica storia de' suoi più rimarcabili effetti* [34]. L'idea della pubblica utilità della scienza è stata veicolata a Marsili probabilmente da un altro maestro dell'Accademia della Traccia, Domenico Guglielmini. Lo ricorda Bianchini, suo allievo, nella prefazione al *Discorso del vacuo recitato nell'accademia della Traccia la sera delli 28 novembre 1675 che si faceva in Bologna in casa dell'Autore*, scrivendo che la sua professione *non fu di sedere all'ombra di una cattedra con esercizio poco differente dall'ozio, ma bensì di ridurre a gli usi della vita le speculazioni dell'ingegno*.

La storia della fondazione dell'Istituto delle Scienze di Bologna si intreccia a doppio filo alla parabola dell'Accademia degli Inquieti, che annoverava fra i propri membri anche lo stesso Marsili il quale, come anticipato, dal 1705 accoglierà nel proprio palazzo di famiglia. Gli anni di maggiore attività dell'Accademia si collocano proprio nel biennio 1704-1705, quando il trasferimento dei membri in una sede maggiormente all'avanguardia dal punto di vista della strumentazione scientifica consentì un avanzamento importante nella ricerca. Nel 1704 vengono pubblicate, ad opera di Morgagni, le leggi che sanciscono l'adozione esclusiva del metodo sperimentale e circoscrivono gli ambiti di interesse alle discipline della medicina, dell'anatomia, della

¹³La penuria di informazioni è dovuta in gran parte al carattere privato ed episodico delle stesse, che spesso avevano viva breve. La fonte principale per una loro caratterizzazione rimangono i *Commentarii*.

fisica e della chimica. Possiamo ritrovare già nell'organizzazione dell'Accademia degli Inquieti un rimando all'Académie des sciences di Parigi e un'anticipazione di quella che sarà la suddivisione degli accademici presso l'Istituto delle Scienze. I membri erano infatti suddivisi in tre classi: ordinari, numerari e sovrannumerari, distinti secondo le discipline perseguite. Durante le sedute dell'Accademie era apprezzata soprattutto la comunicazione di nuove scoperte, fossero esse state compiute dai membri dall'Accademia o all'estero. Emerge dunque una volontà di aprirsi al confronto con la comunità scientifica oltreconfine, inseguendo il disegno baconiano di una storia naturale universale. Oltre alle aumentate risorse di stampo materiale ed economico, gli accademici riuniti in casa Marsili potevano beneficiare della fitta rete di corrispondenza del generale, iniziando così a farsi conoscere al di fuori delle mura bolognesi: ritroviamo dunque, negli Inquieti, la doppia volontà di farsi conoscere all'estero e, al contempo, di conoscere i progressi scientifici compiuti all'estero. Dopo un quinquennio di fiorente e fervente attività, tuttavia, l'Accademia entra in una crisi dalla quale si riprenderà soltanto con l'associazione all'Istituto delle Scienze nel momento della sua fondazione. Il motivo della crisi era duplice: da un lato, la morte improvvisa di Stancari (avvenuta nel marzo del 1709) aveva lasciato vacante la carica di Segretario e, dall'altro, le sale di palazzo Marsili non erano più a disposizione dell'Accademia a seguito delle lamentele dei famigliari e, in particolare, di Filippo, fratello di Luigi Ferdinando, che arriverà a equiparare il palazzo di famiglia durante le sedute degli Inquieti a un bordello:

« [...]e dopo aver terminato moltissime spese, e massime della Specola, nella mia istessa casa paterna, e per l'opera dell'istesso mio fratello conte Filippo, che sino a quel punto mostrò di accudire alla mia notagli idea, senza mai minima opposizione, dovetti sentire una mattina da lui stesso che non si voleva nè da lui nè da gli altri della famiglia questo bordello nel Palazzo. Risposi che gli avrei posto il rimedio da loro desiderato, ma che solo mi dispiaceva che una tale repugnanza non si mi fosse dimostrata prima di dar la mano a fare tante spese di fabbriche.»¹⁴

Ma la diatriba con il fratello non termina qui. In seguito all'opposizione incontrata, Marsili perviene alla decisione di rinunciare alla proprietà di tutti i suoi capitali, che cede in dono alla città di Bologna chiedendo in cambio che essa possa trovar loro una collocazione adatta; ma nemmeno questa soluzione sembra accontentare Filippo...

«Preliminarmente mi ricercò sua Eminenza se veramente ero risoluto di dare per la causa pubblica questi Capitali. Risposi di sì costantemente, ed allora fra le voci che aveva sparso il fratello che tali Capitali non fossero più miei ma suoi, per li denari che del suo proprio aveva dati nella mie sventure [...]»

Come dimostra l'effettivo accordo siglato con il Senato un paio di anni più tardi, quelle diffuse dal fratello maggiore non erano che voci infondate, frutto di un risentimento che probabilmente egli covava da tempo e che può essere motivato, forse,

¹⁴Marsili, L.F., *Istruzione finale al signor Biagio Ferrari, per la riduzione e regolamento migliore dell'Istituto (1726)*, in B.U.B., Ms. 2013.

dalla progressiva espansione dello spazio di azione di Luigi, che era arrivato a piegare alle proprie necessità persino il palazzo di proprietà dell'intera famiglia (e non soltanto suo).

La divisione in stanze che poi sarà propria dell'Istituto delle Scienze era già presente nell'organizzazione dell'Accademia degli Inquieti a palazzo Marsili, almeno per quanto riguarda le branche chimica, naturalistica e fisica-matematica. Già in questi anni Marsili poteva avvalersi della collaborazione di Jacopo Bartolomeo Beccari, in quegli anni poco più che ventenne ma già inquadrato come collaboratore di Stancari. È in questa delicata fase dell'Accademia che emerge la sua personalità; nei *Commentarii*, Zanotti riconosce a lui il merito di averne risollevato le sorti in qualità di Principe¹⁵.

Sempre dalla lettura dei *Commentarii* è possibile ricostruire l'attività scientifica dell'Accademia degli Inquieti: qui si trovano infatti memorie e loro resoconti. Alla sezione di fisica hanno contribuito sia Beccari - con i suoi esperimenti sui fenomeni elettrici - che Stancari, il quale si è occupato principalmente di indagare l'elasticità dell'aria e della costruzione di termometri, oltre a misure della velocità del suono. Sono inseriti in questa sezione anche esperimenti oggi considerati più pertinenti alla chimica, disciplina che peraltro suscitava l'interesse di diversi affiliati all'accademia - tra cui lo stesso Beccari. La definizione di questo campo di indagine per come lo si intende oggi è posteriore al periodo di attività degli Inquieti: lo stesso Marsili proporrà di unire le due cattedre di fisica e chimica in una unica all'interno dell'Istituto delle Scienze, andando peraltro contro la tendenza diffusa al tempo, che vedeva la chimica come disciplina subordinata alla medicina.

Nello stesso anno della morte di Stancari, Marsili redige il *Parallelo dello stato moderno dell'Università di Bologna con l'altre di là de' monti*, un documento indirizzato al Senato e volto a convincerne i membri della necessità di riformare il Pubblico Studio¹⁶. Nonostante l'esito negativo della proposta, che verrà respinta in toto, tale scritto costituisce un documento di cruciale importanza per la comprensione del pensiero marsiliano, contenendo in nuce quelli che saranno i propositi concretizzati con la realizzazione dell'Istituto delle Scienze. Al contempo, viene evidenziato lo stato di arretratezza dello Studio bolognese, che emerge in maniera evidente dal confronto con le realtà d'oltralpe:

«L'auge di credito che in ora si possiede da tante Università di là de' Monti, proviene da i viaggi di quelle nazioni, e da i premij che ottengono quelli che sono capaci di fare nuove discoperte nelle scienze, che procurano di esaminare con metodo più digerito di quello antico, che si pratica tuttavia nell'Università delle SS. VV. Ill.me; che forse, su questi lumi, che intraprendo di darli, piglieranno motivi di correggere me, e di migliorare tutto che si fa nei paesi esteri.

L'Italia da' stranieri, per la parte delle scienze, ormai si mette in obliuione; vedendo quelle, che non impieghiamo i nostri ingegni, benché forse più feraci de' loro, ad uniformarsi a quei nuovi metodi di studiare, che la loro somma applicazione, ed indefessa fatica, e sommi dispendij che mecenati hanno stabilito, e che è quello, Ill.mi Signori, vorrei consigliare s'imparasse da noi, spogliandoci di tanti antichi abusi e

¹⁵La carica di Principe aveva durata annuale e coincideva, di fatto, con il ruolo di presidente.

¹⁶Marsili, L.F., *Parallelo dello stato moderno dell'Università di Bologna con l'altre al di là de' monti*, in B.U.B., Ms. 630, cc. 39-55. 1709.

di qualche nostra troppo eccedente presunzione, stabilendo per lo Senato-Consulto massime o leggi rimodernate [...].

Si sono applicati in tutte le parti delle matematiche, e levati nuovi vasti trattati, sopra di quelli principali antichi, che i nostri padri gli insegnarono.

Nella fisica, che è la scienza che conduce alla vera cognizione dello studio della natura in tante sue parti, gli oltramontani ora superano in tutto e per tutto noi italiani. Concorre a questa loro superiorità l'applicazione, la costanza nelle fatiche, la munificenza de' mecenati, le peregrinazioni [...].

Vi concorre ad animare questa loro attenzione, il vedersi pronti e facilitati i mezzi della stampa, che è quella la quale comunica all'Universo le loro operazioni con ambi i prendi, e della fama, e del guadagno, comodità che difficilmente si ritrova in Italia e particolarmente in Bologna. [...]¹⁷

Una riforma dell'Università arriverà soltanto nel 1737: l'Istituto immaginato da Marsili viene concepito come un'istituzione completamente autonoma rispetto all'Università, tanto dal punto di vista della gestione quanto da quello economico. Chiaramente, le disponibilità finanziarie di un privato cittadino, per quanto facoltoso, non sarebbero bastate, da sole, al compimento del progetto; entra in gioco in questo contesto quella che potremmo inquadrare come un'altra personalità di Marsili, o una sfaccettatura della sua personalità: lo vediamo infatti in veste di abile mediatore intrattenere trattative con l'amministrazione della città di Bologna e il legato dello stato pontificio, il cardinale Lorenzo Casoni, oltre che con i diversi organi statali. Ottenuto l'appoggio maggiormente determinante per l'impresa - ovvero quello pontificio -, l'impresa poteva dirsi compiuta.

Un punto di svolta nelle vicende degli Inquieti, rimasti senza una guida e privi di una sede adeguata ai loro propositi, si registra nel 1711, quando il Senato bolognese procede all'acquisto del cinquecentesco Palazzo Poggi con l'intenzione di destinarlo all'ambizioso progetto marsiliano. Il 29 agosto 1711 Marsili, insieme ai rappresentanti del senato bolognese, firmava l'atto ufficiale di donazione dei propri capitali al futuro Istituto. Le stanze dedicate alle varie discipline occupavano principalmente il piano terra dell'edificio.

Il triennio successivo venne impiegato per affrontare la questione più spinosa, ovvero la ricerca di una mediazione tra i desideri di Marsili e le costrizioni imposte dal contesto politico e religioso del tempo. Le *Costituzioni* dell'Istituto, già citate nel capitolo precedente (si veda la Sezione 1.3.1) costituiscono l'esito del compromesso al quale, non senza fatica, si pervenne. Nel proemio si legge di

[...] «un'Istituto, dove Liberamente si possa amettere in uso la ricca suppellettile di tanti Capitali scientifici, e meccanici donati dal Generale Conte Luigi Ferdinando Marsilj; sono perciò passati all'elezione d'uomini per costumi, e per dottrina riguardevoli, con l'assegnamento a Ciascheduno d'un congruo annuo stipendio; l'uno de quali col nome di Presidente avrà la generale soprintendenza di tutto l'Istituto; l'altro come Secretario terrà registro degl'Atti dell'Istituto e li rimanenti, che si chiameranno Professori, avranno l'Ufficio di esercitarsi in que' Titoli, che professeranno, e d'insegnare a' chiunque volesse apprendere le Scienze da loro professate. Li Titoli delle Scienze, e facoltà, ciascuna delle quali avrà il suo Professore, saran-

¹⁷V. riferimento precedente.

no d'un astronomo, d'un matematico, d'un Fisico sperimentale, d'un Istorico della natura, d'un Spargirico ed un Bibliotecario.»

Nonostante l'attività dell'Istituto sia stata, fin dalla sua apertura, di carattere marcatamente sperimentale, l'idea originale di Marsili - che è possibile ricostruire a partire dalla sua corrispondenza privata, in particolare quella indirizzata a Lelio Trionfetti negli anni immediatamente precedenti all'apertura dell'Istituto [7] - era ben più ambiziosa. Egli desiderava una ricerca scientifica finalizzata all'utilità pratica nel senso più stretto del termine: prendendo come esempio la stanza di Fisica, il suo disegno era quello di farne un laboratorio di idrometria, ovvero uno spazio in cui condurre *li tanti esperimenti del moto, e natura dell'acque correnti, studio tanto necessario alla costituzione del territorio nostro*. Nella medesima lettera, Marsili scende anche nel dettaglio di ciò che secondo lui una simile stanza avrebbe necessitato. Sarebbero serviti

«[...] canali di latta, ed altri instrumenti di legno e ottone, [...] senza dimenticare le livelle, perché nella detta stanza, anche col comodo di quella terrazzetta, si possa per detti canali di latta, o altro strumento agire con acqua da collocarsi in un gran Vaso, che per lungo tempo possa somministrare ai predetti Canali, ed altri modelli, e che come è una essenzialissima parte del fisico matematico, resterà appunto nell'appartamento fisico sotto li Professori della medesima fisica.»

Un ruolo simile era riconosciuto al laboratorio chimico, ancora in costruzione nel momento dell'inaugurazione dell'Istituto. Alla chimica egli riconosce il ruolo di *mano destra dello studio della Natura*: l'impressione che emerge dalle lettere già citate e indirizzate a Trionfetti, così come anche dal *Parallelo* e altri scritti ancora, è in realtà in linea con i tempi: la chimica ancora fatica ad essere riconosciuta come disciplina scientifica dotata di una propria autonomia e inquadrata invece come 'vassalla' prima di tutto della medicina, e poi della fisica sperimentale. O, sarebbe meglio dire, come fondamento delle suddette discipline: Marsili era convinto della necessità di conoscere a fondo la Chimica per potersi professare un fisico sperimentale. Limitandosi a un confronto tra gli ambiziosi progetti marsiliani e la realtà dell'Istituto delle Scienze per quanto riguarda lo spazio dedicato alla fisica si evidenzia una distanza notevole: dei progetti riguardo l'idrometria (che non avrà una stanza appositamente dedicata) rimarranno, nel concreto, gli strumenti donati da Marsili, senza peraltro alcuna attestazione d'uso da parte di Beccari. L'impostazione prediletta, almeno per i primi anni di attività dell'Istituto, appare come l'incarnazione della volontà di recuperare gli avanzamenti nel campo della fisica sul territorio europeo.

Un'altra fonte di attriti era rappresentata dalla nobiltà, con la quale Marsili a più riprese si scontra. Le sue speranze che questa classe sociale beneficiasse dell'Istituto, frequentandolo, non verranno mai soddisfatte: per la classe dirigente, infatti, l'Istituto costituiva essenzialmente una nuova fonte di prestigio per la città, quasi un *exhibit* dei più moderni strumenti scientifici, teatro perfetto in cui accompagnare i forestieri in visita alla città. Non nutrivano alcun interesse nel buon funzionamento dello stesso, come si apprende dalle denunce - alle quali non vi fu seguito - dello stesso Marsili a proposito dei ritardi nella costruzione del laboratorio chimico. Se, da parte delle figure ecclesiastiche, Marsili trovò sempre appoggio e supporto

per la delineazione del proprio progetto (anche in termini finanziari), le trattative con il Senato non si conclusero con l'apertura al pubblico del suo Istituto. Fino alla propria morte Marsili incarnò il ruolo di mediatore tra l'Istituto e la sfera politico-istituzionale: un ruolo di primo piano, ma che, nel contesto di questo lavoro, fa da sfondo all'attività scientifica svolta all'interno delle sale dell'Istituto. Per questo motivo, la figura di Marsili non verrà richiamata nel prosieguo; si invita il lettore a non sottovalutarne, tuttavia, l'impegno continuo e il lavoro svolto come *deus ex machina*. Le tensioni con il Senato non giunsero a termine con l'inaugurazione dell'Istituto, in quanto - secondo Marsili - questo non aveva adempiuto in pieno alle Costituzioni già sottoscritte. Con l'avanzare dell'età, in realtà, lo spirito combattivo di Marsili si estinse poco a poco e lo scienziato iniziò a trascorrere periodi sempre più lunghi nelle sue residenze fuori Bologna, a Maderno sul Garda o nella località francese di Cassis.

Se il progetto di Marsili ha potuto vedere la luce - laddove molte altre iniziative simili sono fallite sul nascere o hanno avuto esistenza breve -, lo si deve anche alla squisita capacità mostrata dal Generale nel superare quella dicotomia tra scienza e fede che ogni organizzazione scientifica ha portato avanti in seguito alla condanna di Galilei, contribuendo ad alimentare un clima di spaccatura che ha trovato pace soltanto negli anni Settanta del secolo scorso. Anche, ma non solo: ricordiamo che il fratello, pur essendo parte integrante della struttura ecclesiastica, non è riuscito a realizzare il proprio disegno, principalmente in ragione dell'opposizione posta dal Senato alla sua proposta di riforma dello Studio. Nel fratello minore troviamo una consapevolezza maggiore e una maggiore capacità diplomatica, qualità che si sono rivelate determinanti per il successo dell'impresa.

L'apertura al pubblico dell'Istituto delle Scienze di Bologna si tenne nella mattinata del 13 marzo 1714, con Ercole Corazza che, dopo aver tessuto le lodi dell'Università, prosegue presentando un proprio timore: *Di questo piuttosto ogni uomo di cuore si dolga a buon diritto, che non manchino uomini - buona gente, del resto - i quali, avendo in odio questo nuovo Istituto volto alla filosofia, siano attaccati come a scoglio a quel loro Peripato e niente approvino che non sia pronunciato, come da oracolo, da Aristotile* [16].

È lo stesso Marsili che, attraverso la propria corrispondenza, dà notizia oltreoceano della fondazione di questa nuova realtà:

«E il metodo sperimentale sorse così e si impose in breve volger di tempo come strumento principe di conoscenza. La storia del suo primo affermarsi ha una parte gloriosa nella storia del pensiero italiano, e di essa i Lincei, Galileo, l'Accademia del Cimento, sono i capitoli più comunemente noti: il capitolo bolognese della storia del metodo sperimentale, che è forse, e per varie ragioni, uno dei meno studiati ed ha caratteristiche singolari, si concreta di fatto nella formazione dell'ambiente in cui ebbe poi a sorgere l'Istituto, nella costituzione di questo, e nel suo affermarsi» [16].

2.2.1 *Instrumentum donationis*

Sono tantissimi e di argomento vario gli scritti che Luigi Ferdinando Marsili ha redatto nel corso della propria vita e che sono giunti sino a noi, alcuni nella forma di opere pubbliche - come la celebre *Historie Histoire physique de la mer* (1725) -, altri

rimasti inediti fino ai tempi recenti - è il caso della sua autobiografia, pubblicata soltanto nel 1930 in occasione del secondo centenario della sua morte dal Comitato Marsiliano¹⁸. Il catalogo dei manoscritti autografi conservati presso la Biblioteca Universitaria Centrale di Bologna, redatto da Ludovico Frati, conta in totale 176 voci, di cui 146 facenti parte del Fondo Marsili e 30 collocate in altro fondo [22]. La quasi totalità dei manoscritti marsiliani riguardanti l'Istituto delle Scienze è oggi disponibile nella forma di opere a stampa, compreso il documento cardine per il presente lavoro, ovvero l'atto ufficiale con il quale viene siglata la prima donazione di beni di proprietà di Marsili all'Istituto. Il titolo originale del testo è *Aloysii Ferdinandi De Marsiliis Instrumentum donationis illustrissimi, & excellentissimi viri domini comitis Aloysii Ferdinandi De Marsiliis favore illustrissimi et excelsi Senatus, et civitatis Bononiae in gratiam novae in eadem Scientiarum Institutiones* e si tratta di un catalogo di un centinaio di pagine datato 1712. Nonostante una copia sia conservata presso la B.U.B. (Ms. 146), per maggiore praticità si è consultato il testo disponibile online [31].

Se i diversi manoscritti consultati - soprattutto le corrispondenze e l'autobiografia marsiliana - hanno permesso una ricostruzione della figura di Marsili in relazione al panorama scientifico italiano tra Sei e Settecento e hanno consentito di comprendere appieno la filosofia e i propositi di una figura tanto complessa (oltre a far emergere la rete di connessioni con l'estero), è il documento sopra citato che custodisce le informazioni più preziose in relazione allo scopo del presente lavoro. Nel prosieguo si farà dunque riferimento a questo testo, il quale sarà ripreso direttamente nel momento in cui verrà fornita una traduzione dal latino per quanto riguarda gli strumenti scientifici facenti parte della stanza di fisica dell'Istituto.

Il documento si apre con un breve prefazione, esaurita in poco più di due pagine, nella quale Marsili riassume il senso della propria donazione e ricapitola le ultime trattative stipulate con il Senato per la fondazione dell'Istituto medesimo. Le pagine introduttive si concludono con l'introduzione al vero e proprio catalogo: *una volta consegnati gli inventari originali ai nostri Notai e sebbene redatti in una lunga serie, sono qui riportati distinti per argomento e sono del seguente tenore*¹⁹. In effetti, il capoverso successivo è intitolato *Pinax librorum* e presenta, suddividendoli in sei *scanzie*²⁰, i testi donati da Marsili. In alcuni casi questi vengono citati in maniera puntuale facendo riferimento al loro titolo, mentre in altri casi il riferimento rimane vago (come per il generico *Libro d'Armi in lingua tedesca*). La suddivisione in scansie non ricalca una distinzione tematica, né è chiaro se il documento sia stato compilato sulla base della collocazione originale dei testi nel palazzo Marsili oppure con la volontà di stabilire il loro ordine nella biblioteca del futuro Istituto. Ciò che si può attestare con certezza è l'estensione di questa collezione: vengono menzionati, in totale, 1681 testi che spaziano dalla letteratura militare alla filosofia, dagli usi e costumi di popoli diversi alla religione. Sono compresi anche vari manoscritti e diverse illustrazioni (per lo più mappe). Prima di passare al catalogo successivo vengono menzionati alcuni strumenti che si trovano sempre nella biblioteca di Marsili, fra i quali un orologio meccanico.

¹⁸Per il testo integrale si veda il riferimento [32].

¹⁹Traduzione mia del testo originale, consultabile in [31], p. 5.

²⁰Il termine "scanzia" costituisce, con ogni probabilità, una variante arcaica di *scansia*, termine che indica un mobile suddiviso in più ripiani e pensato proprio per accogliere i volumi.

Si apre successivamente l'*Inventario del museo dei minerali*, i cui elementi sono ulteriormente suddivisi in diverse sezioni: la prima riguarda campioni di terra e rocce provenienti da diverse località, poi si prosegue elencando diversi fluidi concrezionati, tipi di rocce (tra cui i marmi), cristalli, minerali di ferro, antimonio, piombo, stagno, argento, oro e, infine, diversi fossili (che vengono definiti *Animalium partes petrificatae*). Come la sezione precedente, anche questa si conclude con un breve elenco degli strumenti da collocarsi nella medesima stanza dedicata a fossili e minerali. Mentre alcuni sono oggetti di uso comune (come gli armadi o le teche atte a contenere il materiale), si segnala la presenza di uno strumento di rilievo anche per gli esperimenti di fisica: viene infatti citata una sorta di scatoletta di forma cilindrica (*pyxis*), graduata, che ospita al proprio interno un ago magnetico. Unitamente ad altri strumenti quali una squadra (*norma*), viene menzionata in questo catalogo perché impiegata per analizzare le proprietà magnetiche dei minerali.

Segue l'*inventario del museo marittimo*, ovvero l'elenco di tutto ciò di cui Marsili è entrato in possesso e che appartiene all'ambiente marittimo. Vengono donati coralli, spugne, muschi, ricci marini e, di nuovo, diversi fossili. Come nel caso dei testi, l'elenco è piuttosto esteso e una sua descrizione dettagliata è esterna agli scopi del presente lavoro. È interessante sottolineare, tuttavia, la ripetizione di uno schema: in calce all'elenco dei materiali donati, Marsili non dimentica mai di specificare quali strumenti, utensili o apparati debbano essere collocati nella medesima stanza. Come si è già accennato, nella maggior parte dei casi si tratta di complementi d'arredo che fungono da supporto per i materiali da collocare nella sala.

Viene a questo punto descritto, in maniera sintetica, il contenuto di una *copia di una cassa di botanica*, nella quale si trovano, tra gli altri, alcuni semi e un erbario (*hortus hiemalis*). Segue una voce che riporta la cessione di uova di diverse specie di uccello, che non vengono però specificate: il riferimento è limitato a specie che si possono trovare in territorio bolognese (*in Territorio nostro nidificant*).

La sezione successiva risulta di maggiore interesse, in quanto presenta un *inventario degli strumenti attinenti alla Meccanica che si trovano nelle officine sotto elencate, ad uso delle stesse*. Segue un elenco di strumenti utili a figure quali il fabbro e il falegname: vengono menzionate lime per il ferro, scalpelli, torni, cacciaviti, seghe, trivelle. Il primo elemento capace di suscitare interesse è il fatto che questa sia l'unica sezione, dell'intero documento, scritta in lingua italiana; se non è irragionevole supporre che il motivo di una simile scelta stia nella volontà di rendere l'inventario comprensibile anche a coloro che, per formazione, probabilmente non conoscevano il latino (come gli artigiani), occorre tenere presente che non vi è alcuna testimonianza di un 'sodalizio' tra i docenti e ricercatori dell'Istituto e le *società d'arti*, termine in uso a Bologna per indicare le corporazioni [10]. In altri termini, è quasi certo che gli strumenti qui elencati siano stati impiegati dagli stessi docenti allo scopo di costruire o riparare gli strumenti impiegati per la ricerca o per la didattica scientifica, piuttosto che da veri e propri artigiani.

Come si spiega, alla luce di queste considerazioni, la scelta di abbandonare la lingua latina? Con ogni probabilità, nel progetto originale di Marsili era prevista una collaborazione tra scienziati e artigiani, tra scienza e mestieri. In qualche modo questo disegno si è effettivamente realizzato, nel momento in cui lo scienziato che esercita la propria professione presso l'Istituto ha inglobato in sé anche il mestiere del fabbro o del falegname, finendo per occuparsi in prima persona di ogni aspetto della scienza sperimentale: dalla ricerca, alla didattica, fino alla cura degli apparati

sperimentali. Il legame tra discipline scientifiche e mestieri è rafforzato dal fatto che la sezione immediatamente successiva illustra gli apparati destinati alla stanza di astronomia. Dal momento che si tratta di una stanza distinta rispetto a quella di fisica, ci limitiamo a fornire una descrizione sommaria degli strumenti citati.

Questa prima donazione comprende globi celesti e terrestri, diversi telescopi - descritti peraltro in dettaglio e di cui almeno uno attribuito con certezza a Giuseppe Campani²¹ -, quadranti astronomici, un pendolo, un orologio solare. Vengono menzionati anche gli elementi decorativi da collocarsi all'interno della medesima stanza, tra i quali figura un ritratto dell'allora pontefice Clemente XI.

Dall'astronomia si passa al campo militare con l'elenco, suddiviso in tre capitoli, dei materiali ceduti. Vengono menzionate le *munitiones* - ovvero un elenco di 39 tavole raffiguranti modelli di fortificazioni, realizzate da diversi autori²² - cannoni e mortai e, infine, elementi ornamentali di armi difensive.

Della collezione donata da Marsili fanno parte anche sculture (o loro frammenti), che ritraggono divinità sia egizie che romane, oltre a imperatori di epoca romana e persino animali. Sono presenti sia figure intere che busti, realizzati principalmente in marmo o bronzo. Completano l'elenco dei beni di valore artistico un paio di bilance con i rispettivi pesi. Strumenti simili a quelli qui catalogati verranno menzionati anche nella sezione dedicata alla chimica; la loro diversa collocazione all'interno del documento suggerisce che, mentre quelli appena citati avevano, con ogni probabilità, una funzione puramente espositiva, gli altri possono considerarsi a tutti gli effetti strumenti scientifici impiegati nella ricerca e nella didattica.

Dall'ambito artistico si torna al campo scientifico: le successive quattro pagine sono dedicate infatti alla descrizione, piuttosto minuziosa, degli apparati che avrebbero fatto parte della camera di fisica dell'Istituto. Di questa sezione ci occuperemo nel dettaglio una volta terminata l'analisi sommaria del contenuto del documento, proponendone una traduzione dal latino. Per il momento presente ci limitiamo a sottolineare la presenza, al termine dell'elenco degli apparati (al solito redatto in lingua latina), di una serie di utensili relativi ai mestieri dell'orologiaio (*Ad HOROLOGIORUM fabricam spectantia*) e del tornitore (*Ad artem Toremauticam Utensilia spectantia*). Come già sottolineato per la sezione successiva alla descrizione degli apparati astronomici, anche in questo caso gli utensili vengono descritti in lingua italiana.

Il catalogo prosegue presentando una serie di icone in bronzo e in legno, un elenco di caratteri tipografici e, in chiusura, una ridotta collezione di apparati destinati al laboratorio dello spargirico.

Gli apparati della camera di Fisica²³

Come anticipato, si riporta di seguito l'elenco completo degli apparati destinati alla camera di Fisica, così come è organizzato nel documento originale [31].

²¹Lo stesso Marsili a proposito scrive *A Campano elaboratum* [31].

²²Si tratta di modelli che fanno ancora oggi parte della collezione del museo di Palazzo Poggi e sono esposte nella sala dedicata all'architettura militare.

²³Quanto segue è una traduzione mia del contenuto di [31], pp. 97-100.

**ELENCO degli Strumenti destinati alla Camera riservata agli
Esperimenti fisici***Macchina Pneumatica e altri apparati a essa connessi*

Macchina Pneumatica verticale, le cui parti sono: 1). Un contenitore, ovvero una Campana in vetro rinforzata da un anello in ottone; 2). Un rubinetto anch'esso in ottone, sulla cui parte superiore vi è un Piatto, o lamina rotonda, sul quale è disposta la campana prima citata; la parte inferiore termina in una pompa per l'aria 3). Una pompa per l'aria, ovvero un cilindro cavo in ottone con un pistone dello stesso materiale, che termina con una lamina in ferro di larghezza esigua ma oltremodo spessa e, dalla parte opposta, dentata; tra questi denti si inseriscono i piccoli denti di ferro di una qualche ruota, la quale [ruota] è fissata a una manovella. 4.) Una teca di colore nero bruciato nella quale è contenuta la macchina descritta.

Riferiti alla Macchina.

Croce in legno dotata di una parte in ferro che ha la funzione di manovella, con un supporto in legno costruito per mantenerla in posizione.

Cinque anelli in ottone, diversi per dimensione, sui quali sono saldati i Piatti della Macchina.

Rubinetto in ottone, più piccolo di quello sopra menzionato, sorretto da un sostegno di legno.

24 recipienti, ossia campane vitree, diverse tanto per altezza quanto per diametro, utili per diversi esperimenti di Meccanica.

Strumenti di Ottica.

Elioscopio provvisto di due tubi, inseriti l'uno dentro l'altro, e di due lenti cristalline convesse.

Due Telescopi Catadiottrici. Il primo è composto di sei tubi dei quali uno è verticale, mentre gli altri cinque orizzontali, da cinque lenti e da un unico specchio. L'altro è costituito invece da quattro tubi, di cui uno verticale (e gli altri orizzontali), due lenti e uno specchio.

MICROSCOPIO grande verticale, composto da tre lenti e due tubi e da una vite inserita in un treppiede di ottone, il quale è stato saldato nella base rotonda e nel cui punto medio vi è un'apertura chiusa dalla vite.

Riferiti al microscopio sopracitato.

Coppia di lenti obbiettive inserite nelle rispettive scanalature in legno e che, in caso di necessità, vengono sostituite all'obbiettivo del Microscopio di cui sopra.

Un treppiede in legno, sulla cui sommità si trova una tavoletta di legno disposta orizzontalmente, nel cui punto medio c'è una grande apertura e nella quale attraverso la vite vengono inseriti due tubi con due lenti convesse, tubi ai quali viene annessa orizzontalmente una lucerna in bronzo, verticalmente mobile, inserita in un'asta di ottone - asta che è, a sua volta, inserita in un blocco di ottone (lett: "stilobate"). Sotto la suddetta lucerna è fissato, con il supporto di una piccola vite, uno specchio concavo in ferro rivestito di stagno, che ha lo scopo di riflettere la luce.

Un certo strumento del quale vi sono dieci parti. Tra queste una lente Cristallina convessa, uno specchio concavo di ottone deputato a riflettere la luce, e un anello del medesimo materiale, al cui interno è una vite femmina, nella quale si inserisce il Microscopio quando esso è disposto, orizzontalmente, nel modo in cui si preferisce.

Un vetro piano e rotondo [collocato] all'interno di un asse piana, per osservare la circolazione sanguigna e altri fenomeni negli esseri viventi²⁴.

Una lente cristallina convessa per osservare diversi oggetti.

Un altro microscopio, più piccolo del precedente, composto di due lenti e inserito verticalmente in un treppiede per mezzo di una vite.

Un altro microscopio da mano, composto di due lenti, delle quali manca l'obbiettivo.

Un altro piccolo microscopio da mano, opera di Campani, costituito da due lenti e inserito, per mezzo di una vite, in un treppiede di ottone. È inclusa una Teca in legno, ben lavorata al tornio e macchiata all'esterno.

Quattro piccole lamine, di cui una è di colore giallastro e le rimanenti avorio, utili per il Microscopio suddetto. Tutte sono contenute all'interno di una Teca simile a quella già descritta.²⁵

²⁴Con ogni probabilità si tratta di una lente di ingrandimento. La descrizione fornita da Marsili potrebbe fare riferimento proprio alla lente (*crystallum planum, & rotundum*) e alla "cornice", realizzata in legno. Ma è soprattutto dalla specificazione degli scopi per cui lo strumento veniva impiegato che è possibile supporre la sua identificazione; uno strumento analogo è presente nella statua di Lazzaro Spallanzani, collocata nell'omonima piazza presso Scandiano. Lo scienziato è raffigurato in posizione eretta, nell'atto di osservare (per l'appunto con una lente) la circolazione del sangue nei vasi di una rana fissata su di un piccolo "patibolo".

²⁵Si tratta, probabilmente, di supporti per i vetrini portacampioni.

Un microscopio da mano, ossia una sfera di vetro, insieme a cinque lamine di ottone e due di avorio, tutte contenute in una Teca.²⁶

Sei lenti convesse, o Microscopi. Quattro di queste sono chiuse nei loro Contenitori.

Una Teca con una parte in vetro, dotata di una chiave, in cui sono riposte tutti i Microscopi di cui sopra.

Una lanterna magica fabbricata con una lastra di bronzo falso, insieme ai suoi vetri e specchi.

Tre Tavolette in legno per condurre osservazioni con la lanterna appena descritta, ciascuna delle quali presenta quattro vetrini di forma rotonda nei quali sono dipinte immagini diverse.

Uno specchio concavo in ottone con la sua lucerna.

Un pezzetto di ottone diviso in un certo numero di parti, già in uso per la macchina pneumatica.

Strumenti relativi a barometri e termometri.

Un barometro racchiuso in un'asta, per i viaggi²⁷.

Due barometri riposti nelle loro scatole.

Un termometro anch'esso con la propria scatola, ma danneggiata.

78 tubi, ovvero condotti in vetro.

48 tubi in vetro che terminano, a un'estremità, con un bulbo, [tubi] con i quali vengono realizzati i termometri.

Strumenti relativi alla Statica.

7 Bilance di varia dimensione e forma per esaminare il peso di solidi e liquidi.

20 Pesi in ottone, da una libbra fino a uno scrupolo²⁸.

Un piccola Bilancia per pesare le monete, insieme a una cassa nella quale vi sono 38 pesi diversi.

²⁶Il riferimento è, verosimilmente, al microscopio a sfera di vetro concepito da Antoni van Leeuwenhoek (seconda metà XVII secolo).

²⁷Il rimando è, quasi certamente, a uno strumento portatile.

²⁸Una libbra corrisponde a 325-361 grammi, mentre uno scrupolo può andare da 1 a 296 grammi.

Strumenti di Anatomia.

Una piccola sega.

Quattro lunghi coltelli, due ricurvi smussati alle estremità e due più dritti.

Quattro coltelli più piccoli per le sezioni Anatomiche.

Coppie di cannule d'argento.

Asse in legno ricoperta con un panno di colore bianco, alla quale sono appesi gli strumenti sopracitati.

Strumenti per rendere più agevoli gli esperimenti di Chimica e Fisica.

Due piccoli matracci con i tappi a becco.

Quattro fiale dal collo lungo.

Un tappo a becco per le fiale suddette.

Un altro tappo per le medesime fiale.

Una coppia di piccole storte.

Una storta più grande di quelle sopracitate.

Due recipienti in vetro di medie dimensioni.

Una coppia di imbuto in vetro.

Un coperchio in vetro.

Dodici piccole ampolle in vetro contenenti aromi e liquidi diversi.

Una coppia di recipienti in vetro destinati ad altro uso.

Tre recipienti antichi, uno di forma ovale e in marmo nero antico; un altro poggia su una base di porfido e il terzo [su una] di antico marmo egiziano - quello che chiamano granito.

Un recipiente di rame, in cui viene conservato il *caementum*²⁹ per la macchina pneumatica.

Due armadi di medie dimensioni, dipinti e ornati con linee d'oro e suddivisi in vari scomparti.

Sette scaffali, su molti dei quali sono appoggiati gli strumenti sopra menzionati.

²⁹Non si è trovata traduzione adatta del termine, che può indicare o lo stesso cemento oppure, con un'accezione più generale, un qualsiasi legante. Si tratta del materiale impiegato per ancorare il recipiente al piatto della macchina pneumatica, isolando lo spazio al suo interno per impedire un rientro di aria una volta fatto il vuoto.

Uno scaffale più grande, sul quale si trovano le campane vitree della Macchina Pneumatica.

Un ripiano tinto di bianco e decorato con linee d'oro sul quale sono conservati i liquidi chimici prima menzionati.

Un orologio contenuto in una colonna in legno di noce decorata con linee irregolari³⁰, costruito a Parigi e che indica, con il battito, le ore della campana.

Infine, va aggiunto quanto segue.

- Num. 1. Un tubo cilindrico, realizzato con una lamina di metallo sottile, utilizzato per misurare la forza dell'acqua "ferma" in ogni direzione, così come anche il suo moto a diverse altezze.
2. Un recipiente di legno con i lati disposti in parte verticale, in parte inclinati, per misurare la pressione dell'acqua vicino a tali lati.
3. Un recipiente di legno per misurare la pressione dell'acqua lungo i lati disposti in verticale.
4. Un recipiente di legno per misurare il momento dell'acqua lungo i lati inclinati verso l'interno.
5. Un recipiente di legno per misurare la pressione dell'acqua lungo i lati inclinati verso l'esterno.
6. Un tubo cilindrico realizzato con una sottile lamina metallica, più largo nella parte inferiore e più stretto all'estremità superiore, utile per misurare la pressione che l'acqua esercita sul fondo.

Lo stile descrittivo di Marsili colpisce per la ricchezza di particolari che non sono di interesse scientifico: vengono descritti armadi decorati con linee dorate e spesso viene esplicitato il colore di determinati utensili o complementi d'arredo. In altri termini, l'impressione che si ricava dalla lettura del documento è che esso sia stato redatto da una persona interessata più a sincerarsi che i singoli apparati (insieme a tutte le rispettive componenti) trovino la loro corretta collocazione e non vengano confusi con altri, che non a provvedere a una vera e propria scheda di analisi degli apparati donati - maniera in cui gli studiosi di storia sperimentale della scienza si avvicinano a uno strumento oggi. Sono inoltre completamente assenti i riferimenti ai costruttori degli apparati - se non per un'eccezione, rappresentata dal microscopio attribuito a Giuseppe Campani. Questa 'scelta stilistica' risponde proprio alla necessità pratica sopra esposta: l'interesse di Marsili non è quello di comunicare al lettore il funzionamento e l'origine dei diversi apparati sperimentali, ma quello di assicurarsi che le persone incaricate della collocazione degli stessi non commettano errori.

La dotazione iniziale della camera di fisica comprendeva dunque strumenti di pneumatica, ottica, termologia, statica, idrostatica e persino anatomia e chimica. Purtroppo, di questa ricca collezione oggi Palazzo Poggi non è più la dimora; gli strumenti sono andati perduti - anche se non è escluso che possano sopravvivere da

³⁰Letteralmente, *che ricordano le tracce dei vermi*; nell'originale latino *vermiculari opere*.

qualche parte.

La pur modesta collezione di strumenti fisici ha permesso a coloro che hanno frequentato l'Istituto in questo periodo di studiare da vicino e in maniera completamente nuova la pneumatica e il comportamento di gas e fluidi. Quando Marsili a più riprese vanta di offrire alla propria città, con la costruzione dell'Istituto, un qualcosa di nuovo e che potrà superare persino le realtà europee, si riferisce proprio ai laboratori (le *camere*). Non è tanto una gara all'Istituzione che possiede il maggior numero di apparati, né a quella che ospita nelle proprie sale quelli più prestigiosi o innovativi: il semplice fatto che esistessero dei laboratori di fatto pubblici, aperti a tutti coloro che desiderassero avvicinarsi o approfondire la fisica, costituiva un elemento di grande innovazione. La Royal Society londinese non disponeva di strumenti che non fossero di proprietà di privati, mentre l'Académie des sciences permetteva ai propri membri di discutere di esperimenti svolti all'esterno dell'istituzione con cadenza soltanto bisettimanale.

Nella sezione dedicata alla fondazione dell'Istituto delle Scienze (2.2) si è discusso dei compromessi che hanno rappresentato il punto di incontro tra le volontà di Marsili e le limitazioni imposte dal Senato. Un punto importante in questo contesto riguarda i progetti che Marsili aveva per le arti meccaniche. Nell'*Instrumentum donationis* compaiono, accanto a strumenti chiaramente relativi alle diverse stanze in cui era organizzato l'Istituto, anche oggetti quali forbici, cacciaviti, torni e altri, che, se si adotta una chiave di lettura moderna, non sono di pertinenza dei laboratori specializzati quanto piuttosto delle officine che si occupano della costruzione e manutenzione degli apparati. Nel disegno iniziale di Marsili, le diverse officine erano state concepite come parte integrante dell'Istituto, sulla scorta di una piena adesione all'idea baconiana di raccontare, insieme, la storia naturale e la storia della natura trasformata dall'uomo. Per Marsili i laboratori del fabbro, del tornitore e dell'orologiaio non erano abitati da semplici operai ma da, figure professioniste con un ruolo di primo piano nella realizzazione di innovativi apparati sperimentali, membri di una *Unione de Mecanici Professori* che, sempre nei piani originali Marsili, avrebbe anche potuto discorrere con i Professori *del modo migliore di migliorare simili meccaniche Arti ed anche trovar qualche nuova invenzione da farsi esaminare dall'Accademia delle Scienze, che trovandola utile, e di decoro alla Patria dovrà comunicarla alla destinata Ill.ma Assunteria sopra l'Istituto, affine d'intercedergli qualche premio dalla beneficenza del Senato per così animar altri a far lo stesso*.³¹ In realtà, questa collaborazione non verrà di fatto mai concretizzata perché non verrà costituita (o, almeno, non si ha traccia della costituzione) di una simile Unione. La presenza di una cospicua collezione di strumenti 'da lavoro' e la loro diretta menzione nel Capitolo V delle *Costituzioni* permettono di assodare la presenza di una classe di artigiani come parte integrante dell'organico dell'Istituto; tuttavia, essi vi fanno il loro ingresso in una posizione di subordine rispetto ai professori.

³¹A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b.7 n. 2., *Capitoli da inserirsi nell'Instrumento di donazione del Co. Luigi Ferdinando Marsigli*.

2.3 Il compimento del progetto marsiliano

«Tutti li più distinti forestieri, che passavano per Bologna,
andavano a vedere una tale erudita esposizione;

come tutti li cittadini restavano attoniti, riflettendo che questi erano
gl'istessi capitali che furono sempre negletti sotto del mio tetto paterno,
che sempre ebbi la mente d'illustrarlo con una tale istituzione in faccia
di tutta l'Europa.»

- L.F. Marsili, *Autobiografia*, a cura di Emilio Lovarini (1930).

Nel XVIII Secolo non è più l'Università, ma l'Istituto delle Scienze voluto da Luigi Ferdinando Marsili il centro di riferimento per tutti gli studiosi di scienze fisiche, naturali e matematiche. Studiare la scienza italiana del Settecento significa, sostanzialmente, analizzare il contesto bolognese nei termini della ricerca e dell'attività didattica svolte presso l'Istituto delle Scienze, il cui apice viene raggiunto sul finire del Settecento con l'emergere della personalità di Luigi Galvani e i suoi studi sull'elettricità animale. Baldini parla dell'Istituto delle scienze come del *culmine organizzativo della scienza italiana nel primo Settecento, configurato non come accademia ma come laboratorio polivalente* [2]. Ed effettivamente il centro era dedicato insieme alla ricerca, alla didattica sperimentale e alla conservazione museale. All'interno delle sale di Palazzo Poggi trovavano spazio lo studio della medicina, della fisica sperimentale, della chimica, della botanica, della matematica e, persino, delle lingue orientali - discipline affrontate con metodo ostensivo e orientato all'illustrazione dei più recenti risultati di ricerca.

Del tortuoso percorso che condusse alla nascita della prima istituzione culturale autonoma e indipendente rispetto all'Università ci si è occupati nella Sezione 2.2; si è discusso, in particolare, di come per la realizzazione di un simile progetto sia stato fondamentale l'incontro di più istanze diverse. Fondamentalmente, l'Istituto nasce come evoluzione dell'esperienza degli Inquieti e beneficia infatti dei legami che i membri dell'Accademia avevano iniziato a instaurare con il resto del continente; a questo si aggiungono la generale insoddisfazione - diffusa soprattutto nelle fasce d'età più giovani - per l'offerta formativa universitaria del tempo e, non da ultimi, la forte volontà e il profondo carisma di Luigi Ferdinando Marsili, che dimostrò accentuate doti diplomatiche.

Ancora prima che i fratelli Marsili avanzassero le loro proposte al Senato, Francis Bacon chiedeva a gran voce l'intervento dei regnanti nella riforma delle università, affinché in esse si potesse coltivare un sapere scientifico di tipo pragmatico e pragmaticamente orientato, oltre che collettivo. Egli auspicava, già nel 1623, con la pubblicazione del *De Dignitate et Augmentis Scientiarum*, lo stabilirsi di una fitta rete di collaborazione tra le principali università europee. Se gran parte di ciò che accade dentro la Casa di Salomone descritta nell'opera postuma *New Atlantis* (1627) è oggi effettivamente parte integrante della ricerca scientifica, non siamo ancora arrivati al punto di costituire una comunità internazionale di ricerca scientifica che operi per il bene comune. Certamente al giorno d'oggi i progetti di ricerca vengono

sottoscritti e portati avanti da scienziati di diverse nazionalità, per cui vi è effettivamente un clima di collaborazione - che, tuttavia, non ha raggiunto la sua piena realizzazione nella maniera intesa da Bacon. E, in fondo, la ragione che ha portato alla costituzione di gruppi di ricerca tanto estesi e di collaborazioni internazionali è di tipo economico: non è pensabile, per una nazione da sola, stanziare i fondi sufficienti per portare avanti ricerche di frontiera.

Allo stesso modo, gli scienziati del Seicento (e a maggior ragione nel Settecento) iniziavano a rendersi conto dell'impossibilità di portare avanti il loro lavoro di ricerca sperimentale come privati. La scienza sperimentale, che mira a rendere l'uomo padrone della natura e ad agevolarne l'esistenza con invenzioni che abbiano un risvolto nella vita pratica, è dispendiosa: non la si può portare avanti da soli, nel proprio laboratorio, da cui la richiesta di una riforma dell'università con l'auspicio di un ammodernamento delle strutture e dell'organizzazione. Ma, in Italia come pure nel resto del continente, le Università si eressero a baluardi della difesa degli antichi privilegi, restie ad accoglierne le novità. Le personalità scientifiche tentano dunque di realizzare, con i loro mezzi, delle modeste e circoscritte "case di Salomone", nella forma delle Accademie; finché Luigi Ferdinando Marsili riesce nell'impresa di trasformare un'accademia privata in un'istituzione pubblica, pur restando esterna e non comunicando in alcun modo con l'Università. È vero che diverse personalità scientifiche ricoprivano ruoli di rilievo all'interno di entrambe le strutture (generalmente avevano la medesima cattedra, da un lato come lettori e dall'altro come professori); ciononostante, le due realtà costituivano mondi a sé stanti.

L'idea di scienza portata avanti all'interno dell'Istituto è più vicina a una concezione baconiana che galileiana e richiama l'impostazione dell'Accademia degli Inquieti, della quale l'Istituto è in qualche modo la naturale continuazione. Nel desiderio di un'istituzione che insegni *per gli occhi* anziché *per le orecchie* è chiaro il rifiuto di Marsili per un'impostazione tipicamente universitaria, enciclopedica e teorica, in favore di un insegnamento e di una ricerca saldamente ancorati all'esperienza. Nell'ottica del fondatore dell'Istituto, infatti, anche la ricerca scientifica apparentemente fine a se stessa aveva pubblica utilità, contribuendo alla formazione di una classe dirigente competente, in grado di affrontare le sfide sociali, economiche e militari. Non bisogna dimenticare che una simile dicotomia tra teoria e pratica rispondeva anche allo scopo di non interferire con l'operato dell'Università, alla quale veniva riservato in maniera esclusiva l'insegnamento delle discipline di stampo teorico³² - tra cui anche la fisica teorica, che comprendeva l'illustrazione dei principi e delle leggi in grado di spiegare l'esito degli esperimenti proposti presso l'Istituto. Nelle Costituzioni dell'Istituto³³ si legge infatti, nel capitolo dedicato ai professori:

«Avranno Li Professori particolare avvertenza di non fare negli esercizi alcuno studio, o Discorso Scientifico, che convenisse alla formola d'una Lezione, o che si potesse chiamare una vera Lezione propria delle Cattedre del Pubblico Studio, dovendo gli esercizi versare principalmente nella pratica delle osservazioni, operazioni,

³²Si precisa che, in realtà, uno spazio destinato alla riflessione teorica era a disposizione nell'Accademia delle Scienze, annessa all'Istituto per volontà dello stesso Marsili.

³³B.U.B., *Le Costituzioni dell'Istituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287.

esperimenti, et altre cose di simile natura. Si imputerà a gran colpa la trascuragine di questo articolo.»

In altri termini, a Bologna ogni progetto di rinnovamento dell'attività intellettuale (di ricerca o didattica) non poteva prescindere dall'Università. L'introduzione delle nuove discipline e del nuovo metodo di studio in un simile contesto era di fatto ostacolato dalle norme in vigore presso l'Università, contenute nelle *Ordinazioni* del 1639 firmate dal cardinale Sacchetti e ancora in vigore nel Settecento (seppur con lievi modifiche): in esse si ribadiva la natura teorica delle lezioni e si vietava ai lettori dello Studio di citare temi non trattati dagli autori dei testi assegnati. Era tuttavia espressamente concessa la possibilità di tenere *lezioni private, far Accademie, non derogando alle Costituzioni generali dello Studio*³⁴. Non era infrequente che i docenti universitari aprissero ai propri studenti le porte dei loro studi privati, allo scopo di aggiornarli circa l'avanzamento delle proprie ricerche e impartire insegnamenti di carattere più marcatamente sperimentale. In questo modo Bologna ha potuto tenersi al passo rispetto alle scoperte scientifiche maturate nel contesto europeo: non a caso, l'assimilazione delle concezioni newtoniane relative all'ottica raggiunge il proprio culmine con la riproposizione degli esperimenti narrati nell'*Opticks* da parte dell'allora sedicenne Francesco Algarotti, affiliato all'Istituto delle Scienze più che all'antica Università.

Parlando di Università è utile ricordare che, al tempo, l'opposizione più dura ai nuovi metodi scientifici era incarnata nei collegi dottorali dei Leggisti e degli Artisti, le due organizzazioni cooperative universitarie. Quello dell'Università non era un difetto di materiale (strumenti, laboratori), quanto piuttosto una mancata apertura alla novità dettata, con ogni probabilità, dal timore che questa determinasse una perdita dei propri privilegi. Di questo era consapevole Marsili, che, nel momento in cui decide di destinare i propri materiali alla città di Bologna, non intende allo Studio né all'Archiginnasio, ma a quella che diventerà la nuova realtà dell'Istituto delle Scienze. Ciò non significa che non ci abbia pensato: il suo *Parallelo*³⁵ è, di fatto, una proposta di rinnovamento dell'istituzione universitaria più avanzata di quella del fratello - in quanto non ci si limita a proporre modifiche relative al corpo docenti ma, sulla base del confronto con le realtà d'oltralpe, si chiede una revisione dei metodi e dei contenuti dell'insegnamento.

La netta dicotomia tra teoria e pratica si applicava all'attività didattica: non è chiaro se e fino a che punto i professori che prestavano servizio presso l'Istituto si attenessero a un metodo rigorosamente sperimentale e deduttivo anche nei loro lavori di ricerca o quanto fossero inclini a condurre riflessioni circa le possibili implicazioni metafisiche delle teorie scientifiche. D'altra parte, nei resoconti ufficiali dell'attività dell'Istituto sono riportati dibattiti - come quello relativo alle 'forze vive' - che poco hanno a che fare con la pubblica utilità della scienza, ma tradiscono una vena filosofica e metafisica.

Università e Istituto si configuravano dunque come realtà in antitesi ma complementari ed effettivamente molti studenti frequentavano entrambe. Per permettere

³⁴B.U.B., *Le Costituzioni dell'Istituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287.

³⁵Marsili, L.F., *Parallelo dello stato moderno dell'Università di Bologna con l'altre al di là de' monti*, in B.U.B., Ms. 630, cc. 39-55. 1709.

ciò - e, in primo luogo, per scongiurare conflitti con i vertici universitari -, le dimostrazioni presso l'Istituto si tenevano un giorno alla settimana, giorno da decidersi in maniera tale che non interferisse con le attività dell'Università - come si legge all'Articolo I del Capitolo VI delle Costituzioni, che reca il titolo *De Giorni, et Hore, delli Esercizij* ³⁶:

«Sarà ufficio del Presidente l'haver formulato avanti il principio dell'anno scolastico, il Calendario de' giorni degli esercizi dell'Istituto, regolandolo sempre in forma, che ogni settimana habbia un'esercizio in un giorno, che non sia impedito dalle lezioni del Pubblico Studio, ne dalle adunanze dell'Accademia di Scienze. Il Calendario sarà esposto nell'Istituto a comodo di tutti.»

Prima di vedere più nel dettaglio l'organizzazione temporale dell'attività presso l'Istituto, conviene soffermarsi sull'organigramma. Una descrizione particolarmente concisa ed efficace delle personalità operanti all'interno dell'Istituto viene data da Luigi Ferdinando Marsili nel *Proemio* con cui si aprono le *Costituzioni* ³⁷, del quale si riporta un estratto.

«[...] una nuova Fede alle Scienze, con profitto ancora dell'Arti, e di erigervi un'Istituto, dove Liberamente si possa amettere in uso La ricca suppellettile di tanti Capitali scientifici, e meccanici donati dal Generale Conte Luigi Ferdinando Marsilj; sono perciò passati all'elezione d'uomini per costumi, e per dottrina riguardevoli, con l'assegnamento a Ciascheduno d'un congruo annuo stipendio; l'uno de quali col nome di Presidente avrà la generale soprintendenza di tutto l'Istituto; l'altro come Secretario terrà registro degl'Atti dell'Istituto e li rimanenti, che si chiameranno Professori, avranno l'Ufficio di esercitarsi in que' Titoli, che professeranno, e d'insegnare a' chiunque volesse apprendere le Scienze da loro professate. Li Titoli delle Scienze, e facoltà, ciascuna delle quali avrà il suo Professore, saranno d'un astronomo, d'un matematico, d'un Fisico sperimentale, d'un Istorico della natura, d'un Spargirico ed un Bibliotecario».

Il ruolo del Senato non si risolve dunque con l'acquisto di Palazzo Poggi e l'autorizzazione a tramutarlo in sede per l'Istituto; lo stesso personale in servizio presso l'istituzione voluta da Marsili viene infatti eletto proprio dal Senato. Nel caso del Presidente e del Segretario, l'incarico è vitalizio; i professori sono invece eletti per un quinquennio, con possibilità di richiedere una proroga del mandato entro due mesi dalla scadenza dello stesso. Allo stesso modo, è il Senato che ha facoltà di *rimuovere dall'Istituto qualunque soggetto, che havesse notabilmente demeritato*.³⁸..

Se il Presidente, come si è visto, svolgeva per lo più incarichi di sovrintendenza e rappresentanza, due sono i compiti di maggior rilievo assegnati al segretario (che, a differenza del presidente, manteneva il titolo anche in relazione dell'Accademia della Scienze): egli era tenuto a conservare memoria dei temi trattati nel corso delle

³⁶B.U.B., *Le Costituzioni dell'Istituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287, Cap. VI, art. 1.

³⁷B.U.B., *Le Costituzioni dell'Istituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287.

³⁸V. riferimento precedente

esercitazioni - chiedendone documentazione scritta ai professori - e, al contempo, si occupava della corrispondenza con le accademie dislocate sul territorio europeo. I risultati (o le scoperte) maggiormente degni di nota dovevano essere comunicati anche all'Assunteria di Istituto. La stessa aveva facoltà di approvare la pubblicazione di tali risultati, a patto che vi fosse comune accordo tra i professori e previa revisione da parte dei censori.

Il ruolo principale dei professori è presto detto: essi sono custodi delle proprie stanze, entro le cui mura svolgono esercitazioni pertinenti alla materia di loro competenza avvalendosi dell'aiuto di un assistente - scelto personalmente dal professore, il quale chiederà poi l'approvazione del Presidente. Allo stesso i professori si potevano rivolgere in caso necessitassero di fondi extra per la conduzione di esperimenti particolarmente dispendiosi; a tal proposito è interessante notare come, nonostante sia stato lasciato lo spazio, non venga nelle *Costituzioni* indicata la cifra massima che era possibile richiedere al Presidente - prima di doversi rivolgere all'Assunteria legata all'Istituto (si veda la Figura 2.2).

Un prospetto iniziale della spesa prevista per l'anno scolastico veniva redatta da ogni docente nel mese di ottobre, prima dell'inizio delle esercitazioni; questa andava sottoposta, di nuovo e insieme ai temi da trattarsi nel corso dell'anno, all'approvazione dell'Assunteria.

280

in Persona all'esperimento: Quando
 però l'esperimento fosse dispendioso,
 dovranno Li Professori chiedere Licen-
 za al Presidente, quale haurà la fa-
 coltà di concederla fino alla somma
 di L. . Se importasse maggior
 spesa, il Presidente dovrà prender
 licenza dall'Assunteria dell'Istituto.

Figura 2.2: Estratto del Cap. V delle *Costituzioni*. In rosso è evidenziato lo spazio lasciato vuoto, senza indicazione alcuna del massimo importo spendibile per la conduzione degli esperimenti scientifici presso l'Istituto.

Insieme alle chiavi della propria "aula", a ogni professore veniva consegnato anche l'inventario degli apparati presenti al suo interno, da verificare ogni anno al principio delle vacanze estive - e, comunque, ogni qualvolta venisse richiesto. Per quanto riguarda la Camera di Fisica, tale mansione venne svolta da Gusmano Galeazzi con grande scrupolo almeno fino 1721.

Risulta a questo punto interessante approfondire il calendario delle esercitazioni, a partire da una trascrizione integrale dei Capitoli VI e VII delle *Costituzioni* ³⁹.

Cap:° VI.°

De Giorni, et Ore delli Esercizij

- Art°: 1:** Sarà ufficio del Presidente l'havere formato avanti il principio dell'anno scolastico, il Calendario de giorni degl'esercizij dell'Instituto, regolandolo sempre in forma, che ogni settimana habbia un esercizio in un giorno, che non sia impedito dalle Lezioni del Pubblico Studio, ne dalle Adunanze dell'Accademia di Scienze. Il Calendario sarà esposto nell'Instituto à comodo di tutti.
- 2°:** Oltre alli giorni, che saranno stati assegnati nel Calendario a'gl'esercizij, ciascun Professore dovrà eleggersi à suo piacimento un giorno della settimana per li suoi exercizij, et aavvanti, che termini l'esercizio del giorno elettivo, avvisarà li suoi Studenti, qual sarà il giorno elettivo per l'esercizio della settimana seguente, e lo noterà in una Tabella, che pubblicamente starà appesa per avviso, e comodo di tutti quelli, che volessero intervenire.
- 3°:** Le Ore degl'esercizij saranno dal principio dell'anno scolastico fino a Quaresima, alla prima ora della notte in punto fino alle trè.
- 4°:** Dal principio di Quaresima fino à tutto Aprile, dalle Ore 24 sino alle due.
- 5°:** Dal principio di maggio fino all'Assunzione della Beata Vergine, dalle Ore 20 fino alle 22.

Cap:° VII.°

Delle Vacanze

- Art°: 1:** Il Presidente registrerà nel Calendario i tempi delle vacanze, con avvertimento, che quelle di Natale non principino prima della festa di Santa Lucia fino all'Epifania. Quelle di Carnevale dalla Domenica di Settuagesima fino al secondo giorno di Quaresima. Quelle di Quaresime dalla Domenica delle Palme fino all'Ottava di Pasqua. Le estive dalla Madonna d'Agosto à tutti Li Santi.
- 2°:** Saranno ancora vacanti tutti quei giorni, ne' quali si facesse l'anatomia sul Pubblico Studio.
- 3°:** Se però in tempo di ferie, ò di vacanze, et ancora nel corso degl'esercizij fossero Li Professori avvisati dal Presidente à trasferirsi all'Instituto per servire qualche forestiero, ò per qualche altro urgente bisogno, ò Pubblico comando, dovranno esser pronti ad andarvi.

³⁹B.U.B., *Le Costituzioni dell'Instituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287.

Si è detto che la scelta delle materie e dei temi da affrontare nel corso dell'anno avveniva, di comune accordo, nel mese di ottobre, con una riunione alla quale prendevano parte i professori e il Presidente dell'Istituto. Ciò suggerisce che l'avvio dell'attività didattica non cadesse, come succede oggi, nel mese di settembre, ma successivamente. Infatti, dal Capitolo VII delle *Costituzioni* si apprende che le vacanze *estive* comprendevano l'intervallo di tempo compreso tra il quindici di agosto e il primo di novembre; l'anno scolastico⁴⁰ iniziava dunque a novembre per terminare proprio con agosto (come per l'Università). Anche in tempo di vacanza, tuttavia, ai professori veniva chiesta la reperibilità - come apprendiamo dal Terzo Articolo del Capitolo VII delle *Costituzioni*. Le esercitazioni si svolgevano con cadenza settimanale e ognuna aveva durata pari a due ore; giorno della settimana e orario prescelto venivano definiti dal Presidente. Come sancito dal punto XIX delle *Academia Scientiarum Bononiensi Instituti Leges*, quando possibile (ovvero, quando non coincidente con lezioni del Pubblico Studio o con sessioni di anatomia) il giorno indicato per le dimostrazioni era il giovedì; l'orario variava invece in base al periodo dell'anno⁴¹:

Sessionum consuetarum iustum tempus esto dies Iovis a Kalendis Novembris ad Pascha hora prima, a Paschate ad Ferias estivas hora vigesima [...]

La prima e la ventesima ora che vengono citate come momento d'inizio delle esercitazioni non coincidono con le ore 01:00 e le ore 20:00 determinate secondo il moderno computo delle ore (per cui le ore dodici coincidono con il mezzogiorno, ovvero il momento in cui il Sole raggiunge la massima altezza dall'orizzonte). A partire dal Medioevo - e fino alla seconda metà del XVIII secolo⁴² - era in vigore la cosiddetta *ora italica*, un sistema per cui il giorno, pur essendo comunque suddiviso in 24 ore di uguale durata, aveva avvio al tramonto. Si trattava di un metodo particolarmente conveniente prima della diffusione degli orologi meccanici e che presentava un unico svantaggio: un intervallo di tempo quale lo spazio di una dimostrazione presso l'Istituto - fissata, per la maggior parte dell'anno scolastico, dalla ventesima alla ventiduesima ora - corrispondeva in realtà in momenti diversi della giornata a seconda del periodo dell'anno, dal momento che l'ora a cui tramonta il Sole non è costante con il passare dei mesi.

Si apprende così che, in linea di principio e salvo impedimenti, l'attività presso l'Istituto avrebbe dovuto osservare il seguente calendario:

PERIODO DI ATTIVITÀ	CADENZA	ORARIO
dal 01/11 al giovedì precedente a Pasqua	ogni giovedì	20:00 - 22:00
dal lunedì successivo a Pasquetta fino al 15/08	ogni giovedì	17:00 - 19:00

⁴⁰Nonostante al giorno d'oggi si preferisca parlare di "anno accademico" in riferimento ai più alti gradi di istruzione, i documenti ufficiali consultati riportano la dicitura "anno scolastico" e si è pertanto scelto di attenersi a questa.

⁴¹B.U.B., *Academia Bononiensis Institutionalization Leges*, in Ms. 319, 1b.

⁴²In realtà, il passaggio all'ora francese sul suolo italiano si concluse in maniera definitiva soltanto con l'arrivo di Napoleone.

Tabella 2.1: Calendario scolastico indicativo dei periodi di attività presso l'Istituto delle Scienze di Bologna.

Le interruzioni per le festività natalizie coincidevano più o meno con le due settimane di pausa dall'attività didattica che si osservano ancora oggi.

Per raffronto, si presenta di seguito (in Figura 2.3) il calendario effettivo per l'anno scolastico 1721-1722⁴³.

Corr. Kalendarium Bononiensis Instituti
Dierum scilicet, quibus exercitia ab Instituto Scientiarum
Professoribus de Anno MDCCXXI in Anno MDCCXXII
habenda sunt.

<i>Novembris MDCCXXI</i>			<i>Aprilij</i>		
<i>Die</i>	<i>VI</i>	<i>Iouij</i>	<i>Die</i>	<i>XIII</i>	<i>Lunij</i>
	<i>XII</i>	<i>Mercurij</i>		<i>XXIII</i>	<i>Iouij</i>
	<i>XX</i>	<i>Iouij</i>		<i>XXX</i>	<i>Mercurij</i>
	<i>XXVII</i>	<i>Iouij</i>			
<i>Decembris</i>			<i>Maij</i>		
	<i>VI</i>	<i>Saturni</i>		<i>VI</i>	<i>Mercurij</i>
	<i>XIII</i>	<i>Saturni</i>		<i>XV</i>	<i>Venerij</i>
				<i>XX</i>	<i>Mercurij</i>
<i>Vacationes ad diem VII Ianuarij</i>			<i>Vacationes per totam</i>		
<i>includiue</i>			<i>XXX Maij.</i>		
<i>Ianuarij MDCCXXII</i>			<i>Iunij</i>		
	<i>XIV</i>	<i>Mercurij</i>		<i>III</i>	<i>Mercurij</i>
	<i>XXI</i>	<i>Mercurij</i>		<i>XI</i>	<i>Iouij</i>
	<i>XXIX</i>	<i>Iouij</i>		<i>XVIII</i>	<i>Iouij</i>
<i>Vacationes Bacchanationes ad</i>				<i>XXV</i>	<i>Iouij</i>
<i>diem cinend includiue</i>			<i>Iulij</i>		
<i>Februarij</i>				<i>III</i>	<i>Venerij</i>
	<i>XXVI</i>	<i>Iouij</i>		<i>IX</i>	<i>Iouij</i>
<i>Martij</i>				<i>XVI</i>	<i>Iouij</i>
	<i>V</i>	<i>Iouij</i>		<i>XXIII</i>	<i>Iouij</i>
	<i>XIII</i>	<i>Venerij</i>		<i>XXX</i>	<i>Iouij</i>
	<i>XXI</i>	<i>Saturni</i>	<i>Augusti</i>		
	<i>XXVIII</i>	<i>Venerij</i>		<i>VI</i>	<i>Iouij</i>
<i>Vacationes per tota octava</i>				<i>XIII</i>	<i>Iouij</i>
<i>Lazarij</i>			<i>Vacationes per tota</i>		

Figura 2.3: Calendario scolastico per l'anno 1721-1722.

Un prospetto analogo si trova, all'interno del medesimo fascicolo, anche per l'anno scolastico 1724-1725 e - sebbene incompleto - per l'anno 1714.

Si nota che la cadenza delle esercitazioni non supera mai una lezione a settimana; a novembre, dicembre, gennaio e agosto si riduce addirittura a due al mese (a causa

⁴³A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b. 15

delle vacanze). Nonostante la maggior parte delle esercitazioni si tenga effettivamente di giovedì, è possibile notare l'adattamento del calendario come prospettato nelle *Costituzioni*. Non sono disponibili indicazioni per quanto concerne invece i giorni prescelti dai singoli professori per la conduzione delle lezioni di argomento specifico, in aggiunta a quelli stabiliti dal Presidente: è ragionevole supporre, sulla base delle stesse *Costituzioni*, che anche tali lezioni avessero cadenza settimanale.

A differenza di quello compilato per l'anno scolastico 1714, il prospetto riportato in Figura 2.3 non specifica l'orario delle dimostrazioni. Si potrebbe in prima battuta presumere che, se non indicato diversamente, questo si sia mantenuto inalterato; tuttavia, la nota che accompagna il calendario del 1714 porta a presumere che possano essere state introdotte delle modifiche, per venire incontro alle richieste dei professori:

«I Professori unitamente col Segretario hanno formato sul tenore delle *Constituzioni* [...] alcune loro considerazioni intorno alle ore registrate nel presente Calendario, le quali non sembra loro, che possano sussistere senza rendere meno praticabili e fruttuosi gli esercizi dell'Istituto. Imperocchè hanno considerato in primo luogo, che gli esercizi del mese di Aprile intimati per le ventiquattr'ore sino alle due di notte; la quale non pare ormai più atta per la sua minor lunghezza ad ammettere simili studi; saranno probabilmente da pochissimi studiosi frequentati; e in secondo luogo, che nei mesi di Maggio, e di Giugno può temersi lo stesso incontro; essendo che in d.ti mesi le ore degli esercizi sono vicinissime, e quasi s'incontrano coi tempi delle Botaniche Lezioni, che nell'Orto pubblico si fanno il dopo pranzo dal Sig. Canon. Trionfetti dal principio di Maggio sino a' ventiquattro di Giugno. Rappresentano poi in terzo luogo la grandissima incomodità, chè per gli eccessivi caldi arrecano le ore dopo il mezzo giorno dei mesi di Luglio, e di Agosto; e massime se si consideri, che chi abita in contrade assai lontane dall'Istituto, verrebbe costretto in que' tempi a partire di casa alle diciannove ore in circa per giungere in tempo alle venti all'Istituto, cioè nell'ora del caldo più atroce, e meno soffribile.»⁴⁴

Di particolare interesse per la storia dell'Istituto sono gli *Indici Cronologici dei Presidenti, Segretari, Professori, Bibliotecari*, datati 1799⁴⁵. È possibile così ripercorrere l'evoluzione delle dimostrazioni fisiche sulla base dei docenti che si sono succeduti nel tempo, tra i quali si ritrovano molti nomi noti. Li riportiamo per conoscenza di seguito così come si leggono nel documento originale.

Gabinetto di Fisica

Epoca dell'Elezione

⁴⁴A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b. 15, n.1.

⁴⁵A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b. 15, n. 66.

1711.	4 Dicembre.	Dottor Bartolomeo Beccari Professore
1711.	4 Dicembre.	Dottor Gusmano Galeazzi Aiutante
1734.	18 Giugno.	Dottor Gusmano Galeazzi Professore
1734.	5 Ottobre.	Dottor Paolo Batta Balbi Aiutante
1770.	17 Marzo.	Dottor Paolo Batta Balbi Professore
1770.	17 Marzo.	Dottor Giuseppe Veratti Professore Aiutante
1776.	10 Maggio.	Dottoressa Laura Bassi Veratti Professoressa
1776.	10 Maggio.	Dottor Sebastiano Canterzani altro Professore
1778.	31 Agosto.	Dottor Giuseppe Veratti Professore
1778.	31 Agosto.	D. Gio: Natale Magnani Professore Sostituto
1785.	17 Dicembre.	Dottor Giovanni Aldini Professore Sostituto
1786.	10 Novembre.	Dottor Paolo Veratti altro Professore Sostituto

Si apprende dal documento come la celebre Laura Bassi sia infine riuscita a ottenere una cattedra non solamente formale (come quella assegnatole dall'Università in seguito al conferimento della laurea), ma effettiva: il Senato riconobbe dunque la sua preparazione e, soprattutto, l'utilità delle lezioni di carattere ostensivo che già da venticinque anni teneva in casa propria. A pochi mesi dalla sua morte, la cattedra passerà al marito e, successivamente, al figlio Paolo. Come già accennato, l'Istituto delle Scienze raggiungerà la sua massima notorietà in Europa nel periodo di attività di Giovanni Aldini, con le sue scoperte in merito all'elettricità animale - e l'ampio dibattito che si generò intorno all'argomento.

Per quanto concerne invece i primi anni di attività dell'Istituto, a Jacopo Bartolomeo Beccari si affiancherà come aiutante Gusmano Galeazzi (1686-1775), che ne erediterà la cattedra nel momento in cui il professore titolare subentrerà a Marco Antonio Laurenti (1678-1772) nell'insegnamento della chimica (1734). Di fatto Laurenti - pur avendo ottenuta la cattedra e percependo lo stipendio - non tenne mai lezione presso l'Istituto, tanto che nel 1717 gli venne sospeso lo stipendio e i soldi risparmiati furono impiegati per la conduzione di lavori di sistemazione dei giardini dell'Istituto.

Se si consultano i registri che riportano gli stipendi corrisposti ai professori⁴⁶, si nota un divario consistente tra il compenso che spettava all'astronomo (nei primi anni di attività dell'Istituto, Eustachio Manfredi) e gli altri docenti: da 600 £ nel primo caso, alle sole 100 £ per gli altri. Facevano eccezione il Presidente e il Segretario, che percepivano 300 £ ciascuno. Stefano Belli ascrive una simile occorrenza alla fama che poteva vantare, già ai tempi, il nome di Manfredi; vi era, in altre parole, il timore che, in assenza di adeguata retribuzione, si potesse perdere il suo contributo⁴⁷. A questa si aggiunge una seconda motivazione, direttamente connessa al carico di lavoro richiesto all'astronomo: a differenza degli altri professori, egli non si occupava soltanto delle dimostrazioni pubbliche ma i suoi oneri di ricerca risultavano essere particolarmente impegnativi, dovendo ad esempio procedere alla compilazione delle effemeridi.

Quello economico (di stanziamento ma, anche di gestione dei fondi) è stato un problema sin dalla fondazione dell'Istituto. La cifra stanziata annualmente dal Senato per l'Assunteria, pari a 2600 £, non era sufficiente nemmeno per il pagamento degli

⁴⁶A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b. 15, n. 29.

⁴⁷Si veda il riferimento [4], p.62.

stipendi dei professori - la maggior parte dei quali, peraltro, insisteva per ottenere un aumento. Negli anni della docenza di Galeazzi, per il professore venne proposto un aumento di 100 £ (portando così lo stipendio a 200 £), mentre per l'aiutante di 20 £ (portando così lo stipendio a 100 £). A percepire lo stipendio più basso fra tutti i dipendenti dell'Istituto era il macchinista: il suo compenso ammontava a 60 £, poi aumentate a 80 £.

Tra tutti i responsabili delle diverse camere, colui che più di ogni altro si spese attivamente per far fronte a questo problema e sincerarsi che ciò non comportasse un ritardo nell'avvio dei corsi fu proprio Beccari. Fu soprattutto in ragione del suo impegno in prima persona che la camera di Fisica ottenne delle sovvenzioni con cui poté dotarsi degli apparati che, dopo la donazione di Marsili, ancora le abbisognavano - riuscendo così a essere operativa per prima. Di contro, la situazione della camera di Chimica era disastrosa: la mancanza di fondi unita al disimpegno di Laurenti non consentì l'avvio dell'attività didattica prima del 1734.

Un documento di grande importanza per la ricostruzione dell'attività svolta all'interno dell'Istituto sono i *De Bononiensi scientiarum et artium Instituto atque Academia commentarii*, ovvero i commentari dell'Accademia delle Scienze di Bologna - cui era annesso l'Istituto. Questi furono pubblicati negli anni compresi tra il 1731 e il 1791 e sono oggi a completa disposizione degli interessati grazie a una completa digitalizzazione, opera congiunta dell'Università di Bologna e del Museo di Palazzo Poggi. Se è vero che i *Commentarii* dell'Accademia, la cui compilazione è compito del segretario, costituiscono la fonte primaria per quanto riguarda l'attività scientifica dell'Istituto, essi non fanno però menzione alcuna dell'attività didattica svolta al suo interno.

Marta Cavazza discute la nascita dell'Istituto delle Scienze come organismo autonomo [11]: come già sottolineato, l'unico legame con la preesistente Università è dato dal fatto che molti professori assunti all'Istituto erano già lettori dello Studio. Tuttavia, questa pratica non viene in alcun modo descritta all'interno dei documenti ufficiali (si pensi, ad esempio, alle *Costituzioni*): dunque, non c'è alcun legame effettivo e dichiarato tra le due istituzioni. La speranza di Marsili era che l'Istituto potesse influenzare l'università, formandone la nuova generazione di docenti: purtroppo, morirà non vedendo soddisfatto questo suo auspicio e, anzi, col timore che possa verificarsi l'esatto opposto, vale a dire l'esercitarsi di un'influenza negativa da parte dello Studio sull'attività svolta presso l'Istituto. In realtà una convergenza ci sarà, anche se in tempi più dilatati rispetto a quelli pronosticati dal fondatore dell'Istituto: occorrerà infatti attendere la riforma napoleonica (1802-1803), un evento che Marsili non avrebbe potuto predire ma il cui risvolto costituisce una prova di quanto le sue idee fossero anticipatorie sui tempi. Altri centri italiani iniziarono a dotarsi di Gabinetti di Fisica diversi anni più tardi, dalla metà del Settecento - si è discusso dell'istituzione della cattedra di fisica sperimentale presso l'Università di Padova -, ma si trattava di realtà che non potevano competere con l'Istituto bolognese.

Capitolo 3

Le prime dimostrazioni scientifiche presso la camera di Fisica dell'Istituto (1714-1721)

«In questo giorno si diede principio agl'esercizj dell'Istituto da detti professori ogn'uno nella stanza del suo titolo, con numeroso concorso di Studenti, e si vide riuscir tutto con grande proprietà, e decoro, e con speranza di molto Profitto nella Gioventù studiosa, che volesse frequentarli.»

- A.S.B., Assunteria d'Istituto, Atti, Busta I, (1712-1722)

Apriamo il capitolo centrale con una doverosa giustificazione della scelta cronologica operata. L'attività didattica presa in esame copre i sette anni che si frappongono tra l'inaugurazione dell'Istituto e il 1721, anno a partire dal quale non si dispone più dei registri attestanti gli argomenti del corso di fisica sperimentale tenuto da Jacopo Beccari. Nonostante si possa ipotizzare (pur non al netto di ogni ragionevole dubbio) che la macroarea di interesse dell'attività didattica successiva di Beccari sia stata la meccanica [4], l'indagine di questo periodo di attività della camera di Fisica esula dagli scopi del presente lavoro. Proprio a partire dagli anni Venti alla collezione di strumenti donati da Marsili si aggiungono quelli commissionati a Francesco Vittuari - ed è proprio sulla base di questi che è stata avanzata l'ipotesi di un interesse nei confronti della meccanica. Una descrizione dettagliata degli ultimi quattordici anni dell'attività didattica di Beccari - che, si ricordi, dal 1734 passerà alla cattedra di Chimica - non può dunque prescindere dalla ricostruzione dell'insieme di apparati scientifici a disposizione dell'Istituto, che va via via ampliandosi per arrivare a beneficiare di una sostanziosa donazione da parte di papa Benedetto XIV nel 1744. Mentre quest'ultima cessione di apparati è documentata¹, le fonti attualmente a disposizione non rendono possibile una ricostruzione esatta del catalogo di strumenti effettivamente presenti nella stanza di Fisica nel periodo 1721-1734. Apprendiamo che lo stesso Beccari, occasionalmente, realizzava di propria mano gli strumenti dei quali necessitava; il riferimento è, tuttavia a manufatti che egli impiegava a scopo di ricerca piuttosto che didattico [40]:

¹Ad esempio in A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b. 13 n. 33.

«Per meglio analizzare il grado di fosforescenza egli si costruì in casa sua una camera oscura entro la quale gli venivano passati attraverso compartimenti ciechi gli oggetti e le sostanze che erano state esposte alle irradiazioni luminose sia naturali come artificiali.»²

Nonostante non attinenti al campo della didattica, da queste brevi righe traspare l'indole sperimentale di Beccari, che non soltanto progetta esperimenti atti a favorire la comprensione dei punti oscuri della teoria, ma realizza anche gli apparati necessari alla loro esecuzione. L'episodio riportato si inserisce, in particolare, nel contesto di studi circa la fosforescenza. Della persona di Jacopo Bartolomeo Beccari si discuterà maggiormente in dettaglio nella Sezione 3.1.1, mentre, per quanto riguarda gli apparati sperimentali, il riferimento è a quelli contenuti nell'*Instrumentum donationis* di cui si è fornita la traduzione nel Capitolo 2 (Sezione 2.2.1).

3.1 Un dialogo tra sperimentatore, strumento e pubblico

Il lavoro di ricostruzione di un corso di fisica sperimentale si sostanzia, al netto delle informazioni di contorno - quali orari e periodi delle lezioni, luoghi di svolgimento dell'attività didattica -, nella comprensione e riproposizione degli esperimenti che costituivano il cuore della didattica. Sebbene questa presa di posizione sia in larga parte condivisibile, è bene sottolineare come, in ogni indagine di storia sperimentale della scienza, entrino in gioco almeno tre attori: l'apparato sperimentale, lo sperimentatore e le procedure sperimentali [27]. Se l'ambito di ricerca non è semplicemente la storia sperimentale della scienza, ma la storia della *didattica* della scienza, a quelli citati si aggiunge un elemento ulteriore: il pubblico.

3.1.1 Jacopo Bartolomeo Beccari



Figura 3.1: Ritratto di Jacopo Bartolomeo Beccari [40].

²Si veda il riferimento [40] e, in particolare, le pp. 32-33.

Nato a Bologna il 25 luglio 1682, Jacopo Bartolomeo Beccari non si allontana mai dalla propria città natale, dove morirà nel gennaio del 1766. È il terzo di quattro fratelli e nasce all'interno di una famiglia di origini tutt'altro che agiate: il padre, Romeo Beccari, lavorava come speziale in città mentre la madre *attendeva alla casa e alla prima educazione dei figli*.³

Se si confrontano queste prime informazioni con quanto detto a proposito di Marsili, emergono due personalità che, per estrazione sociale e indole, si collocano agli antipodi; si tenga conto anche del fatto che, dal punto di vista anagrafico, appartengono a due generazioni distinte. In comune sembrano avere soltanto la città che ha dato loro i natali eppure, in qualche modo, le loro strade finiscono per incontrarsi ed è proprio grazie a questo incontro che l'attività didattica dell'Istituto può prendere avvio nell'anno stesso della sua inaugurazione (almeno per quanto concerne la Fisica). Al momento della sua nomina come professore di Fisica sperimentale presso l'Istituto, Beccari non aveva ancora compiuto i 29 anni e vantava una laurea in Filosofia e Medicina, conseguita presso l'Università di Bologna quale coronamento di quegli studi intrapresi sotto la guida di Lelio Trionfetti e Jacopo Sandri - quest'ultimo a sua volta allievo di Malpighi. Oltre alle personalità che ne influenzarono la formazione, ciò che più profondamente accomuna Beccari a Marsili è la molteplicità di interessi, alimentata da un'altrettanto vasta cultura, così come anche un solido obiettivo in mente: se Marsili era mosso, in ultima analisi, dall'ideale utilitaristico del sapere, per Beccari la preoccupazione principale era quella di rendere Bologna nuovamente un centro scientifico di prim'ordine, con tutto ciò che questo comportava - tra cui, ad esempio, l'affiancamento dell'attività di ricerca a quella dell'insegnamento. In Beccari riconosciamo una sensibilità che soltanto negli ultimi anni si sta recuperando e che porta a ricondurre l'attività di ricerca sullo stesso piano dell'attività didattica. Nonostante non venga riportato esplicitamente nei testi biografici, tale posizione di Beccari emerge in maniera lampante dall'impegno che egli per tutta la vita profuse nell'insegnamento.

Nonostante venga dai più ricordato come l'*uomo del glutine* (dalla sua più celebre scoperta), in questo contesto è doveroso ravvivarne la memoria come uomo che, pur mentre impegnato nelle attività di ricerca, sollecita e propone donazioni a favore dell'Istituto e si erge a punto di riferimento per gli studenti, coltivando la propria attività di insegnamento per oltre sessant'anni e interrompendola soltanto a pochi giorni dalla morte, colto da un male.

Nella prefazione alla biografia redatta da Giovanni Pini [40], Giordano scrive:

«Lo esaminare di preferenza un aspetto solo dei grandi scienziati “totali” dei tempi passati è forse anche dovuto ad un periodo di eccessiva specializzazione, per cui ogni studioso vedeva solo attraverso a quel lato della lanterna, con cui a sé illuminava l'angusta via.»

Da questa impostazione classica si distacca Pini, che è riuscito a ridare nuova luce a una figura, come quella di Beccari, quando non considerata nei suoi tratti più celebri messa in ombra dalla “concorrenza” del suo tempo, ovvero figure del calibro di Malpighi e Morgagni. Gli scopi del presente lavoro richiedono tuttavia un certo grado di specializzazione, per cui il Beccari analizzato nel seguito non è il medico,

³Si veda il riferimento [40], p. 7

né il fisiologo, né il saggista: è il Beccari insegnante che occorre inquadrare più da vicino per poter dare nuova vita alle prime lezioni di fisica sperimentale in Italia. Questa breve introduzione basti a sollecitare il lettore a non identificare questo lato dello scienziato con l'intera sua personalità - che, come nel caso di Marsili, è ben più sfaccettata e ricca.

Nel 1704 Beccari completa la propria formazione e consegue la laurea in Filosofia e Medicina a Bologna, *indi alle scienze più gravi e sublimi con tanta sollecitudine si rivolse e con tanta costanza si diede come se non apprendere e coltivarle in se stesso, ma dovesse trattarle un giorno e produrle a pubblico giovamento* [45]. Pini sostiene che l'insegnamento fu affidato a Beccari *in grazia delle sue doti preclari d'intelletto e della sua vasta cultura*. Già nel 1705 ricevette la lettura di Filosofia, mentre l'anno successivo la cattedra di Medicina. Come anticipato, nel 1711 venne nominato Professore di fisica sperimentale, mestiere che iniziò a esercitare non appena l'Istituto fu inaugurato (1714) e che lasciò vent'anni più tardi, nel 1734, per passare alla cattedra di Chimica.

Le pressioni esercitate da più parti affinché gli venissero affidati tali insegnamenti contribuiscono a formare un'idea della stima che tanto il Senato quanto le personalità scientifiche più illuminate nutrivano nei suoi confronti. Giudizi positivi arrivavano anche dagli studenti che partecipavano alle sue lezioni. E se non era infrequente vantare un'elevata affluenza per quanto riguarda le lezioni a domicilio, occorre sottolineare che le lezioni di Beccari riempivano anche le aule universitarie: anzi, egli - forse per ovviare al drastico calo di iscrizioni - sollecitava tutti coloro che presiedevano alle lezioni private a recarsi anche in università.

Sebbene non ai livelli di altri grandi icone scientifiche, anche Beccari è stato fatto oggetto di mitizzazione. Nella memoria in suo onore letta durante le celebrazioni funebri, il cugino Scarselli lo presenta come abile oratore quando, in realtà, egli era affetto da balbuzie. Sebbene stimato da più parti (tanto che lo stesso Senato arrivò a sollecitare la sua docenza, e il Pontefice stesso lo aveva in simpatia), Beccari ricambiava in particolar modo la stima che gli derivava dagli studenti, ai quali dedicava la maggior parte dei propri sforzi e dei quali si ergeva a protezione, non esitando a far sentire, per mezzo della propria, la loro voce. Nel marzo del 1748, in una lettera al cugino Scarselli, scriveva:

«Tutta la Città è costernata per la turbolenza e scompiglio di questo povero Studio, di cui si teme imminente la distruzione. Alcuni scolari del Teatro pubblico della Sala commisero alcune ragazzate. Queste risvegliarono nell'animo del Cardinale Legato le antiche amarezze che aveva con loro. Ne fece serrar lo Studio [...] Qui ogni passo è tirato a esser un insulto al Principato, e questa gran gelosia dell'onore del Principato rovina questa povera Università, che non può sussistere che nella pura volontà di gente estranea la quale sia allettata colle carezze e non sbandata col timore.»⁴

Si tratta di parole di dura condanna nei confronti delle autorità locali; una seconda lettera, scritta nel maggio di quello stesso anno e indirizzata sempre a Scarselli, lo vedrà apostrofare le autorità come *disgraziati che [...] lasciano andare alla malora*

⁴Si veda il riferimento [40], pp. 10-11.

*il più bello Stato del mondo*⁵. Di contro, gli atti perpetrati dagli studenti vengono sminuiti come *ragazzate*. Può darsi che si trattasse davvero di azioni di poco conto; in ogni caso, i termini utilizzati da Beccari evidenziano una sua collocazione ben precisa all'interno del dibattito in corso.

Secondo le parole di Pini, Beccari al pari di Marsili era consapevole del fatto che *l'Università non possedeva ambienti e arredamenti pari al suo gran nome, alle necessità dell'insegnamento e all'affluenza degli scolari*⁶ e come il fondatore si adoperò affinché il disegno dell'Istituto delle Scienze potesse trasformarsi in una realtà effettiva, non soltanto sollecitando donazioni ma contribuendo in prima persona in qualità di docente. Ci avviciniamo così a una delle domande di ricerca che hanno guidato il presente lavoro: quali sono i modelli che Beccari fa propri e ai quali si ispira per l'organizzazione delle lezioni di fisica? Per rispondere a questa domanda è necessario ampliare il discorso, prendendo in esame la sua rete di corrispondenze. Sappiamo che egli *attingeva da ogni fonte nozioni coll'aiuto di trattati e di pubblicazioni in ogni ramo di scienze e di lettere*; pare che la sua biblioteca contenesse più di tremila volumi, nonostante egli nel proprio testamento ne parli come di una *piccola libreria*. Vantava anche una fitta rete di conoscenze: per quanto riguarda l'ambito scientifico (e più prettamente fisico) sono degni di nota i rapporti con Francesco Algarotti, Jean Jacques de Mairan, Thomas Dereham, Jean Antoine Nollet, René-Antoine de Réaumur, Giovanni Battista Beccaria. Particolarmente interessante è la personalità di Dereham, per intercessione del quale Beccari ottenne la nomina a membro della Royal Society nel 1728, come riconoscimento per i diversi contributi apportati in campo scientifico. Qualcuno sostiene che tale nomina sia stata favorita come una sorta di passaggio di testimone in seguito alla scomparsa di Marcello Malpighi, ma non appare verosimile: il famoso anatomista muore infatti nel 1694, ben trentaquattro anni prima. Malpighi era stato sì a sua volta socio della Royal Society, ma non certamente "da poco defunto" (come sostiene Pini in [40]). La connessione con l'Académie des sciences di Parigi è resa possibile grazie a un altro intermediario, Domenico Gusmano Galeazzi (1686-1775). Nominato aiutante di Beccari nel 1714, in quello stesso anno lascerà Bologna per trascorrere un periodo di permanenza a Parigi e qui entrerà in contatto con esponenti di spicco dell'Académie, tra i quali il segretario perpetuo de Fontenelle e Guillaume Homberg (1652-1715), il quale gli illustrerà il funzionamento della macchina pneumatica⁷.

Su un aspetto tutte le opere biografiche riguardanti Beccari sono in effetti concordi: nonostante egli non abbia mai lasciato Bologna, era sempre al corrente delle pubblicazioni scientifiche estere. Questo elemento, unitamente alla sua vicinanza con la realtà della Royal Society, ci permette di avanzare delle ipotesi circa i testi di fisica sperimentali che potevano essere noti a Beccari nel momento in cui ha intrapreso la docenza presso l'Istituto.

Per quanto riguarda il campo della medicina, le lezioni di Beccari sono state trascritte da più mani e in tempi diversi, e oggi si possono leggere in diversi manoscritti di proprietà per lo più della Biblioteca Comunale di Bologna e di quella Estense di Modena. Sono lezioni tenute nelle aule universitarie: non rimane traccia del contenuto delle lezioni di Beccari presso l'Istituto, se non per i brevissimi compendi

⁵Si veda il riferimento [40], p. 11.

⁶A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, *Diversorum*, b. 13, n. 33.

⁷Per un approfondimento in merito si veda la sezione dedicata (Sezione 3.3)

che è possibile consultare presso l'Archivio di Stato di Bologna. Nonostante non si abbiano notizie certe in merito - o, forse, proprio per questo motivo -, tale materiale non è probabilmente mai esistito: data la natura delle lezioni, è ragionevole supporre che gli studenti (e il pubblico in generale) fossero maggiormente focalizzati sulla dimostrazione in corso e desiderosi di prendere parte attivamente alla discussione, piuttosto che concentrati nella trascrizione di una lezione che per la propria natura ostensiva e *pratica* non si presta particolarmente a una simile operazione. È consapevolezza di chiunque si sia occupato di discipline sperimentali quanto sia difficile riuscire a mettere per iscritto quella che oggi viene definita *know how*, ovvero l'abilità pratica, la conoscenza implicita propria di ogni sperimentatore. A supporto di questa tesi si noti come anche per una personalità del calibro di Laura Bassi, la cui notorietà e fama superavano certamente quelle di Beccari, non siano pervenute tracce né resoconti delle lezioni private che impartiva in casa propria. Né è possibile imputare una simile mancanza al fatto che gli anni di interesse rappresentino i primissimi anni di attività del neonato Istituto: non si ha traccia di appunti delle lezioni nemmeno di Gusmano Galeazzi, successore di Beccari nell'insegnamento della Fisica, né dello stesso Beccari per quanto riguarda le lezioni di Chimica. Con ciò non si intende affermare che la pratica del prendere appunti fosse completamente estranea alle stanze dell'Istituto, ma che si sostanziasse, al massimo, di brevi note ad uso e consumo dello studente e mai divulgate.

Beccari è comunque autore di diverse opere. Di proprietà dell'Accademia delle Scienze è un manoscritto, datato 12 dicembre 1719, dal titolo *De aeris dilatatione per calorem aquae ebullientis*; al 16 gennaio 1722 risale un altro manoscritto, *De Magnete* e, infine, nel febbraio 1723 viene redatto il *Manometrum*. Pare, poi, che dal 1724 al 1726 i suoi interessi di ricerca si concentrassero attorno a un problema ben preciso: i corpi si sciolgono con maggiore facilità in presenza di aria oppure nel vuoto? Anziché cercare la risposta per via teorica, Beccari si dedicò alla progettazione e all'esecuzione di esperimenti nell'una e nell'altra condizione. Sempre a partire dal 1724 Beccari matura, insieme a personalità quali Galeazzi, Manfredi, Vittuari e altri, un interesse nei confronti del fenomeno della fosforescenza, che indaga sempre servendosi del metodo sperimentale e a partire da analisi di esemplari sia fossili che vivi. Nella seconda metà del secolo si interessa anche di elettrochimica, intraprendendo una fruttuosa corrispondenza con padre Beccaria. E non si dimentichino le osservazioni meteorologiche, alle quali si dedicò con grande scrupolosità: per oltre cinquant'anni (a partire dal 1715 e fino alla sua morte) registrò tre misurazioni di temperatura e pressione ogni giorno.

Della sua brillante carriera scientifica ricordiamo anche l'elezione a Presidente dell'Istituto delle Scienze, carica che ricoperse per l'anno 1750.

Chiudiamo la presentazione di questo straordinario personaggio ricordandolo come fece il già citato Flaminio Scarselli, segretario maggiore al tempo dei funerali del cugino, nell'orazione che tenne proprio in quell'occasione, il 17 giugno 1766, nella Chiesa di S. Salvatore.

«Ma le due Facoltà, che più dell'altre regnarono sullo spirito, e si contesero in certo modo fra loro, e si divisero i pensieri, e gli affetti dell'instancabile Beccari, furono la

Presidenza all'Istituto
conferita al Dott. Jacopo Beccari
li 28. Aprile 1750.

Figura 3.2: Conferimento dell'incarico di Presidente dell'Istituto delle Scienze a Jacopo Beccari, datata 1750. Tratta da A.S.B., II. 107, Assunteria di Istituto, Diversorum, b. 15 n. 31.

Fisica sperimentale, e la Chimica. All'aprirsi dell'Istituto intraprese egli a mostrare le leggi, ed i fenomeni della prima, e poscia ad esporre i principj, e i prodotti della seconda, e le varie e bizzarre sembianze, che prendono, e le strane e prodigiose maniere, onde si uniscono insieme, e si disgiungono. Così all'una donandosi senza togliersi all'altra, lo spazio di vent'anni ne' fisici, e di trentuno impiegò ne chimici esperimenti. Erano questi le pratiche dimostrazioni delle dottrine teoriche, le quali o in altri Autori raccolte, o da Lui stesso inventate, accresciute, illustrate, diedero poi fondamento, e materia non solo a quell'erudite lezioni, che lungo tempo si udirono tra le meraviglie, e gli applausi de' circostanti, ma ancora a quelle nitide dissertazioni, ed a quegli eleganti trattati, che ne compose; altri de' quali già videro, ed altri aspettano, e chieggono la pubblica luce.»⁸

3.1.2 Gli apparati sperimentali

Nel prosieguo del capitolo si discuteranno gli esperimenti presentati da Beccari a coloro che frequentavano la camera di Fisica dell'Istituto delle Scienze, secondo una suddivisione che cerca di conciliare l'ordine tematico con quello cronologico. Per quanto riguarda gli apparati sperimentali impiegati, il riferimento primario è l'*Instrumentum donationis* già discusso nel Capitolo 2 (in particolare, nella Sezione 2.2.1): a partire da questo elenco e con la guida da un lato dei registri attestanti gli argomenti affrontati per ogni anno di corso e, dall'altra, dei libri di testo circolanti in quegli anni nel contesto scientifico europeo, si è tentato di ricostruire il primo corso di fisica sperimentale in Italia. Dal confronto tra gli apparati a disposizione di Beccari (quelli elencati nell'*Instrumentum donations*) e gli strumenti il cui impiego a scopo dimostrativo è attestato dalle fonti sopra menzionate si coglie il ridimensionamento dell'ambizioso progetto marsiliano, già anticipato nella Sezione 2.2. A venire penalizzata in maniera determinante sarà la branca dell'idrometria, tanto cara a Marsili per i suoi evidenti risvolti pratici quanto poco rappresentata all'interno della Camera di Fisica dell'Istituto.

Nel fondo archivistico della Biblioteca Universitaria di Bologna sono custodite alcune note relative allo stato degli apparati contenuti nelle diverse stanze dell'Isti-

⁸Si veda il riferimento [45] per il testo integrale.

tuto⁹, note che si riferiscono ai rendiconti stilati - per quanto concerne la Camera di Fisica - da Gusmano Galeazzi. Da queste apprendiamo che, durante il periodo considerato nel presente lavoro, la collezione non subì significativi mutamenti; si segnala, di tanto in tanto, qualche piccola aggiunta o un aggiornamento sullo stato degli apparati già presenti. Al 1717 risale, ad esempio, una postilla riguardante la macchina pneumatica, nella quale si legge del suo *essersi ridotta in forma migliore*¹⁰.

3.1.3 *Cittadini, scolari, artefici, forestieri*

Si è ampiamente discusso della distanza che intercorreva tra l'impostazione della didattica propria dell'Università e la proposta veicolata invece nelle stanze dell'Istituto delle Scienze e di come questa compartimentalizzazione si riflettesse nel calendario delle lezioni. Si vuole ora puntualizzare come con l'Università l'Istituto non condividesse nemmeno l'organizzazione interna: nonostante il professore venga riconosciuto come depositario del sapere - sapere che è, in questo caso, soprattutto un *know how* -, all'interno delle *Costituzioni* viene presentato come parimenti di rilievo il ruolo del pubblico, includendo in esso sia gli studenti che i semplici cittadini. Si ritrova traccia, in una simile impostazione, dell'organizzazione che era propria dell'Accademia degli Inquieti. Se vi è qualcuno che svetta al di sopra degli altri non è una persona ma un'istituzione, quella senatoria - alla quale, come già detto in precedenza, spettava il compito di eleggere presidente, segretario e professori dell'Istituto. In aggiunta a ciò, aveva la facoltà di intervenire nella pratica delle esercitazioni, avanzando ai professori richieste particolari. Come si legge nelle *Costituzioni*:

«Se il Senato facesse istanza alli Professori dell'Institutò di qualche esame, esperimento, o altro, dovranno subito servirlo; e se da qualche Cittadino, Scolaro, Artefice, Forestiero, o altra Persona privata fossero pregati di correzione, o assistenza in cose della loro Professione, dovranno soddisfarli discretamente.»¹¹

Oltre che per il ruolo predominante riconosciuto agli esponenti della classe senatoria - che si dovrà *subito servire* -, l'articolo sopra riportato è significativo per la considerazione nella quale erano tenuti, presso l'Istituto, tutti coloro che si interessassero dell'attività che qui veniva svolta: le categorie di *cittadini* e *forestieri* includono, da sole, la totalità delle persone. I *forestieri* erano generalmente ben accettati anche all'interno dei Gabinetti privati; una dimostrazione di ciò è costituita dai soli appunti esistenti in merito alle lezioni che Laura Bassi teneva in casa propria, redatti da un turista americano che, nel suo peregrinare per l'Italia, aveva deciso di trascorrere qualche giorno a Bologna. Al prezzo di rendere talvolta complessa la comunicazione, questa apertura rispecchia - ancora una volta - la volontà di perseguire l'ideale baconiano di un sapere universale, ideale su cui la maggior parte dei sodalizi scientifici settecenteschi si fonda. Vi è poi una seconda motivazione: aprire le porte dell'Istituto a chiunque volesse entrare avrebbe potuto facilitare e accelerare il processo di scambio con l'estero, ed era volontà di Marsili per primo così come

⁹B.U.B., Ms. 4186/3, fascicolo n. 32, *Memorie relative all'Istituto di Bologna*.

¹⁰V. nota precedente.

¹¹*Le Costituzioni dell'Istituto delle Scienze, eretto in Bologna dall'Eccelso Senato nell'anno 1711*, in Ms. 319, 1b, c. 273-287, Cap. V, Art. 4.

anche dei singoli professori che l'attività dell'Istituto fosse nota in tutta Europa. L'Università, dal canto proprio, si faceva in quel periodo portavoce di una prospettiva completamente opposta, chiudendosi sempre più su se stessa. Uno dei problemi connessi all'organizzazione delle Università (messo in luce da Anton Felice Marsili in maniera efficace in [30]) consisteva proprio nella distinzione che vigeva, al suo interno, tra *cittadini* e *forestieri* e, parimenti, tra professori "di vecchia data" (ai quali spettava una serie di privilegi) e docenti neoletti, collocati invece in posizione subordinata. Sebbene la loro presenza non fosse esplicitamente vietata, era difficile che dei forestieri in visita a Bologna si sentissero a proprio agio all'interno di un ambiente dove si respirava un clima simile. Una delle conseguenze più evidenti di questa staticità dell'Università è stata il drastico crollo di immatricolazioni: a metà del XVII Secolo lo Studio bolognese contava più di cento lettori, un numero spropositato se comparato alle immatricolazioni. Come prevedibile, la situazione si esasperò in un tracollo finanziario che richiese l'intervento dell'autorità senatoria. Mancavano studenti, ma non vi era la volontà né di un ammodernamento dei contenuti e dei metodi didattici, né tantomeno di spingere per l'iscrizione di studenti provenienti dall'estero.

Quando si cita la *novità* dell'Istituto delle scienze è bene ricordare che essa si declina anche nel senso di una maggiore apertura alla collaborazione scientifica tra nazioni differenti e, all'interno di uno stesso Stato o città, tra ceti sociali distinti.

3.2 Esercitazioni di termometria (1714-1717)

Se il cannocchiale galileiano può essere considerato lo strumento simbolo del Seicento, nel secolo successivo sono molteplici gli apparati grazie ai quali si costituiscono nuove branche della Fisica. Uno degli emblemi del Settecento è il termometro, che, insieme al barometro, spalanca le porte della termologia.

Dal momento in cui i materiali vengono consegnati alle rispettive stanze dell'Istituto all'inaugurazione dello stesso passano due anni, durante i quali ciascun professore ha la facoltà di segnalare l'assenza di ulteriori materiali che reputa indispensabili per l'avvio dei corsi sperimentali. Beccari è tra i primi (e uno tra i pochi) a sfruttare l'opportunità, chiedendo l'acquisto di una lucerna e di alcune cannucce di ottone - indispensabili, queste ultime, per la realizzazione di termometri e barometri. Beccari non si preoccupa soltanto della strumentazione scientifica, ma cura anche l'allestimento della stanza deputata alle esercitazioni: chiede, ad esempio, che gli siano forniti sedie e tavoli [4].

Presso l'Istituto, l'interesse per un'indagine delle proprietà termiche della materia venne introdotto da Vittorio Francesco Stancari: egli stesso era un costruttore di strumenti e in quegli anni guardava con interesse particolare al termometro messo a punto da Guillaume Amontons (1663-1705). L'indirizzo di ricerca intrapreso da Stancari consentì di approcciarsi con una buona base alla materia, ma non fu la spinta determinante: l'incentivo derivò infatti dall'adesione a un progetto comune di raccolta dati relativamente a osservazioni meteorologiche, promosso dalla Royal Society londinese e che incontrò il sostegno anche di molti esponenti dell'Académie des sciences. L'ostacolo principale a tale obiettivo era rappresentato dalla necessità di dotarsi di strumenti di misura - termometri, barometri - in grado di fornire ri-

sultati comparabili tra loro. In occasione del proprio soggiorno in Francia nel 1714, Galeazzi si trattenne a Lione ed ebbe modo di discutere con i gesuiti proprio di strumenti di termologia e di scale termometriche. Pare che abbia ricevuto (e successivamente condiviso con Beccari) informazioni utili in merito alla costruzione di strumenti di termometria.

Gli anni compresi tra la metà del Seicento e la metà del Settecento rappresentano un periodo di grande importanza per lo sviluppo della fisica del calore. Si tratta, infatti, di un arco di tempo contraddistinto da importanti avanzamenti sul piano strumentale, quali l'invenzione del barometro e del termometro. Calore e temperatura erano - e rimarranno fino alla metà del secolo - concetti parzialmente sovrapposti, non definiti in maniera soddisfacente perché non pienamente compresi nella loro essenza: ancora nei primi anni del Settecento si riteneva che la temperatura fosse una misura della *quantità di calore* contenuta in un corpo, misura della quale il termometro poteva fornire un'indicazione. Era noto come una variazione di temperatura comportasse un cambiamento nel volume dei corpi; il fenomeno di dilatazione e contrazione termica venne infatti sfruttato proprio per la realizzazione dei primi termometri, realizzazione motivata dalla volontà di quantificare le sensazioni di caldo e di freddo.

Il primo termometro che vide la luce sul continente europeo era in realtà un *termoscopio*, attribuito a Galileo Galilei (1597)¹². Questo strumento consentiva di osservare le variazioni di densità dell'aria al variare della temperatura, sebbene in maniera qualitativa. In una caraffa di vetro riempita parzialmente di acqua veniva inserito un cannello sottile, anch'esso in vetro e che termina, a un'estremità, con un bulbo. Questo poteva essere riscaldato (ad esempio, per contatto con le mani) e successivamente immerso all'interno della caraffa, in modo che il bulbo rimanesse in alto; si notava che, al raffreddarsi del bulbo, l'acqua contenuta nella caraffa saliva lungo lo stesso, dimostrando una riduzione del volume occupato dall'aria e, dunque, della sua densità (Figura 3.3 (a)). Riscaldando nuovamente il bulbo in vetro era possibile osservare la ridiscesa dell'acqua lungo il tubo capillare, conseguenza dell'aumentata densità dell'aria. Nel corso del XVII secolo furono diversi gli scienziati che si impegnarono nella realizzazione di questo tipo di apparati per misure termometriche, non soltanto nel campo della nascente fisica ma anche in quello della medicina. È celebre il contributo apportato in tal senso da Santorio Santorio, che affrontò il problema della determinazione della temperatura corporea e notò come questa grandezza fisica potesse essere impiegata quale segnale di un sopraggiunto stato febbrile. Come mostrato in Figura 3.3 (b), anche Giovanni Francesco Sagredo, amico e corrispondente di Galilei, realizzò una propria versione del termoscopio ad aria: nonostante questo fosse dotato di una scala di misura, non è possibile definirlo *termometro* in quanto tale scala, elaborata per analogia con la suddivisione geometrica di un angolo in 360 parti uguali, non ha carattere universale [14]. Inoltre, un simile strumento non era in grado di fornire la temperatura dei liquidi e presentava un'elevata sensibilità ai cambiamenti di pressione atmosferica, configurandosi come sostanzialmente inaffidabile se non per stime qualitative e grossolane della variazione di temperatura dell'aria.

¹²La data dell'invenzione viene stabilita da Vincenzo Viviani nella *Vita di Galileo* (1654), la più antica biografia galileiana ad essere pervenuta sino a noi.

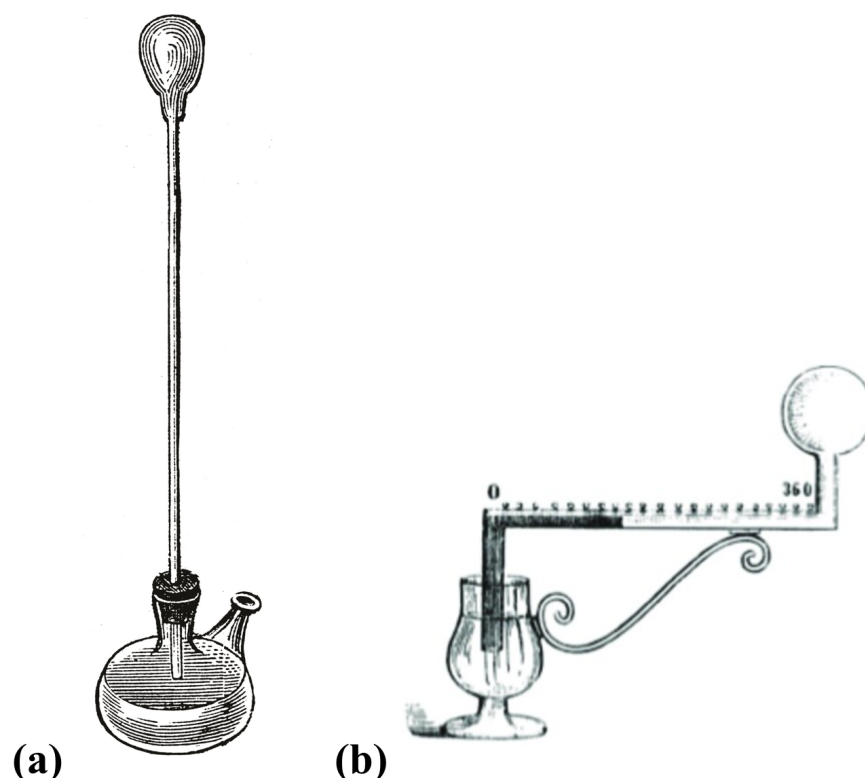


Figura 3.3: (a) Riproduzione del termoscopio galileiano. Tratto da: Hernández, J., 1611: Santorio inventa il termometro clinico, in *Storica - National Geographic*, 2020. (b) Riproduzione del termoscopio ideato da Sagredo, operante secondo il medesimo meccanismo del modello galileiano ma dotato di una scala termometrica e nel quale la disposizione del cannello in orizzontale evita che la risalita del liquido sia compromessa dal peso della colonna stessa. Tratto da: Caverni, R., *Storia del metodo sperimentale in Italia*. Firenze, 1981.

Fu sempre in ambiente fiorentino e, più precisamente, nell'Accademia voluta da Leopoldo de' Medici che vennero realizzati i primi termometri veri e propri, i quali conobbero poi ampia diffusione in tutta Europa. Il cosiddetto *termometro fiorentino* era costituito da un capillare in vetro, chiuso alle estremità e che presentava un bulbo terminale, riempito di alcol (allora chiamato *acquarzente*). La proposta di impiegare, come liquido termometrico, il mercurio è successiva e attribuita ad Edmund Halley (1688). Liquido a temperatura ambiente, questo elemento si dimostra più sensibile alle variazioni di temperatura rispetto all'alcol - il quale, a sua volta, costituisce un liquido termometrico migliore dell'acqua impiegata nei primi prototipi. Gli estremi scelti per la taratura della scala termometrica erano la temperatura di fusione del ghiaccio e quella dell'aria nei giorni di caldo più estremo¹³; a seconda che il termometro presentasse una scala con cinquanta o cento divisioni, i valori assegnati a tali punti fissi variavano. Nel caso di scala centigrada erano pari, rispettivamente, a 13.5 gradi e 40 gradi; nel caso di scala centigrada,

¹³Mentre il punto fisso che segna il limite inferiore della scala termometrica fiorentina è connesso a un fenomeno riproducibile e sufficientemente indipendente da variabili fisiche altre rispetto alla temperatura, quello superiore appare fortemente dipendente dal periodo e dalla località considerati. L'idea di sostituire a questo la temperatura di ebollizione dell'acqua viene attribuita a Robert Hooke (1684).

invece, corrispondevano a 20 e 80 gradi. Nonostante tale scala fosse stata fissata ad arbitrio, il fatto che vennero realizzati molteplici esemplari di tali termometri (tutti molto simili tra loro) consentì di avviare il primo progetto di raccolta di misure meteorologiche comparate, in diverse località della penisola. Lo stesso Hauksbee - già curatore della Royal Society - ricevette, nel 1661, uno dei termometri di produzione fiorentina. Per la conduzione degli esperimenti descritti in [26], tuttavia, egli non si servì del termometro fiorentino, ma ne concepì un modello diversamente tarato. La scala termometrica da lui messa a punto presentava come limite inferiore di temperatura misurabile - 7 gradi, coincidenti con il più rigido freddo invernale, e come limite superiore + 13 gradi, corrispondenti al maggior caldo estivo. Ogni grado corrispondeva a un incremento pari a $1/500$ del volume del bulbo, secondo una scala lineare.

Dal momento che i termometri fiorentini (mostrati in Figura 3.4) costituivano, come si è detto, uno standard, è verosimile supporre che essi fossero in dotazione all'Istituto delle Scienze in questi primi anni di attività. Con ogni probabilità, tuttavia, non tutti erano di tal tipo: come è possibile apprezzare dal contenuto della Figura 3.5, nello studio dei fenomeni di dilatazione e contrazione dell'aria Beccari si è servito anche del termometro di Amontons, un particolare termometro ad aria.

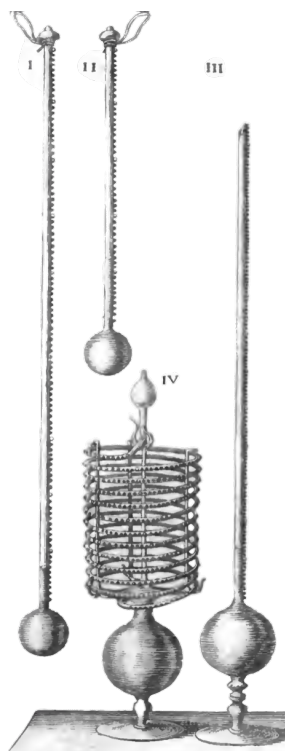


Figura 3.4: Schema di alcuni termometri concepiti dall'Accademia del Cimento nella seconda metà del XVII secolo. Lo strumento etichettato come IV presenta addirittura una scala trecentigrada. Tratto da [1], p. 6.

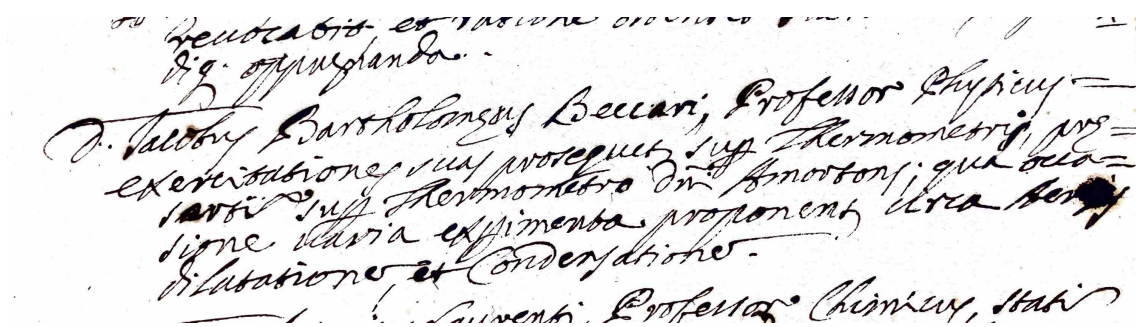


Figura 3.5: Sommario degli argomenti affrontati nel corso dell'anno 1715-1716. Si legge: D. Jacobus Bartholomeus Beccari, Professor Physicus, exercitationes suas prosequitur sup. Thermometris, praesertim sup. Thermometro † Amontons; qua occasione varia experimenta proponunt circa Aeris dilatatione, et condensatione. Tratto da: A.S.B., II. 107, Assunteria d'Istituto, Diversorum, b. 15, n. 2, Argomenti delle esercitazioni nelle varie Camere dell'Istituto.

Guillaume Amontons (1663-1705) è autore del testo *Remarques et experiences physiques sur la construction d'une nouvelle clepsidre, sur les barometres, thermometres, & hygrometres* (1695), nel quale sono riassunti i suoi contributi in materia di perfezionamento di barometri e termometri. Il testo è dedicato all'Académie des sciences, alla quale Beccari era connesso grazie al tramite di Galeazzi, suo assistente. Sulla scia di Halley, Amontons propose di sostituire all'acqua il mercurio e, servendosi di tale strumento, dimostrò - entro i limiti sperimentali - che la temperatura di ebollizione dell'acqua è costante. Sempre a lui si deve l'osservazione che condusse, nel corso della prima metà del Settecento, alla definizione di scale termometriche calibrate a partire da punti fissi. Egli infatti si rese conto del fatto che, anche qualora due o più termometri collocati in uno stesso posto indicassero la medesima temperatura, questo unico valore puntuale non avrebbe significato *di per sé*: ciò che realmente fornisce un'informazione utile è la differenza di temperatura misurata tra il valore restituito dal termometro e il valore di temperatura associato a un fenomeno (come il cambiamento di stato fisico dell'acqua) che avviene sempre alla medesima temperatura¹⁴. Servendosi del proprio termometro ad aria, Amontons inaugurò lo studio delle proprietà dei gas mostrando le conseguenze di un aumento o decremento di temperatura su volume e pressione dell'aria. Sebbene nota come legge di Gay-Lussac, la relazione di proporzionalità diretta che lega pressione e temperatura ($P \propto T$) di un gas mantenuto a volume costante si deve proprio ad Amontons (1699)¹⁵. Nonostante nel documento riportato in Figura 3.5 Zanotti si riferisca all'apparato di Amontons come a un *termometro*, da un'analisi del suo funzionamento risulta chiaro come esso fosse in grado di restituire una misura della temperatura soltanto se accoppiato, in lettura, a un barometro.

¹⁴Non era noto, ai tempi, come in realtà la temperatura di ebollizione dell'acqua dipenda dalla pressione atmosferica.

¹⁵Gli esperimenti condotti da Amontons presero in esame soltanto l'aria e non possono essere considerati dimostrativi della legge di Gay-Lussac; ciononostante, quello del fisico francese si configura come un contributo di primaria importanza per gli studi successivi.

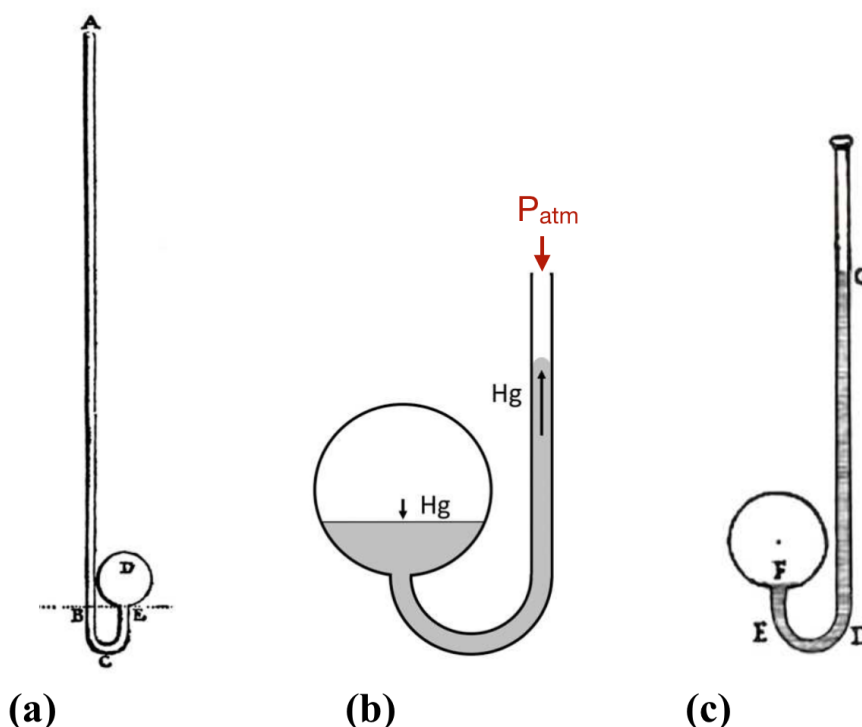


Figura 3.6: (a) Schema del termometro messo a punto da Guillaume Amontons. Il tubo capillare presenta un bulbo sferico in corrispondenza dell'estremità inferiore (D), mentre è aperto in cima (A). (b) Ricostruzione moderna del suo funzionamento: in seguito a un aumento di temperatura, l'aria contenuta nel bulbo si espande, causando la risalita del mercurio lungo il capillare. (c) Modifica del termometro di Amontons operata da Vittorio Francesco Stancari: il capillare è ora chiuso anche in corrispondenza dell'estremità superiore. Tratto e adattato da [9].

L'apparato concepito da Amontons è mostrato in Figura 3.6 (a), mentre uno schema del suo funzionamento è proposto in figura 3.6 (b). Si tratta di un tubo sottile in vetro che termina in un bulbo, assumendo una caratteristica forma a J. L'estremità superiore del capillare è aperta, motivo per cui il liquido termometrico non può che essere mercurio (in modo da evitare perdite per evaporazione). Supponendo che l'aria nel bulbo vada incontro a un aumento di temperatura, il mercurio contenuto nello stesso scenderà - come conseguenza dell'avvenuta dilatazione termica dell'aria -, per risalire lungo il tubo capillare. Ciononostante, questo effetto è in parte neutralizzato dall'azione della pressione atmosferica, dal momento che il tubo capillare è aperto in cima. Per questo motivo il “termometro” ad aria ideato da Amontons non può prescindere dall'accoppiamento con un barometro: soltanto dalla somma delle altezze delle colonnine di mercurio nell'uno e nell'altro strumento è possibile ottenere un valore di temperatura adeguato. Necessitare di due strumenti per la determinazione di una grandezza fisica non costituisce certo una situazione ideale¹⁶: per ovviare al problema, Vittorio Francesco Stancari operò una modifica dell'apparato, sigillandone l'estremità superiore (Figura 3.6 (c)). Potrebbe essere proprio questa la variante del termometro di Amontons impiegata da Beccari nelle proprie esercitazioni.

¹⁶Soprattutto se si prendono in esame le dimensioni dei barometri dell'epoca, caratteristica che li rendeva strumenti poco adatti ad essere trasportati.

A onor del vero, la sensibilità alla pressione atmosferica non costituiva il maggior difetto dell'apparato di Amontons. Vi era infatti un secondo problema: la forma sferica del bulbo determinava la non linearità della scala. Circa un decennio più tardi rispetto all'inaugurazione dell'Istituto delle Scienze di Bologna, a Padova Giovanni Poleni troverà soluzione al problema sostituendo al bulbo sferico un bulbo di forma cilindrica.

L'invenzione del barometro viene riconosciuta invece al matematico e fisico Evangelista Torricelli (1608-1647), che ne fornisce una descrizione nelle sue *Lezioni accademiche*¹⁷. Si tratta dell'apparato impiegato per la celebre dimostrazione dell'esistenza del vuoto, mostrato in Figura 3.7.

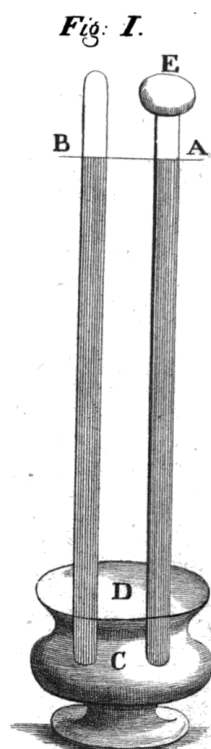


Figura 3.7: Il barometro di Evangelista Torricelli. Tratto da [46], p. 28.

Esso è costituito da un tubo capillare in vetro aperto a un'estremità e chiuso all'estremità opposta, parzialmente riempito di mercurio e successivamente immerso, capovolto, in un recipiente (indicato come CD in Figura 3.7), anch'esso contenente del mercurio. Si osserva che il livello del mercurio nel capillare scende, ma non del tutto: la discesa si arresta all'altezza di *un braccio, un quarto e un dito di più* [46]. L'altezza alla quale il mercurio si arresta è quella che garantisce l'equilibrio idrostatico con la pressione atmosferica agente sul mercurio contenuto nel recipiente aperto.

Come i termometri, anche i barometri conobbero un'evoluzione del corso della seconda metà del Seicento. A inizio Settecento i modelli maggiormente diffusi sul continente europeo erano due: il barometro a quadrante ideato da Robert Hooke e

¹⁷Si veda il riferimento [46] per la citazione completa.

quello a pozzetto.

Il primo costituisce una variante del precedente barometro a sifone, ovvero uno strumento in cui la vaschetta contenente il mercurio è sostituita da un ripiegamento a U del tubo capillare; Hooke dotò lo strumento di un galleggiante e - tramite un sistema di contrappesi e carrucole - lo connetté a una lancetta la quale, ruotando su di un quadrante, fornisce un'indicazione della pressione misurata. In tal modo era possibile apprezzare variazioni più modeste nell'altezza della colonna di mercurio, alle quali progressivamente i fisici si interessarono in quanto compresero la connessione esistente tra variazioni di pressione atmosferica e mutazioni delle condizioni atmosferiche. Anche Hauksbee si dedicò alla conduzione di esperimenti volti a chiarire tale correlazione, come si legge ad esempio nel *Racconto d'una esperienza, dimostrante la causa della discesa del mercurio nel barometro per una tempesta* [26]. Come la maggior parte dei primi barometri e in ragione delle proprie cospicue dimensioni, tuttavia, un simile apparato si presentava come difficile da impiegare in misurazioni sul campo - perché difficile da trasportare.

Il barometro che Amontons mise a punto nel 1688 può essere definito uno dei primi strumenti "portatili". La differenza principale che separa questo strumento dai precedenti è la ridotta lunghezza della colonna di mercurio, pari a circa un metro nei barometri standard e sensibilmente ridotta in questo barometro *ripiegato*, proprio grazie alla flessione del tubo in più "rami", all'interno dei quali scorrono, alternativamente, mercurio e un liquido di densità inferiore (oppure, semplicemente, aria). Pur guadagnando in maneggevolezza, un simile strumento mostrava un'accuratezza sensibilmente inferiore rispetto ai modelli precedenti¹⁸. Inoltre, si trattava di uno strumento dal funzionamento complesso: era difficile da riempire e le misurazioni profondamente affette dalle variazioni di temperatura.

I primi barometri che, oltre a potersi definire portatili, presentassero un'accuratezza adeguata vennero messi a punto dal costruttore di strumenti Nicolas Fortin (1750-1831): si trattava di una versione più efficiente del barometro a pozzetto, nella quale il livello iniziale del mercurio può essere regolato grazie al fatto che il fondo del pozzetto in cui esso è contenuto è mobile. Per un trasporto sicuro dello strumento è sufficiente modificare la base inferiore del pozzetto finché il mercurio non occupi per intero sia la cisterna che il tubo. Si tratta, tuttavia, di migliorie apportate soltanto nella seconda metà del XVIII secolo; i barometri *da viaggio* menzionati nell'*Instrumentum donationis* sono, con ogni probabilità, barometri concepiti sulla scia dei suggerimenti di Amontons il quale - oltre al già menzionato barometro *ripiegato* - mise a punto nel 1695 degli strumenti specificatamente pensati per essere impiegati in mare. Questi non disponevano di un pozzetto da cui pescare il mercurio, ma erano costituiti da un tubo il cui diametro aumentava progressivamente verso il basso.

Il fatto che l'Istituto disponesse di almeno un barometro portatile è corroborato dalla minuta in Figura 3.9, dove si legge la volontà di Beccari di *portare il barometro sulla Torre Asinelli*. Sebbene sia complesso individuare con esattezza il modello preciso, è chiaro a quale scopo servisse un simile strumento. Inoltre, il principio di funzionamento è comune a tutti i diversi esemplari prodotti in questo periodo; faranno eccezione i barometri metallici diffusisi a partire dalla seconda metà del XIX secolo.

¹⁸Per una descrizione più accurata del suo funzionamento si consulti l'estratto comparso nel giugno 1688 sul *Journal des sçavans*.

3.2.1 Studio della densità dell'aria in funzione della temperatura

Il fatto che l'aria abbia un peso ed eserciti pertanto una pressione è una scoperta dovuta a Evangelista Torricelli e, dunque, da un punto di vista storico legata al dibattito sorto intorno all'esistenza del vuoto. È con Boyle che si iniziano a indagare più in dettaglio le proprietà dell'aria, prima fra tutte la sua *elasticità* - ovvero la capacità di comprimersi e dilatarsi -, e il fatto che, a temperatura costante, tra pressione e volume sussiste una relazione di proporzionalità inversa. Ad esperimenti mirati a un'indagine più approfondita del peso dell'aria si aggiungono quelli volti a chiarire il ruolo ricoperto dalla temperatura in tale ambito.

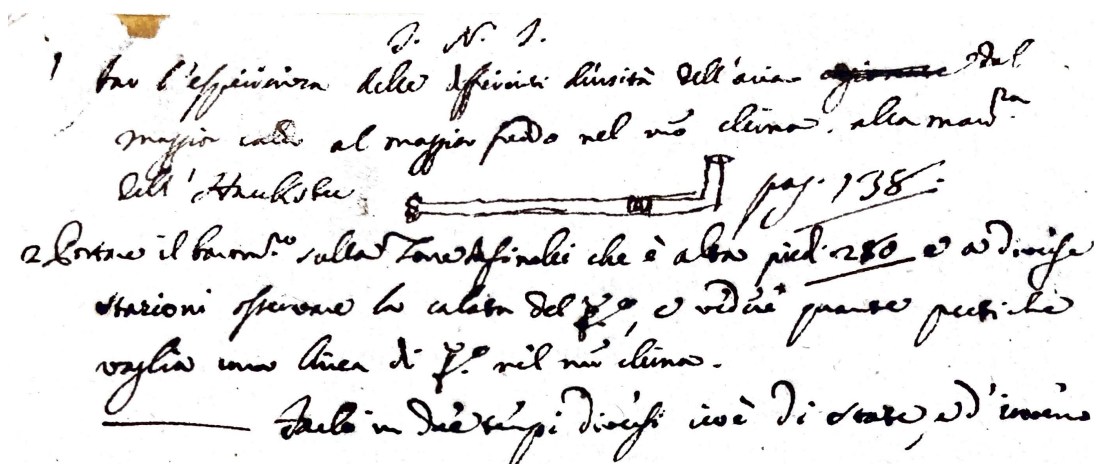


Figura 3.9: Manoscritto autografo di Jacopo Bartolomeo Beccari. Si presenta nella forma di una minuta riportante le indicazioni minime per lo svolgimento di due esperimenti inerenti le proprietà dell'aria. Il primo recita: Far l'esperienza delle differenti densità dell'aria dal maggior caldo al maggior freddo nel mio clima alla maniera dell'Hauksbee [...] pag. 138. Il secondo invece: Portare il barometro sulla Torre Asinelli che è alta piedi 280 e a diverse stazioni osservare la calata del mercurio, e vedere quante pertiche voglia una linea di mercurio nel mio clima. Farlo in due tempi cioè di state, e d'inverno. Si noti come il mercurio venga rappresentato per mezzo del suo simbolo alchemico. Tratto da A.A.S.B., Antica Accademia, Titolo II, Memorie (1690-1723); A-L, carta n. 21, foglio n. 5.

Dal manoscritto citato è possibile comprendere come Beccari conoscesse il testo di Francis Hauksbee, *Physico-mechanical Experiments on Various Subjects*, nella traduzione italiana [26] : a pagina 138 di quest'ultima, infatti, viene descritto in dettaglio un esperimento indicato proprio come *Racconto d'una esperienza concernente le differenti densità dell'aria dal maggior grado di caldo al maggior grado di freddo, nel clima d'Inghilterra*. In apertura alla descrizione di questo vi è una rappresentazione dell'apparato sperimentale impiegato (riportato in Figura 3.10), che ricalca la bozza disegnata da Beccari nella sua minuta.

L'esperimento si configura come una dimostrazione della correlazione esistente tra la pressione dell'aria e la sua temperatura. Il range di temperatura considerato da Hauksbee è quello compreso tra il maggior grado di caldo e il maggior grado di freddo, che si sia dato nel clima d'Inghilterra²⁰, ovvero da 130 gradi sopra il segno,

²⁰Si veda il riferimento [26], p. 140.

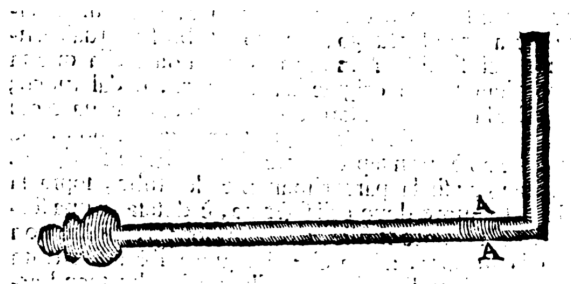


Figura 3.10: Schema dell'apparato impiegato da Hauksbee per la conduzione dell'esperimento descritto in [26], p.138. Il tubo è in vetro e misura circa 50 cm di lunghezza e 12 cm in altezza (ovvero, nel tratto verticale). L'estremità sinistra è chiusa da una chiave d'ottone a vite, mentre l'estremità superiore è aperta. La porzione indicata con AA è quella riservata al mercurio, introdotto in una colonna di circa 1 cm.

in cui diaccia a 50 gradi sotto il segno dell'addiacciamento²¹.

Una prima problematica per la ricostruzione dell'esperimento è data dalla difficoltà della conversione di una simile scala in termini contemporanei: né ai tempi della conduzione dell'esperimento originale di Hooke (febbraio 1708), né ai tempi della sua riproposizione da parte di Beccari (1714-1716) si erano affermate le scale termometriche oggi in uso; anzi - come già sottolineato - gli esperimenti di termometria soffrivano della mancanza di una scala termometrica comune. Di pari passo con i tentativi compiuti a Firenze, anche in Inghilterra era stata riconosciuta la necessità di uno *standard termometrico* che potesse rendere confrontabili tra loro le misure di temperatura e pressione raccolte mediante strumenti diversi. Alla sua definizione si dedicarono, in particolar modo, due dei più illustri membri della Royal Society: Edmund Halley e Robert Hooke. Nel 1663 Hooke presentava all'Accademia inglese le proprie indicazioni *for making a history of the weather*²², ovvero per iniziare una campagna di raccolta dati relativamente alle caratteristiche atmosferiche principali, quali pressione e temperatura dell'aria. La sua *Micrographia* [28], pubblicata nell'ottobre dell'anno successivo, conteneva già tutte le indicazioni utili per la taratura del termometro e, nel 1665, allo scienziato irlandese venne commissionata la realizzazione di un termometro che potesse costituire uno standard di riferimento per la costruzione di molteplici esemplari. Ed è proprio la scala termometrica prospettata da Hooke che Hauksbee impiega nei propri esperimenti, dove 130 gradi corrispondono a 13.0 °H mentre i 70 gradi sotto lo zero a -7.0 °H. Il fattore moltiplicativo che permette una conversione dalla scala di Hooke (°H) alla moderna scala Celsius è stato stimato pari a 2.4 [39]. Dunque, l'escursione termica considerata da Hauksbee è compresa tra i 31.2 °C e i -16.8 °C, valori di temperatura che possono effettivamente rappresentare i due estremi del clima inglese.

Come punto fisso per la taratura del termometro, Hooke indica la temperatura alla quale *common distilled water[...] is so cold that it just begins to freeze and shoot into flakes*.²³ La scala è lineare: un grado corrisponde a una variazione dell'1‰ del volume del liquido termometrico impiegato.

²¹V. nota precedente.

²²Birch, T., *History of the Royal Society*, Londra, 1756-1757, I, p. 300.

²³Si veda il riferimento [28], pp. 38-39.

L'esperimento ha avvio con l'immersione dell'apparato descritto in Figura 3.10 in un recipiente contenente acqua calda, in modo che il tratto verticale rimanga tuttavia asciutto. Nello stesso recipiente viene immerso anche il bulbo di un termometro e la temperatura dell'acqua deve essere tale da portare il termometro a fine scala, di modo che il sistema abbia il tempo di riscaldarsi uniformemente prima dell'avvio della presa dati. Una volta che il liquido termometrico (alcol, nel caso di Hauksbee) è sceso a 130 gradi sopra lo zero è possibile iniziare a registrare la lunghezza della colonna di aria, misurata dall'estremità chiusa del sifone fino alla posizione della colonna di mercurio. Hauksbee fornisce il risultato di questa misurazione in decimi di pollici: a 130 gradi, l'aria occupa $\frac{144}{10}$ di pollice, ovvero (all'incirca) 28.8 cm. A 120 gradi si osserva che il valore scende a $\frac{143}{10}$ di pollice (28.6 cm), e così via: la misura viene ripetuta ogni 10 gradi, fino ad arrivare a 30 gradi - dove l'aria occupa $\frac{134}{10}$ di pollice. Notando la linearità della contrazione dell'aria, Hooke si dice convinto del fatto che, potendo eseguire la misura a 50 gradi sotto lo zero, si troverebbe che l'aria occupa soltanto $\frac{126}{10}$ di pollice. Tuttavia, le difficoltà sperimentali impediscono di completare la presa dati, che si arresta ai 30 gradi (3.0° H, ovvero 7.2° C): al di sotto di questo valore, la prontezza del termometro si mostra infatti di molto inferiore rispetto al tempo impiegato dall'aria per la sua contrazione. A spingere il mercurio verso il capo chiuso del tubo in vetro è la pressione atmosferica agente su di esso attraverso il tratto verticale - che, lo ricordiamo, è aperto.

Quello descritto è un esperimento facilmente realizzabile, che non necessita di tempi lunghi né di apparati particolarmente ricercati e, d'altra parte, permette di visualizzare in maniera efficace la dipendenza della densità dell'aria dalla temperatura. Possiamo immaginare che Beccari, in seguito alla conduzione dell'esperimento, abbia compilato una tabella simile a quella realizzata da Hauksbee (mostrata in Figura 3.11), di modo da poter operare un confronto tra i valori di densità dell'aria registrati nei due territori.

	Degrees.	Parts.	
	130	144	$\frac{1}{144}$
	120	143	$\frac{1}{144}$
	110	142	$\frac{1}{72}$
	100	141	$\frac{1}{48}$
	90	140	$\frac{1}{38}$
	80	139	$\frac{1}{288}$
Above.	70	138	$\frac{1}{24}$
	60	137	$\frac{1}{205}$
	50	136	$\frac{1}{18}$
	40	135	$\frac{1}{16}$
	30	134	$\frac{1}{144}$
	20	133	$\frac{1}{1309}$
	10	132	$\frac{1}{12}$
Freezing Point. }	0	131	$\frac{1}{1108}$
	10	130	$\frac{1}{1013}$
Below.	20	129	$\frac{1}{96}$
	30	128	$\frac{1}{9}$
	40	127	$\frac{1}{814}$
	50	126	$\frac{1}{8}$

Figura 3.11: Prospetto dei dati raccolti da Hauksbee nel corso dell'esperimento descritto nella pagina precedente. Nella prima colonna sono riportati i valori di temperatura, distinti in "sopra" e "sotto" lo zero, mentre la seconda colonna mostra, in decimi, i pollici di lunghezza della colonna di aria quale misurata per ciascuna temperatura. Vi è anche una terza colonna, riportante la densità dell'aria (in forma di rapporto). Confrontando il valore di densità dell'aria a 0°C indicato da Hauksbee con quello tabulato si riscontra una differenza pari soltanto allo 0.015%. Tratto da Hauksbee, *F. Physico-mechanical experiments on various subjects*, Londra, 1709, p.96.

3.2.2 Effetto della temperatura e dell'altitudine sulla pressione atmosferica

Il fatto che temperatura e pressione siano grandezze fisiche inversamente proporzionali rispetto all'altitudine sul livello del mare è oggi fatto noto, e, nell'ambito dell'educazione secondaria, non è raro che vengano proposte agli studenti esperienze di laboratorio mirate a confermare sperimentalmente tale dipendenza, dove al laboratorio come spazio fisico confinato si può sostituire un'uscita sul territorio, armati di barometro.

Tra gli 0 mslm e i 1000 mslm, un dislivello di soli 100 m comporta un calo della pressione atmosferica pari all'1.2%, rilevabile anche con gli strumenti dell'epoca;

non a caso Beccari propone di condurre l'esperimento prendendo come riferimenti l'altitudine di Bologna - che possiamo considerare come "quota zero" - e la cima della Torre degli Asinelli, ovvero 97 m (come si apprende dalla Figura 3.9). Egli propone di effettuare diverse misurazioni di pressione e di temperatura durante la salita, in modo da apprezzare l'interdipendenza delle grandezze; e - per lo stesso fine ultimo - chiede che l'esperimento venga condotto in momenti dell'anno diversi (d'estate e d'inverno).

Esperimenti di questo tipo erano stati proposti, prima che nell'Istituto delle Scienze, dagli Accademici del Cimento e, prima ancora, da eminenti scienziati in territorio francese. Nei *Saggi di naturali esperienze* si legge²⁴:

«[...] abbiamo ancor noi ottenuto questo medesimo effetto in sur una delle più alti torri di Firenze, che à braccia 142. d'altezza, come anche sopra diverse colline di quelle, che la Città coronano. Vedesi adunque manifestatamente, che l'altezza dell'argentovivo si varia, in diversi luoghi della torre, o del poggio, abbassandosi quanto più si va in alto, e quanto più si scende innalzandosi, finché ridotto al piano, si libra alla solita sua misura; ne per rendere assai sensibile quest'ultimo v'è bisogno di maggiore altezza, che di cinquanta braccia.»

Un primo studio della variazione della pressione dell'aria con l'altitudine si deve a Blaise Pascal (1623-1662) e venne condotto nel 1648 tra l'attuale comune francese di Clermont-Ferrand (386 mslm) e la cima del Puy De Dôme (1465 mslm), ovvero su un dislivello complessivo di circa 1000 m. Il termine di *barometro* ancora non era in uso; nella descrizione dell'esperimento²⁵, Pascal fa riferimento al tubo torricelliano impiegato nell'*expérience ordinaire du vide* come a un semplice tubo che, una volta riempito di mercurio, viene invertito e la cui altezza della colonna di mercurio fornisce una lettura del *peso dell'aria*. Come atteso - in virtù del fatto che si ipotizzava l'aria pesasse sempre meno mano a mano che si guadagnava quota -, sulla cima del Puy De Dôme Pascal registra una diminuzione dell'altezza della colonnina di mercurio pari a 3 pollici e 1.5 linee (una linea di mercurio corrisponde a $\frac{1}{12}$ di pollice) rispetto all'altezza misurata dallo strumento rimasto a Clermont. Assumendo che quest'ultima misurasse circa 28 pollici²⁶, la variazione percentuale registrata per un dislivello di 1000 risulta essere pari all'11.2% - un valore che costituisce una stima piuttosto accurata. Pascal fu tra i primi a suggerire la compilazione di tabelle che correlassero la variazione dell'altezza della colonna di mercurio nel tubo torricelliano al dislivello, gettando le basi per la nascita dell'ipsometria.

Un approccio molto simile venne portato avanti, circa un decennio più tardi, da alcuni membri della Royal Society londinese, i quali scelsero come località per le loro indagini un altro vulcano, il Teide (situato sull'isola di Tenerife, nelle Canarie) [21]. Oltre alla compilazione di tabelle su base puramente empirica, altri scienziati si dedicarono alla ricerca di una legge che potesse fornire, per un dato dislivello, la corrispondente variazione di pressione atmosferica. È il caso di Edmund Halley, autore della pubblicazione apparsa nelle *Philosophical Transaction* del 1686 con il

²⁴Si veda il riferimento [1], p. 64.

²⁵Pascal, *Recit de la grande expérience de Vequilibre des liqueurs*, in *Oeuvres completes* (Paris, 1954), pp. 392-401.

²⁶Valore che è possibile ricavare dalle moderne tabelle di conversione mb ↔ inHg, conoscendo l'altitudine di Clermont.

titolo *A discourse on the rule of the decrease of the height of the mercury in the barometer, according as places are elevated above the surface of the earth*²⁷.

Dalla minuta riportata in Figura 3.9 apprendiamo la volontà di Beccari di ripetere la conduzione di esperimenti di barometria come quelli già descritti in momenti diversi dell'anno per poi confrontare i risultati ottenuti nella stagione estiva con quanto rilevato invece in inverno. Non disponendo di rendiconti che riportino i dati raccolti nel corso di simili misurazioni non è possibile approfondire la discussione dei risultati; risulta tuttavia di particolare interesse il fatto che Beccari specifichi la volontà di indagare gli effetti di variazioni di temperatura sulla densità dell'aria.

Quando Beccari esprime l'intenzione di determinare *quante pertiche voglia una linea di mercurio* intende determinare il dislivello necessario a far calare di $\frac{1}{12}$ di pollice l'altezza della colonna di mercurio nel barometro; sapendo che la pertica bolognese corrisponde a 3.8 m odierni è possibile concludere che il valore cercato da Beccari si aggira intorno alle 6 pertiche (23.5 m). Una volta giunto sulla sommità della Torre degli Asinelli egli avrebbe dunque dovuto osservare una diminuzione nell'altezza della colonna barometrica pari a circa 4 linee di mercurio.

Al giorno d'oggi è noto come i diversi valori di pressione atmosferica che si registrano, a una medesima altitudine, nei diversi periodi dell'anno siano dovuti a una combinazione di fattori atmosferici diversi, a loro volta influenzati dalla latitudine. Per quanto riguarda Bologna, se si prendono in esame l'inverno meteorologico (dicembre-febbraio) e l'estate meteorologica (giugno-agosto) ci si aspetta una pressione atmosferica media maggiore durante il periodo invernale, con un picco nel mese di gennaio. L'effetto della temperatura sul valore di pressione atmosferica è in realtà evidente anche nel corso di sole 24 ore, specialmente in località affette da notevole escursione termica. All'effetto della temperatura occorre tuttavia aggiungere quello prodotto dagli spostamenti delle masse d'aria, responsabili di cambiamenti del volume della colonna di aria.

La novità introdotta da Beccari rispetto alle misurazioni compiute nei decenni precedenti (tra cui annoveriamo quelle di Geminiano Montanari sulla medesima torre degli Asinelli) risiede dunque nella presa in esame della temperatura in qualità di grandezza fisica capace di influenzare la lettura barometrica, sulla scia di Halley e Cassini - i quali ritenevano responsabili delle fluttuazioni nell'altezza della colonna di mercurio non soltanto l'altitudine, ma anche i venti e la temperatura. Simili indagini diedero un forte impulso alla nascita della meteorologia e dell'ipsometria.

3.2.3 Altre esperienze concernenti cause e conseguenze di variazioni di temperatura in aria e in acqua

A Beccari viene attribuito un manoscritto inedito, di proprietà dell'Accademia delle Scienze e recante il titolo *De Aeris dilatatione per calorem aquae ebullientis* (1719)²⁸. In esso sono contenuti riferimenti a esperienze condotte dal già citato Guillaume Amontons e da Philippe de la Hire (1640-1718), anch'egli uomo di scienza francese. Il manoscritto consta di 20 facciate totali e si presenta come impaginato

²⁷Per un approfondimento del tema si veda il riferimento [21].

²⁸A.A.S.B., Antica Accademia, Titolo II, Memorie (1690-1723); A-L.

su due colonne, di cui soltanto la colonna di destra è utilizzata²⁹. Nella colonna di sinistra si trovano, di tanto in tanto, correzioni del testo a lato. Come si avrà modo di discutere a proposito di un altro manoscritto di Beccari, il *De Magnete*, una piena comprensione del testo è ostacolata dalla grafia dell'autore, densa di abbreviazioni e simboli di difficile interpretazione. Da un'analisi che, per i motivi sopra esposti, non può che definirsi superficiale sono tuttavia emersi alcuni punti di notevole interesse. La pressoché totale assenza di valori numerici fa presumere che il testo non costituisca il resoconto di uno o più esperimenti puntuali; esso si configura piuttosto come un articolo di riepilogo circa le osservazioni svolte in prima persona da Beccari o precedentemente da altri e contiene osservazioni di natura qualitativa in merito al fenomeno della dilatazione dell'aria per effetto del calore dell'acqua portata a ebollizione. Il riferimento principale in tal senso è alle scoperte di Amontons, il quale, servendosi di un termometro appositamente realizzato (già mostrato in figura 3.6 (a)), comprende come il punto di ebollizione dell'acqua sia un punto *fisso*, ovvero presenti una temperatura costante. Tra il 1699 e il 1702, la conduzione di diversi esperimenti portò il fisico francese alla conclusione che, se riscaldato dal punto di congelamento dell'acqua fino alla temperatura di ebollizione, un dato volume aria subisce un incremento di pressione indipendente dal valore di pressione iniziale e pari a circa un terzo di questo. In termini moderni potremmo scrivere

$$P(T_{eb}) = 1.33 \cdot P(T_{co})$$

dove T_{eb} e T_{co} sono, rispettivamente, le temperature di ebollizione e congelamento dell'acqua.

Il risultato non dipende dal volume di aria considerato inizialmente, come dimostra il fatto che lo stesso fattore si ottiene considerando volumi di aria differenti: alla medesima pressione (quella del laboratorio) essi raggiungono lo stesso valore di pressione finale in seguito al riscaldamento dell'acqua dalla temperatura di congelamento a quella di ebollizione.

In Figura 3.12 è mostrata, in maniera schematica, la conduzione dell'esperimento. Inizialmente, il bulbo del termometro è immerso in una miscela di acqua e ghiaccio. All'interno del bulbo si trova un dato volume di aria che è possibile assumere in prima approssimazione costante per la durata dell'esperimento: infatti il tubo è molto più stretto del bulbo, il quale - nell'esperimento originale di Amontons - misura 8 cm di diametro. Una volta che il sistema ha raggiunto l'equilibrio termico con la miscela di acqua e ghiaccio è possibile sostituire a questa dell'acqua bollente, osservando la progressiva espansione dell'aria contenuta nel bulbo. Una volta che l'aria intrappolata nel bulbo ha raggiunto l'equilibrio termico con l'acqua bollente, per mantenerne costante il volume occorre incrementare di $\frac{1}{3}$ l'altezza iniziale della colonna di mercurio, versandolo all'interno del braccio più lungo.

²⁹Questo perché lo spessore e la fattura della pergamena erano tali da lasciar trapassare l'inchiostro, per cui uno sfruttamento dell'intero foglio su entrambi i lati avrebbe compromesso la lettura del testo.

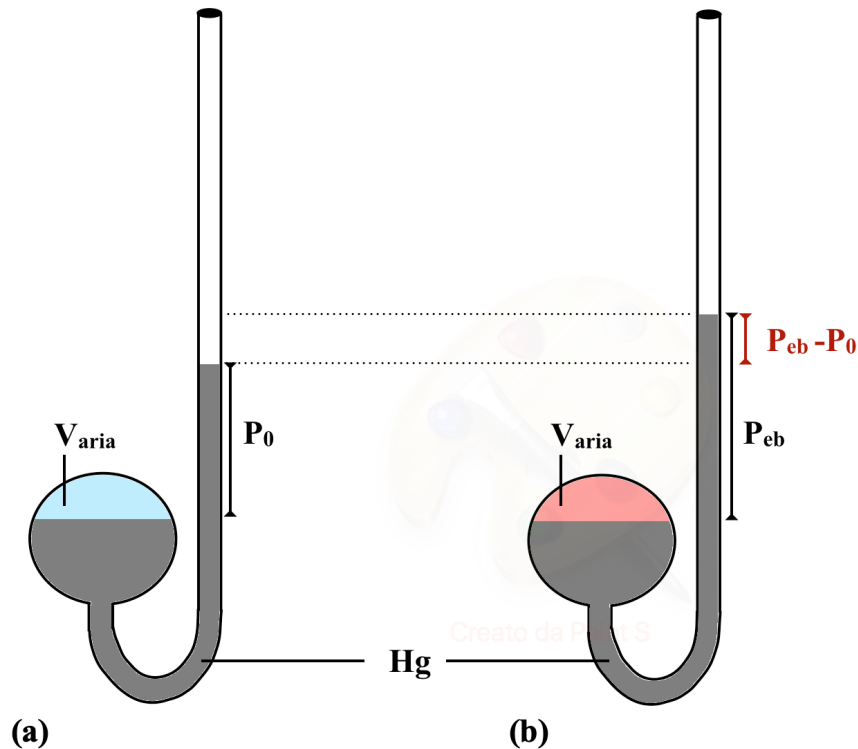


Figura 3.12: Schema di una possibile riproposizione dell'esperimento di Amontons da parte di Beccari. **(a)** La pressione iniziale è data dall'altezza della colonnina di mercurio nel braccio più lungo del termometro, misurata a partire dal livello di mercurio presente nel bulbo e qui indicata con P_0 . L'aria intrappolata nel bulbo è in contatto termico con una miscela di acqua e ghiaccio. **(b)** A seguito del riscaldamento dell'aria contenuta nel bulbo fino alla temperatura di ebollizione dell'acqua, perché l'aria sia mantenuta a volume costante è necessario incrementare l'altezza della colonna di mercurio del 33% rispetto al valore iniziale ($P_{eb} \approx \frac{4}{3}P_0$), versando mercurio nel braccio più lungo dello strumento.

Dal momento che il titolo del manoscritto di Beccari cita in maniera esplicita il fenomeno di dilatazione dell'aria, è ragionevole supporre che egli si sia servito anche di un apparato sperimentale leggermente differente da quello mostrato in Figura 3.12, allo scopo di mettere in evidenza la dilatazione dell'aria - ovvero l'incremento del volume occupato dal gas in seguito a un incremento di temperatura.

Per fare ciò è sufficiente sostituire al termometro di Amontons l'apparato impiegato da Boyle nelle esperienze descritte in *A defence of the doctrine touching the spring and weight of the air*, pubblicato nel 1662. Si tratta di un tubo a J, ovvero dotato di un braccio molto maggiore dell'altro in lunghezza; a differenza del termometro di Amontons non presenta alcun bulbo terminale, rendendo più chiaramente visualizzabile l'espansione dell'aria a seguito di un aumento di temperatura.

Se l'aria viene mantenuta a temperatura costante - grazie al contatto termico con l'acqua in ebollizione -, è possibile dimostrare la relazione oggi nota come legge di Boyle-Mariotte, ovvero la proporzionalità inversa che sussiste, per un gas a temperatura costante, tra volume e pressione: $PV = k$, con k costante.

Nello stesso documento autografo sopra menzionato viene citato anche uno studio sul raffreddamento prodotto in acqua dalla dissoluzione di sali.

Risale al Cinquecento la scoperta di come alcuni composti salini fossero in grado di abbassare la temperatura dell'acqua in cui venivano disciolti. Tra questi il più noto ai tempi era il cosiddetto *salnitro*, ovvero nitrato di potassio (KNO_3). Dalla seconda metà del XVII secolo si iniziò a intuire come l'acqua salata presenti un punto di congelamento inferiore rispetto all'acqua dolce, grazie soprattutto all'analisi del ghiaccio marino [35]. Prima dell'invenzione del termometro, tali osservazioni non potevano che essere di natura qualitativa; Santorio Santorio, ad esempio, nel 1626 riferisce di avere con successo ottenuto il congelamento del vino ponendolo a contatto con ghiaccio e sale comune (NaCl).

Esperimenti in merito all'*agghiacciamento dell'acqua di mare*³⁰ o all'efficacia di particolari sali nell'abbassare la temperatura dell'acqua sono stati eseguiti dagli accademici del Cimento [1], dai quali Beccari può avere attinto per le proprie esercitazioni. Dal manoscritto già menzionato (*De aeris dilatatione per calorem aquae ebullientis*) non è in realtà chiaro se tali esperimenti facessero parte della proposta didattica di Beccari o se fossero invece inerenti la sua attività di ricerca scientifica. Il fatto che ne faccia menzione in un'unica fonte la quale, con ogni probabilità, costituisce la trascrizione (o la bozza) di un discorso tenuto presso l'Accademia delle Scienze di Bologna fa propendere per la seconda opzione. Non potendo escludere con certezza una loro riproposizione in ambito didattico ma, al contempo, non disponendo di informazioni dettagliate in merito ci proponiamo di riportare quanto concluso in [1] a proposito della questione.

Gli Accademici del Cimento avevano notato come, tra i diversi sali, quelli contenenti ammoniaca avessero un'efficacia superiore al salnitro e al sale comune nell'abbassare la temperatura dell'acqua in cui venivano disciolti:

«[...] veduto abbiamo uguali quantità della medesim'acqua, d'ugual temperie, in vasi di vetro simili di figura, capacità, e sottigliezza, circondati da ugual quantità di ghiaccio polverizzato, onde ne rimanessero fasciati ugualmente, asperso il ghiaccio dell'uno col sal'armoniaco, e l'altro con ugual quantità di sal nitro non essersi agghiacciate in un medesimo tempo. Poichè quando un termometro di 100 gradi immerso nell'acqua, che dovea gelarsi col nitro era a gradi $7\div$, un'altro simile immerso in quella del sal'armoniaco, postosi come l'altro a g. 20, era già sotto ai 5, e l'acqua avea cominciato a velare.»³¹

Oltre a differenti tipologie di sale, gli accademici fiorentini evidenziano l'abbassamento crioscopico prodotto dallo zucchero e dall'*acquarzente* (alcool di vino). Oggigiorno la proprietà dei sali di abbassare il punto di congelamento dell'acqua viene sfruttata soprattutto per contrastare il congelamento del manto stradale nei periodi più freddi dell'anno: la dissociazione in ioni interferisce infatti con la formazione dei cristalli di ghiaccio e tale metodo può essere impiegato sia a scopo preventivo - servendosi di semplice cloruro di sodio - che in seguito alla formazione del ghiaccio, per accelerarne lo scioglimento. In questo secondo caso si preferisce

³⁰Si veda il riferimento [1], p. 172.

³¹Si veda la nota precedente.

l'impiego di cloruro di calcio (CaCO_3). Nei primi anni del Settecento, tuttavia, gli studi di Chimica inorganica non erano che agli albori; le strutture molecolari e atomiche dei diversi composti non erano note, motivo per cui tutti i resoconti del tempo si limitano a un'esposizione qualitativa di fenomeni osservabili.

Da un altro manoscritto di Beccari - contenuto sempre nel fondo dell'Antica Accademia delle Scienze di Bologna e riportato in Figura 3.14 - deriva la conferma di come, nel campo della termometria, gli interessi si concentrassero in effetti intorno al fenomeno di dilatazione dell'aria.

Si riporta di seguito una trascrizione del contenuto della Figura 3.14, per maggiore praticità di lettura.

- 1°: Servirsi di due fiale di capacità diversissima, come per esempio d'una fiala ordinaria di vetro, e di una fialetta che contenga 3, o 4 once d'acqua per vedere se una così notevole differenza di volumi apporti differenza nelle dilatazioni.
- 2: Invece delle bolle gonfiate alla lucerna servirsi di pezzi di canna che abbian la medesima grossezza che hanno le fialette di 3 o 4 once per vedere se in tali pezzi di canna per ragione della grossezza del vetro si riscaldi e i(n) conseguenza si rarefaccia più l'aria di quel che si rarefacesse nelle bolle suddette.
- 3: Rifare l'esperienza della canna piegata in più giri, e osservare bene che non sia umida e vedere se riesca nell'istesso modo, cioè che si dilati quanto nella mia esperienza, e in quella di M. de la Hire.
- 4: Servirsi ancora d'un tubo sottilissimo di vetro, come per esempio d'uno di quelli che son tirati alla lucerna, e vedere se la sottigliezza de' pareti faccia qualche differenza da uno che sia grosso di vetro.
- 5: Far che in una fiala entri un'aria umida per esempio di cortile, e in un'altra un'aria asciutta, come di granaio; e poi far l'esperienza con due fiale, e osservare se vi sia differenza † [...].

Si apprende da questa minuta come Beccari proponesse diversi esperimenti concernenti la dilatazione termica; molti di questi erano mirati a indagare l'elasticità dell'aria, della quale si discuterà più nel dettaglio nella sezione dedicata alla pneumatica (Sezione 3.3). A ben vedere, il contenuto degli esperimenti proposti in Figura 3.14 si colloca a metà strada tra la termometria e la pneumatica; il riferimento alla dilatazione come conseguenza di variazioni di temperatura fa tuttavia propendere per una loro collocazione nella sezione presente.

La dilatazione e contrazione dell'aria per effetto del calore può essere facilmente visualizzata, oggi, servendosi di un palloncino e misurandone il volume al variare della distanza da una fonte di calore. Nella seconda metà del Seicento e ancora nei primi anni del Settecento, lo stesso esperimento era proposto sostituendo al palloncino una vescica animale, spesso prelevata da un pesce. La dilatazione termica dei solidi è stata presa in esame soltanto successivamente: il celebre esperimento dell'anello di Gravesande è stato proposto tra gli anni Venti e gli anni Quaranta del XVIII secolo. Il riferimento, negli esperimenti sopra citati, a diversi recipienti e fiale in vetro non è indice di studi condotti in merito al coefficiente di dilatazione termica

del vetro, bensì all'effetto che tali differenze hanno sulla dilatazione termica dell'aria in essi contenuta.

Il de la Hire menzionato nell'esperimento 3. è Philippe de la Hire (1640-1718), artista di nascita ma scienziato di professione, entrato a far parte dell'Académie des sciences parigina dal 1678 e, per un periodo, collaboratore di Giovanni Domenico Cassini. Questo legame chiarisce in che modo Beccari sia venuto a conoscenza dell'operato di de la Hire, il cui figlio Gabriel-Philippe (1677-1719) è autore di una memoria, conservata presso l'Accademia francese, dal titolo *Sur la condensation et dilatation de l'air* (1705) [13]. In questo breve documento viene riassunta la conclusione alla quale gli esperimenti in merito all'elasticità dell'aria condotti da diversi membri dell'Accademia parigina - tra i quali ricordiamo Edme Mariotte (1620-1684) - avevano condotto, ovvero il fatto che *ses extensions étoient en raison directe des poids* [13].

Mediante un esperimento che pertiene più alla pneumatica, Beccari mira a verificare la consistenza dei propri dati con quelli tabulati da de le Hire (Figura 3.13).

T A B L E.			
Elevation du mercure dans le tuyau.	Condensation de l'air par l'expérience.	Condensation de l'air par le calcul.	
6pouces	9 parties & $\frac{4}{9}$	9 parties & $\frac{7}{9}$	$\frac{108}{131}$
12	8	8	$\frac{64}{119}$
14	7	7	$\frac{131}{167}$
18	7	7	$\frac{95}{143}$
24	6	6	$\frac{189}{207}$
30	5	5	$\frac{231}{251}$
36	5	5	$\frac{270}{279}$
42	4	4	$\frac{171}{171}$
48	4	4	$\frac{108}{108}$

Figura 3.13: Tabella che presenta i dati sperimentali raccolti da de la Hire in supporto alla tesi di Mariotte riguardo la proporzionalità diretta tra la riduzione del volume dell'aria e la pressione alla quale tale volume è sottoposto. La prima colonna contiene i dati relativi all'altezza della colonna di mercurio nel tubo torricelliano, espressa in pollici francesi (pouces); nella seconda colonna vi è la riduzione di altezza della colonna di aria sovrastante il mercurio così come è stata misurata sperimentale, mentre l'ultima colonna mostra la stessa grandezza ma ricavata per via teorica, sulla base della legge di Mariotte. Tratto da [13].

1.° Servirsi di due fiale di capacità disuguale 2.
 come per esempio d'una fiala ord. di vetro, e di
 una fiala de' cristalli B, o 4 once d'acqua
 di mercurio se una così notabile differenza di volumi
 opposti differenza nelle dilatazioni.

2.° In vece delle bolle gonfiare alla buerna servirsene
 di pezzi d'anna che abbiano la medesima gros-
 sezza che anno le fiale di B o 4 once
 per vedere se in tali pezzi d'anna per
 ragione della grandezza del vetro si rifaldi
 e in conseguenza si rinfaccia più l'aria di
 quel che si rinfaccia nelle bolle ord.

3.° Usar l'esperienza della lanna pigliata in
 più giu, e osservar bene che non sia umida.
 e vedere se resta nell'istesso modo, cioè che
 si dilati quanto nella mia esperienza, e in
 quella di M de la Huc.

4.° Servirsi ancora d'un tubo sottili.° di vetro, come
 per esempio d'quelli che son tirati alla buerna,
 e vedere se il sottilier de' pareti faccia
 qualche differenza da uno che sia grosso di vetro

5.° far che in una fiala entri un'aria umida per ef-
 f. d'aria, e in un'altra un'aria asciutta come di
 granajo: e poi far l'esperienza in queste due
 fiale, e osservare se vi sia differenza solo nelle ref.

Figura 3.14: Manoscritto autografo di Jacopo Bartolomeo Beccari. Si presenta nella forma di una minuta riportante indicazioni minime per lo svolgimento di alcuni esperimenti i fenomeni di dilatazione e contrazione dell'aria per effetto del calore. Tratto da A.A.S.B., Antica Accademia, Titolo II, Memorie (1690-1723); A-L, carta n. 21, foglio n. 3.

3.3 Esperimenti condotti con la pompa pneumatica (1717-1720)

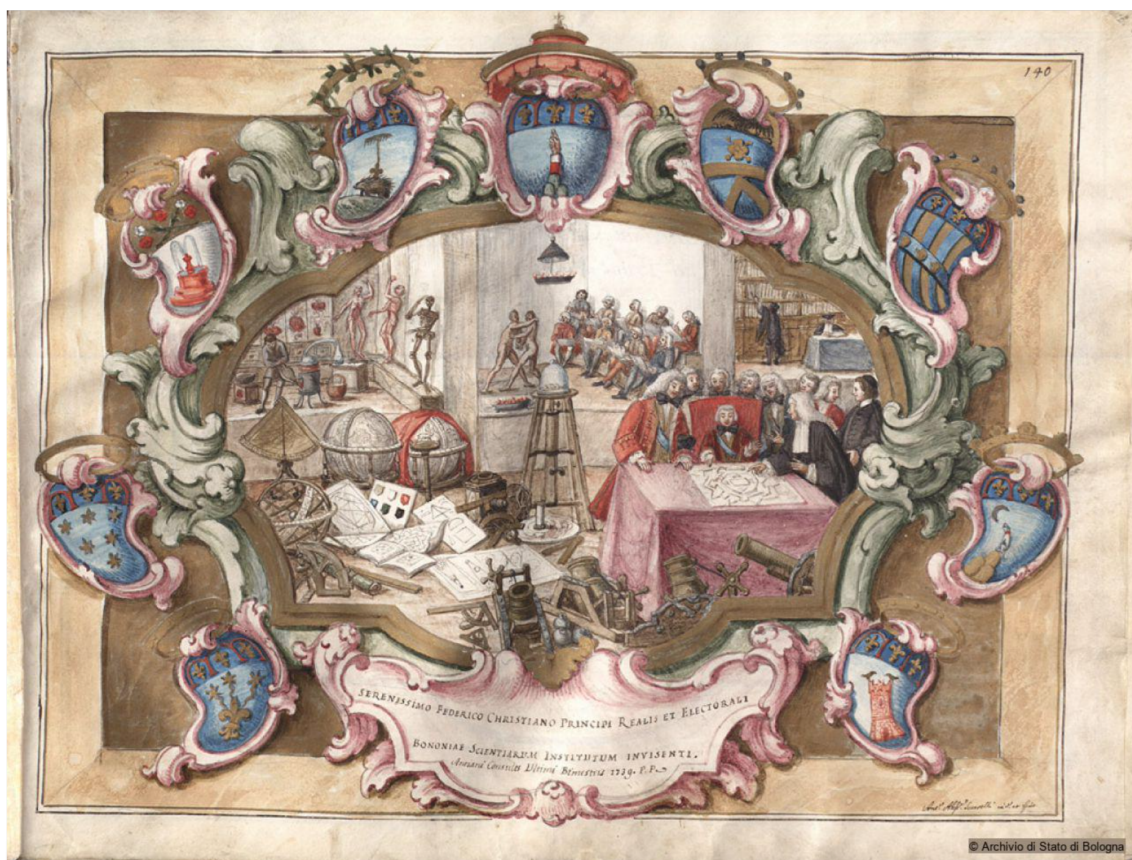


Figura 3.15: Antonio Alessandro Scarselli, I laboratori dell'Istituto delle Scienze di Bologna (1739). Miniatura su pergamena, 400x530 mm. Tratto da A.S.B., Le Insignia degli Anziani Consoli.

Nell'analisi dell'*Instrumentum donationis* (Sezione 2.2.1), l'apparato che spicca al di sopra di ogni altro è sicuramente la macchina pneumatica, la cui descrizione risulta sufficientemente accurata da permetterne l'identificazione con un modello a un cilindro solo in assetto verticale. Un simile strumento era in grado di ridurre la pressione interna al cilindro fino a un limite inferiore alla decina di torricelli, ovvero tra l'1% e lo 0.1% della pressione atmosferica [43]. Si trattava dunque di un vuoto che oggi verrebbe definito *grossolano*, ma tale condizione di rarefazione risultava tuttavia sufficiente alla messa in atto dei primi esperimenti atti a indagare le proprietà dell'aria.

Si trattava senza dubbio dello strumento più prestigioso e prezioso dell'intera collezione di Fisica anche in termini di valore economico: una macchina pneumatica poteva arrivare a costare, all'epoca, metà dello stipendio annuale di un professore. Una raffigurazione della macchina in dotazione all'Istituto si può apprezzare in Figura 3.15. L'immagine riprodotta mostra l'Istituto delle scienze di Bologna così come si presentava al tempo della visita del principe Federico Cristiano di Polonia (che è possibile osservare seduto al tavolo). Sullo sfondo si intravedono, partendo da sinistra, la sala anatomica, la scuola di nudo e la biblioteca dell'Istituto. Al cen-

tro della miniatura campeggia la macchina pneumatica in dotazione alla Camera di Fisica.

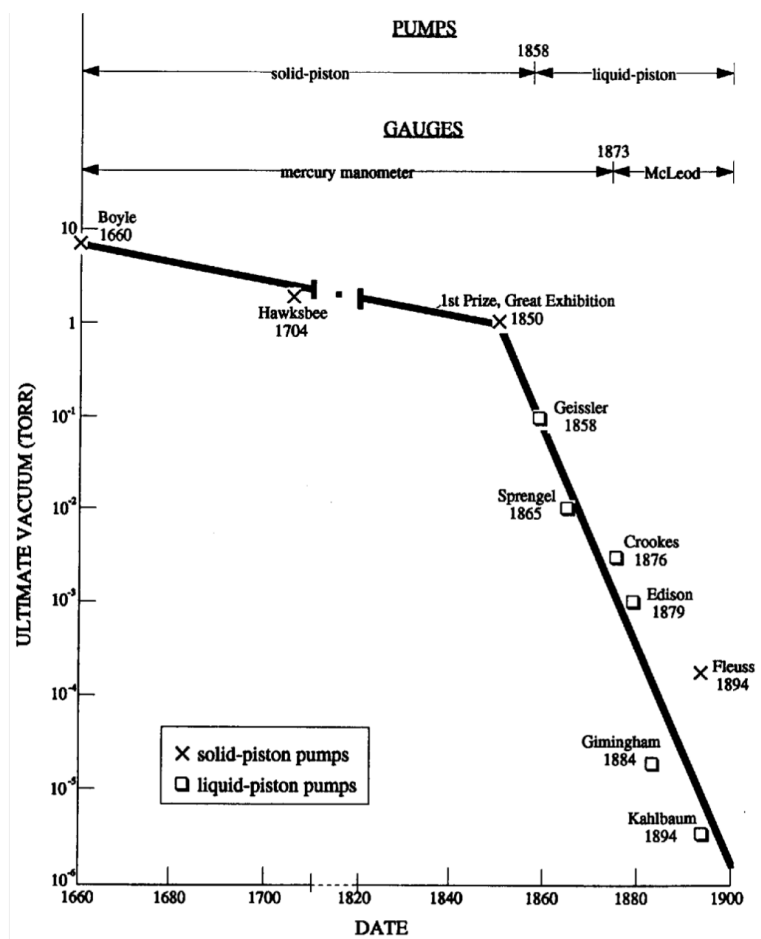


Figura 3.16: Grafico che mostra l'andamento della pressione minima rilevabile in funzione degli anni (1660-1900). Tratto da [43], p. 284. L'apparato in dotazione all'Istituto delle Scienze fin dalla sua fondazione è riconducibile alla tecnologia sviluppata da Boyle; il dato riportato fa riferimento all'esperimento che il fisico irlandese descrive nel suo *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air and its effects, etc.* [8]

Inventata intorno alla metà del XVII secolo dal costruttore tedesco Otto von Guericke (1602-1686), la pompa per vuoto è diventata uno degli strumenti simbolo della fisica sperimentale del secolo dei lumi; il suo ruolo può essere paragonato, per rilevanza, a quello ricoperto dalla macchina elettrostatica nell'Ottocento.

Von Guericke, allora borgomastro di Magdeburgo, coltivava da tempo interessi fisici e, in particolare, verso gli anni Quaranta del Seicento iniziò a occuparsi di pneumatica. Venuto a conoscenza dell'esperimento mediante il quale Evangelista Torricelli aveva dimostrato l'esistenza del vuoto (1644), von Guericke si adoperò per realizzarne una sorta di replica in condizioni di vuoto artificiale (quello che oggi viene definito, per l'appunto, *pneumatico*), tentando di estrarre l'acqua contenuta in una botte. Di fronte alle pesanti difficoltà tecniche incontrate nell'operazione decise di sostituire al recipiente colmo d'acqua una botte piena d'aria; questo secondo tentativo andò a buon fine e von Guericke presentò la propria invenzione di fronte alla

Dieta di Ratisbona nel 1654, per mezzo del celebre esperimento di Magdeburgo³². La macchina che permette di ottenere una rarefazione dell'aria inferiore alla decina di torricelli è stata concepita da Robert Boyle come miglioramento del prototipo di von Guericke: prima che lo stesso von Guericke ripercorresse l'esperimento nei suoi *Experimenta nova, ut vocant, Magdeburgica de vacuo spatio* (1672), nel 1657 un altro fisico, Gaspar Schott, redasse i *Mechanica Hydraulico-Pneumatica*: fu proprio grazie a questo trattato che l'invenzione di von Guericke poté giungere - in tempi relativamente rapidi - sino a Boyle.



Figura 3.17: Illustrazione dei primi prototipi di pompa per vuoto, ideati da Otto von Guericke e tratti da [47], p. 74. Si trattava di pompe piuttosto rudimentali, simili nel funzionamento a grosse siringhe.

Il limite principale della pompa ideata da von Guericke consisteva in una difficoltà di carattere pratico: occorreva infatti una forza notevole per estrarre l'aria dal recipiente designato. Inoltre - e questo è un difetto comune a tutti i tipi di pompe meccaniche - la pressione minima raggiungibile era limitata in maniera particolare dalla soltanto parziale tenuta delle parti in movimento.

Mentre Boyle - in collaborazione con Robert Hooke - si adoperava per migliorare il grado di vuoto che tali macchinari erano in grado di raggiungere, la popolarità raggiunta dalle pompe per vuoto le vedeva comparire sempre più spesso nelle dimostrazioni pubbliche, ragione per cui i costruttori di strumenti lavoravano in direzione di un miglioramento dell'apparato in termini di maneggevolezza. Il modello che si

³²Nell'esperimento, la pompa per vuoto viene impiegata per rarefare l'aria contenuta tra due emisferi di ottone, uniti a formare una sfera cava; una volta fatto ciò, veniva mostrato come occorresse la forza di ben 32 cavalli per separare gli emisferi (ovvero, una forza pari a circa 20 kN), a causa della pressione atmosferica agente.

affer mò nel corso del Settecento è quello ideato da Francis Hauksbee, il quale propose di aumentare il numero di cilindri da uno a due e si sostituire ai rubinetti delle valvole in grado di lavorare autonomamente per differenza di pressione. Si trattava infatti del miglior compresso tra efficienza (leggermente inferiore al modello di Boyle) e facilità d'impiego (nettamente superiore rispetto al modello di Boyle).

Alla macchina in dotazione all'Istituto Antonio Vallisnieri, in una lettera del 1705 indirizzata a Marsili³³, si riferisce come alla *macchina Boileana*, comunicandone l'ottimo stato (e non mascherando l'invidia provata nei confronti di chi avrebbe potuto utilizzarla per molteplici esperimenti).

L'Istituto disponeva in realtà, fin dalla sua apertura, di due pompe pneumatiche. Una è quella sopra descritta e donata da Marsili; la seconda venne acquistata su richiesta di Beccari nel 1714, al prezzo di £ 45. Da Belli [4] apprendiamo che si trattava sempre di una macchina a un solo cilindro, ma in assetto orizzontale e realizzata da Giuseppe Nardi. Alla dotazione presente nel momento dell'avvio dei corsi si sono aggiunti, nel 1719, *4 tubi in vetro con le casse di legno*, donati da Rondelli³⁴.

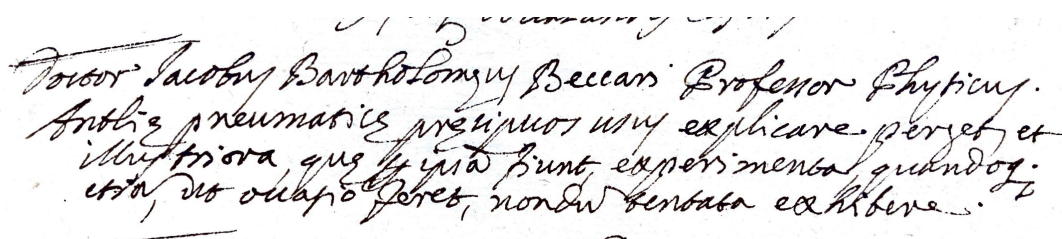
Come è attestato in Figura 3.18, il triennio di esperimenti dedicati alla pneumatica aveva inizio con un'illustrazione dell'apparato in tutte le sue componenti e nel suo funzionamento: questo è il contenuto della Sezione 3.3.1. Nel prosieguo vengono invece descritti gli esperimenti *quae per ipsam fiunt*, non prima di aver riportato la sommaria descrizione dell'attività didattica offerta da Beccari nei tre anni di corso, così come attestata da Zanotti (Figure 3.18, 3.19 e 3.20).

exponet.
D. Jacobus Bartholomeus Beccari, Professor Physicus.
explicatis structura et praecipuis usibus Antliae pneumaticae,
illustriora, et maxime nova experimenta, quae per ipsam fiunt,
exhibebit.
D. Antonio Vallisnieri, Professor Chemicus.

Figura 3.18: Sommario degli argomenti affrontati nel corso dell'anno scolastico 1717-1718. Si legge: D. Jacobus Bartholomeus Beccari, Professor Physicus, explicatis structura et praecipuis usibus Antliae pneumaticae, illustriora, et maxime nova experimenta, quae per ipsam fiunt, exhibebit. Tratto da: A.S.B., II. 107, Assunteria d'Istituto, Diversorum, b. 15, n. 2, Argomenti delle esercitazioni nelle varie Camere dell'Istituto.

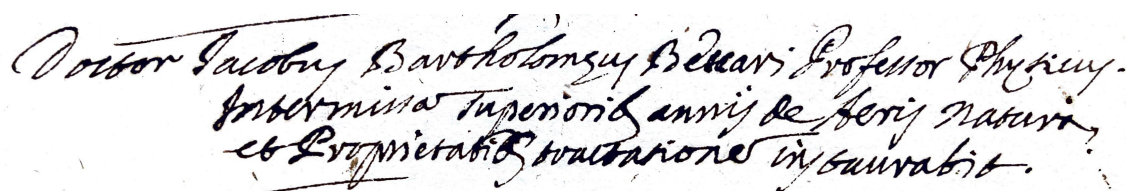
³³Publicata in [19], p. 315.

³⁴B.U.B., Ms. 4186/3, fascicolo n. 32, *Memorie relative all'Istituto di Bologna*.



Doctor Jacobus Bartholomeus Beccari Professor Physicus.
 Antliae pneumaticae precipuos usus explicare perget et
 illustriora, quae per ipsa fiunt, experimenta, quandoq;
 etiam, ut occasio feret, nondum tentata exhibere.

Figura 3.19: Sommario degli argomenti affrontati nel corso dell'anno scolastico 1718-1719. Si legge: Doctor Jacobus Bartholomeus Beccari Professor Physicus Antliae Pneumaticae precipuos usus explicare perget et illustriora, quae per ipsa fiunt, experimenta, quandoque etiam, ut occasio feret, nondum tentata exhibere. Tratto da: A.S.B., II. 107, Assunteria d'Istituto, Diversorum, b. 15, n. 2, Argomenti delle esercitazioni nelle varie Camere dell'Istituto.



Doctor Jacobus Bartholomeus Beccari Professor Physicus.
 Intermissa superioribus annis de Aeris natura,
 et Proprietatibus tractationem instaurabit.

Figura 3.20: Sommario degli argomenti affrontati nel corso dell'anno scolastico 1719-1720. Si legge: Doctor Jacobus Bartholomeus Beccari Professor Physicus. Intermissam superioribus annis de Aeris natura, et Proprietatibus tractationem instaurabit. Tratto da: A.S.B., II. 107, Assunteria d'Istituto, Diversorum, b. 15, n. 2, Argomenti delle esercitazioni nelle varie Camere dell'Istituto.

Per il triennio 1717-1720 non vi sono bozze redatte da Beccari che permettano di meglio comprendere le esperienze proposte agli studenti³⁵. Si dispone però delle già citate *note di spese*, presentate da Vittuari (operativo già dal 1713) e controfirmate dallo stesso Beccari. Dalla loro analisi è possibile concludere che gli esperimenti condotti in questo secondo periodo di attività riguardavano proprio le tematiche più care al periodo: la trasmissione del suono nel vuoto e le conseguenze dell'esposizione al vuoto sulla respirazione animale, oltre alla misura dell'elasticità dell'aria.

Di nuovo, molte di queste esperienze si presentano come adattamenti di studi già descritti in quelli che, di lì a poco, sarebbero diventati i testi di fisica sperimentale di riferimento. Sono due, in particolare, i riferimenti che Beccari sicuramente conosceva e ai quali può aver attinto. Si tratta di testi la cui prima edizione è stata data alle stampe nel medesimo anno, il 1709: mentre a Londra vedevano la luce i *Physico-Mechanical Experiments on various subjects* di Hauksbee [26]³⁶, a Parigi Pierre Polinière (1671-1734) pubblicava un compendio di cento esperimenti da lui rivisitati in chiave didattica, dal titolo *Expériences de physique* [41].

Il contesto nel quale il testo di Hauksbee viene concepito è la cornice della Royal Society londinese, della quale egli divenne membro e sperimentatore ufficiale a partire dal 1705, per volontà dello stesso Newton - allora presidente. La maggior parte degli esperimenti illustrati riguarda fenomeni di ottica e, in particolare, la produzione di elettricità per attrito: sulla scia di Boyle, Hauksbee indagò a fondo il fenomeno della

³⁵Questa assenza è denunciata anche da Belli in [4].

³⁶Si è consultata l'edizione italiana, pubblicata qualche anno più tardi (1716).

luminescenza osservabile all'interno di un barometro in seguito alla sua agitazione e fu proprio allo scopo di chiarire se il mercurio fosse necessario alla produzione di simili bagliori che egli brevettò la macchina pneumatica a due cilindri verticali, impiegata in territorio inglese fino alla fine del secolo. Oltre agli esperimenti condotti per chiarire la natura del *fosforo mercuriale*, il testo di Hauksbee presenta interessanti studi circa la propagazione del suono nel vuoto, come il *Racconto d'alcune esperienze fatte sopra la propagazione de' suoni nell'aria condensata, e rarefatta* - del quale si discuterà nella sezione 3.3.2.

La presentazione degli esperimenti segue un ordine tematico: il testo è suddiviso in cinque sezioni, due delle quali - la terza e la quarta - illustrano un unico esperimento ciascuna, mentre le altre raccolgono diverse dimostrazioni inerenti uno stesso tema. In apertura si trova un'esauritiva descrizione della macchina pneumatica impiegata, corredata da un'illustrazione.

Per quanto concerne l'insegnamento della fisica moderna in territorio francese, si può riconoscere in Polinière un pioniere della didattica ostensiva: egli fu infatti tra i primi a servirsi di dimostrazioni sperimentali per favorire la comprensione di concetti di Fisica. In tal senso ricoperse un ruolo analogo rispetto a quello di Beccari a Bologna: mentre nei primi anni di carriera le sue dimostrazioni erano concepite come *una tantum* e si tenevano occasionalmente (per intrattenere un pubblico non specializzato, oppure come supporto alle lezioni universitarie), con il nuovo secolo Polinière ritagliò per sé e le proprie lezioni uno spazio sempre più ampio, arrivando a tenere dei veri e propri corsi per gli studenti del Collège d'Harcourt. Contrariamente a quanto di sovente accade, la fama di cui Polinière godette in vita (per lo meno in territorio francese) supera quella di cui gode attualmente. È curioso osservare come egli non abbia mai desiderato il riconoscimento quale membro dell'Académie des sciences, preferendo portare avanti il proprio mestiere di fisico di professione in autonomia [12]. Fu ampiamente apprezzato il suo manuale, ristampato in cinque edizioni e la cui lettura consente la riproposizione di un'ampia gamma di esperimenti, la maggior parte dei quali attinenti la meccanica (circa la metà). Vi si trovano poi esperienze concernenti la luce e i colori, come nel testo di Hauksbee.

La presentazione di ciascuna di esse rispetta una suddivisione in tre sezioni. In apertura viene illustrata la *Preparation*, nella quale l'autore specifica i materiali e gli apparati necessari alla conduzione dell'esperimento, insieme a un rimando alla pagina in cui è possibile consultare la tavola relativa a quell'esperimento - completa di illustrazioni degli strumenti e delle operazioni di misura. Segue la descrizione delle procedure operative da mettere in atto, in una sezione dal titolo *Effets*; infine, nell'*Explication* viene chiarito il senso fisico di quanto è stato possibile osservare per mezzo dell'esperimento condotto.

Se la connessione tra Beccari e Hauksbee è chiara - come mostra la Figura 3.9 -, il punto di contatto tra il fisico bolognese e l'autore delle *Expériences de physique* non è altrettanto immediato. Può darsi che Beccari sia venuto a conoscenza del testo grazie al tramite di Galeazzi - il quale, lo ricordiamo, trascorse un periodo in Francia nel 1714. Ad accomunare le personalità di Hauksbee, Polinière e Beccari vi è poi un interesse comune: quello per il *fosforo mercuriale*, ovvero la locuzione con la quale ci si riferiva, a inizio Settecento, ai caratteristici bagliori prodotti da scari-

che elettriche in condizioni di rarefazione dell'aria³⁷. Nonostante Beccari con ogni probabilità non abbia conosciuto personalmente né intrattenuto una corrispondenza diretta con Hauksbee, né tantomeno con Polinière, è possibile avanzare l'ipotesi che egli conoscesse i loro testi di fisica sperimentale e che se ne sia servito per progettare gli esperimenti di pneumatica da proporre presso l'Istituto delle Scienze bolognese.

Rimane da menzionare un ultimo testo di fisica sperimentale, antecedente ai precedenti: i *New experiments physico-mechanical* di Robert Boyle (1660) [8]. I lavori del fisico irlandese erano noti, in territorio italiano, già diversi anni prima dell'avvio del corso di Beccari, in particolare tra i membri dell'Accademia degli Inquieti - i quali avevano ripreso e, in alcuni casi, rivisitato diversi esperimenti concernenti l'elasticità dell'aria³⁸. Il testo di Boyle contiene un'accurata descrizione di 43 esperimenti condotti con la pompa pneumatica di sua ideazione, tutti accomunati dal proposito di indagare gli effetti dell'aria sia rarefatta che condensata in differenti contesti, dall'acustica al magnetismo.

Il prospetto dell'attività didattica per l'anno scolastico 1719-1720 cita studi inerenti la natura e le proprietà dell'aria, ricalcando da vicino quanto riportato per l'anno 1715-1716 (Figura 3.5). Da un esame più attento, in realtà, si comprende come in questo contesto il *focus* sia rivolto a proprietà quali l'elasticità e il peso dell'aria e non tanto all'influenza della temperatura sui fenomeni di contrazione e dilatazione della stessa. Occorre a tal proposito ricordare quanto anticipato nella Sezione 1.1.3: i fisici che operavano con la pompa pneumatica erano consapevoli del fatto che questa non creasse un vero e proprio vuoto; gli studi da loro compiuti erano infatti volti ad evidenziare le proprietà dell'aria e le conseguenze della sua privazione su organismi viventi e inorganici. Nel contesto della termometria ci si occupava invece, come si è visto, degli effetti prodotti dai cambiamenti di temperatura su diversi fluidi - tra cui l'aria.

Dai già citati resoconti degli inventari che annualmente venivano redatti da Gusmano Galeazzi si apprende di come, nel 1718, la Camera di Fisica si fosse dotata di *due semiglobi d'ottone con un anello da una parte; e dall'altra opposta un galletto*. Non viene chiarita la provenienza dell'oggetto; ciononostante, è evidente che si tratta di una riproduzione dei globi impiegati da von Guericke per la dimostrazione degli effetti della pressione atmosferica nell'esperimento di Magdeburgo. È pertanto possibile supporre, con un elevato grado di confidenza, che simili esperimenti venissero riproposti da Beccari ai frequentatori dell'Istituto.

3.3.1 Descrizione e funzionamento della *macchina Boileana*

Come discusso nella sezione precedente, dalla sua invenzione nella seconda metà del XVII secolo (e, in realtà, fino al Novecento), la macchina pneumatica conobbe molteplici rivisitazioni, principalmente allo scopo di aumentarne le prestazioni. La denominazione di *macchina boileana* è entrata nel linguaggio comune in seguito alle migliorie apportate all'apparato da Robert Boyle e Robert Hooke; occorre tuttavia

³⁷L'attributo *mercuriale* deriva dal fatto che tale fenomeno venne per la prima volta osservato in termometri e barometri.

³⁸Pighetti, C., *L'influsso scientifico di Robert Boyle nel tardo '600 italiano*, Milano, Franco Angeli, 1988.

puntualizzare come la locuzione si riferisca, in una sorta di antonomasia, alla pompa pneumatica quale apparato in sé e non specificatamente al modello boyleano. Indipendentemente dal modello considerato, una macchina pneumatica si compone di due porzioni principali, connesse tra loro: la pompa per il vuoto e il recipiente entro il quale viene rarefatta l'aria. Nonostante alcune similitudini, la macchina pneumatica in dotazione all'Istituto delle Scienze fin dalla sua fondazione non pare identificabile con il modello di Boyle: non vi è infatti alcun riferimento al *reservoir* di forma sferica, ma viene fatta menzione di una campana in vetro che poggia su una base in ottone - come nella macchina per il vuoto ideata da Polinière e successivamente ripresa dall'abate Nollet e della quale si riporta in Figura 3.21 (b) una ricostruzione³⁹.

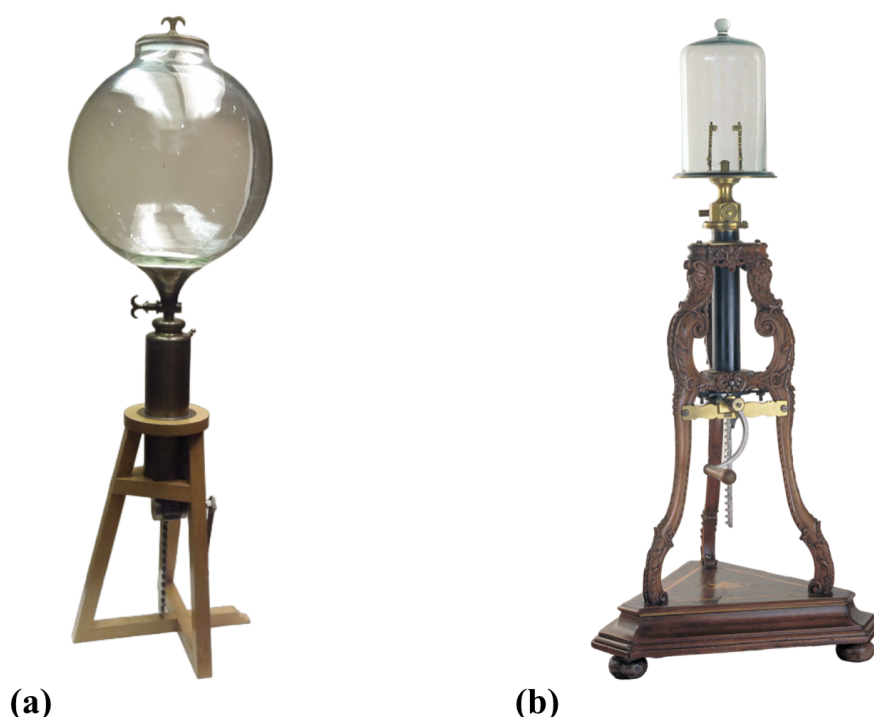


Figura 3.21: (a) *Pompa pneumatica (modello di Boyle)*. Tratto da: Cummings, J., *Replica of the Hooke-Boyle Air Pump*, *Science in the 18th Century*, The King George III Collection, Science Museum, London. (b) *Pompa pneumatica (modello di Polinière/Nollet)*. Tratto da: Museo Galileo, catalogo online.

Oltre a ricalcare con maggiore precisione la descrizione fornita da Marsili nell'*Instrumentum donationis*, la macchina pneumatica di Polinière si avvicina di più all'apparato ritratto in Figura 3.15. Si noti comunque come, al di là delle differenti forma e dimensione del recipiente nel quale viene fatto il vuoto, le due macchine si assomiglino nella struttura: entrambe vengono azionate da un unico pistone verticale (situato all'interno del cilindro che occupa la porzione centrale) e in entrambi i casi l'operazione di rarefazione dell'aria è facilitata dalla presenza di un meccanismo

³⁹Si tratta di una copia di una macchina pneumatica modello Nollet, databile intorno al 1780 e ad oggi proprietà del Museo Galileo di Firenze. Si è scelto di presentare una ricostruzione (anziché le figure originali presenti in [41]) per ragioni di maggiore chiarezza visiva: gli schemi proposti da Polinière ritraggono di volta in volta componenti diverse della macchina, senza mai presentarla nella sua interezza.

a cremagliera accoppiata con un pignone, azionato tramite una manovella - meno visibile in figura, ma presente anche nel modello di Boyle. In entrambi i casi, inoltre, l'apparato è mantenuto in posizione da un treppiede in legno la cui sommità avvolge il cilindro contenente il pistone.

Come anticipato, la differenza principale riguarda il recipiente nel quale è possibile fare il vuoto, che ha dimensioni generalmente maggiori nel modello di Boyle. Nell'apparato originale, descritto in [8], misurava circa 30 *l* in volume; il desiderio di Boyle sarebbe stato quello di poter condurre esperimenti sugli effetti della rarefazione dell'aria in spazi ancora più ampi, ma le tecnologie dell'epoca non consentivano la realizzazione di sfere di vetro di dimensioni maggiori rispetto a quanto riportato. Poteva accadere che parte dell'apparato emergesse dal contenitore sottovuoto, come nel caso di termometri o barometri (la cui altezza, raramente inferiore al metro, faceva sì che sporgessero dall'apertura presente sulla cima del recipiente). Il cilindro misurava invece circa 36 cm in lunghezza per 8 cm di diametro.

Nel modello messo a punto da Polinière al posto del recipiente sferico si ha una campana, sempre in vetro e anch'essa di dimensioni variabili a seconda delle necessità; indicativamente, la sua altezza si aggirava intorno ai 30-35 cm. Questa poggia su di una base metallica (un piatto in ottone, nel caso presente), che è ancorata al cilindro per il tramite di un rubinetto. Nella parte alta del cilindro (sotto il rubinetto) vi è una valvola che può essere aperta o chiusa.

Il funzionamento della pompa richiedeva la ripetizione dei passaggi illustrati di seguito - previa collocazione entro il recipiente dell'apparato sperimentale o degli artefatti da analizzare in condizione di rarefazione dell'aria.

- i. Avendo cura di mantenere chiuso il rubinetto (R), il pistone (P) viene alzato fino a fine corsa, in modo tale che tra il recipiente e il cilindro sia fatto il vuoto;
- ii. a questo punto, il rubinetto viene aperto e il pistone abbassato: l'aria passa così dal recipiente nel cilindro;
- iii. il rubinetto viene nuovamente chiuso e, dopo aver rimosso la valvola (V), il pistone viene fatto risalire, permettendo l'evacuazione dell'aria contenuta nel cilindro verso l'ambiente esterno.

Gli stessi sono illustrati in Figura 3.22.

Ad ogni passaggio, la forza richiesta all'operatore per rarefare l'aria entro il recipiente aumentava, di pari passo con l'abbassamento della pressione interna. La buona riuscita degli esperimenti di pneumatica non dipendeva tuttavia soltanto da forza e resistenza impiegate per il funzionamento dell'apparato: la sfida più ardua consisteva nel riuscire a mantenere per il tempo necessario la condizione di rarefazione dell'aria all'interno del recipiente, scongiurando possibili perdite. Inoltre, era possibile che nel processo di rarefazione dell'aria il recipiente in vetro venisse danneggiato: poteva ad esempio creparsi (quando non direttamente implodere). Occorrenze simili erano probabilmente all'ordine del giorno, dal momento che Boyle si preoccupa di fornire una "ricetta" per il riparo di piccole crepe [8]. Più in generale, alla descrizione del funzionamento della macchina pneumatica segue un elenco delle accortezze messe in pratica al momento della costruzione della stessa per evitare che, una volta fatto il vuoto, l'aria possa in qualche modo insinuarsi all'interno del

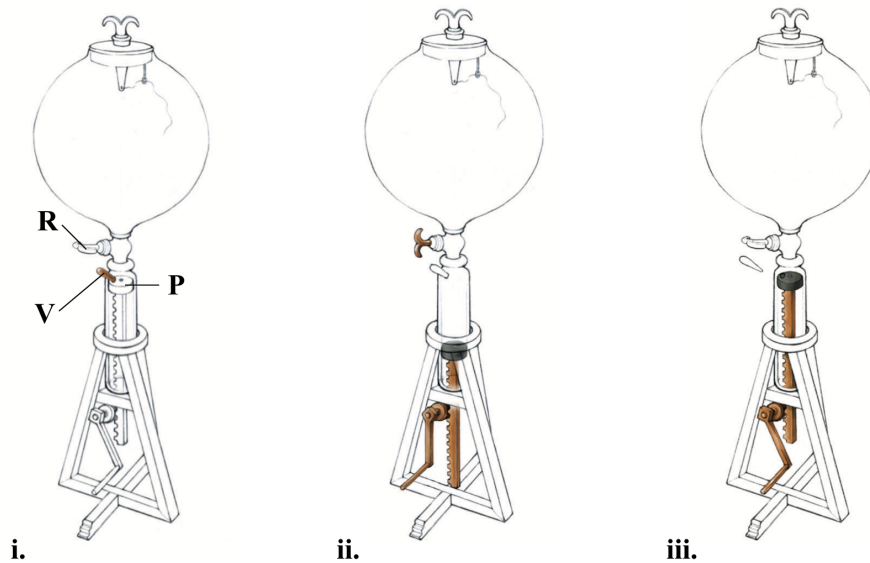


Figura 3.22: *Illustrazione del funzionamento della pompa pneumatica. Tratto e adattato da: History - Robert Boyle (articolo disponibile al link <http://www.tup.tsinghua.edu.cn/upload/books/yz/067468-01.pdf>).*

recipiente. Il recipiente veniva ancorato alla base per mezzo di uno speciale cemento, denominato *diachylon* e ottenuto probabilmente combinando olio d'oliva e altri succhi vegetali, bolliti insieme, con ossido di piombo. L'olio veniva impiegato anche per isolare al meglio i diversi componenti, quali il rubinetto e la valvola inserita nel cilindro [8].

Questi accorgimenti denotano una spiccata sensibilità sperimentale e un'attenzione marcata alla definizione delle condizioni entro cui si opera, unitamente alla consapevolezza dei limiti intrinseci nell'apparato. Può darsi che tale attenzione sia motivata - almeno in parte - dalla volontà di schermare la macchina pneumatica dalle critiche degli avversari⁴⁰, mirate a invalidare i risultati ottenuti con essa sulla base dei difetti sperimentali. In altri termini, era chiaro come per poter produrre una conoscenza salda fosse necessario che l'apparato impiegato conservasse la propria integrità fisica.

Oltre alla rarefazione dell'aria all'interno del recipiente, l'apparato permetteva la sua condensazione: era sufficiente operare in senso contrario rispetto a quanto descritto per la produzione del vuoto.

3.3.2 La trasmissione del suono nel vuoto

È molto probabile che, disponendo di una macchina pneumatica, Beccari abbia proposto al proprio pubblico esperimenti relativi agli effetti della rarefazione dell'aria sulla trasmissione del suono. Si tratta di un argomento affrontato già da Boyle e, dopo di lui, dagli Accademici del Cimento. Questi ultimi, tuttavia, non possedevano una vera e propria pompa per il vuoto ma avevano concepito e utilizzavano per simili esperienze un apparato piuttosto rudimentale⁴¹. Questo può rendere

⁴⁰Per quanto concerne l'operato di Boyle in relazione alla pneumatica, tra i maggiori oppositori si segnala il filosofo inglese Thomas Hobbes (1588-1679).

⁴¹Una sua descrizione è contenuta in [1], pp. 97-99.

conto del perché essi pervennero a una conclusione che oggi sappiamo essere errata, ovvero la convinzione (apparentemente supportata dall'evidenza sperimentale) che l'aria non sia necessaria alla trasmissione del suono, oppure che sia sufficiente una sua presenza minima affinché il suono riesca a propagarsi. Dello stesso avviso era Athanasius Kircher (1602-1680), autore di un esperimento inerente sempre la propagazione del suono nel vuoto. Apprendiamo da Boyle di come egli si sia servito, per la conduzione del proprio esperimento, di una campana collocata entro lo spazio vuoto di un barometro e di una calamita, con la quale attirava il batacchio mettendolo in moto. Diversamente da quanto afferma Boyle, tuttavia, l'erudito tedesco non mirava a stabilire se il suono necessitasse di un mezzo o meno per propagarsi, in quanto era convinto della prima ipotesi: l'esperimento venne messo in pratica con l'obiettivo di dimostrare l'inesistenza del vuoto, mostrando come, sbattendo contro le pareti della campana, il batacchio producesse rumore anche in uno spazio in cui, secondo Torricelli e i *vacuisti*, avrebbe dovuto esserci il vuoto. Servendosi della macchina pneumatica è possibile dimostrare l'esatto contrario, ovvero notare che i suoni diventano impercettibili all'orecchio nel momento in cui vengono prodotti in uno spazio entro il quale è stato prodotto il vuoto (per quanto grossolano).

I più semplici esperimenti di trasmissione del suono nel vuoto prevedevano l'inserimento di un orologio nel recipiente della macchina pneumatica - a patto che si disponesse di modelli aventi dimensioni adeguate. Il suo ticchettio regolare permette infatti di monitorarne la variazione di volume mano a mano che l'aria viene rarefatta, fino al momento in cui esso diventa inudibile. Allo scopo di scongiurare la trasmissione del suono attraverso il piatto della macchina pneumatica, l'orologio non veniva appoggiato su di essa ma appeso a un filo che scendeva dalla sommità della campana in vetro, in modo che rimanesse sospeso in aria. Dopo aver verificato che il ticchettio fosse udibile attraverso la campana in condizioni di pressione atmosferica, la pompa veniva azionata e i presenti venivano invitati a sperimentare in prima persona la progressiva riduzione del volume.

Questo aspetto di co-costruzione della conoscenza, che passa attraverso l'evidenza sperimentale, è un punto di importanza capitale per l'evoluzione della didattica della scienza. Il professore non ricopre più, in questo contesto, il ruolo di depositario di un sapere codificato nei testi antichi e immutabile, al quale lo studente non deve accostarsi con la volontà di comprendere o mettere in discussione, ma con lo scopo di assimilare quanto più possibile; nelle Camere dell'Istituto delle Scienze il docente è soprattutto un facilitatore, che mette a disposizione del discente la propria competenza e abilità sperimentale in modo tale che egli possa autonomamente costruire un bagaglio di conoscenze e competenze sulla base dell'osservazione empirica e dell'interpretazione di quanto osservato.

A supporto delle proprie conclusioni, lo stesso Boyle menziona come tutti i "testimoni" presenti al momento della conduzione dell'esperimento fossero concordi nello stabilire l'assenza di suono nel vuoto o, in ogni caso, una sua severa attenuazione [8].

Gli esperimenti più celebri erano quelli che, sulla scia di Kircher, si servivano di una campana collocata sotto la campana di vetro collegata alla macchina pneumatica. Dapprima si procedeva a far suonare la campana in aria, in modo da registrare

volume e tono del suono prodotto; dopodiché la si collocava all'interno del recipiente, che veniva sigillato al piatto della macchina, e si produceva nuovamente il suono, il quale veniva comparato a quello prodotto in aria. A tale scopo, l'intero apparato veniva scosso - così che il batacchio sbattesse contro le pareti della campana. Si procedeva infine a rarefare l'aria all'interno del recipiente, monitorando il progressivo abbassamento di volume nel suono prodotto dalla campana fino alla sua pressoché totale scomparsa.

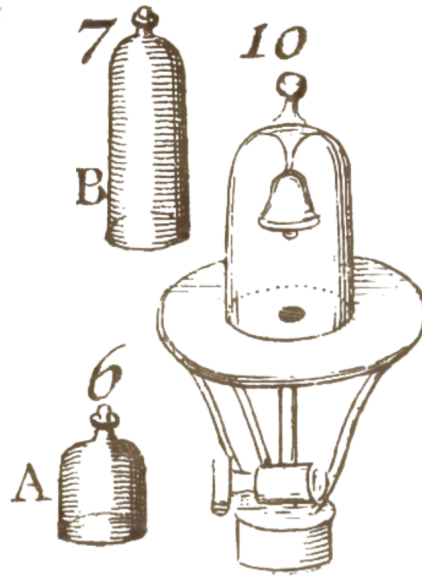


Figura 3.23: *Illustrazione di un possibile setup sperimentale per lo studio della trasmissione del suono nel vuoto. Si noti come non venga rappresentata per intero la macchina pneumatica, ma si focalizzi l'attenzione sull'elemento variabile da esperimento a esperimento - il contenuto del recipiente entro il quale viene rarefatta l'aria. Le figure 6 e 7 mostrano due differenti tipologie di recipiente da ancorare al piatto della macchina pneumatica. Tratto da [41], Planche 10, fig. 6, 7, 10.*

Si trattava di esperimenti fortemente qualitativi, che non potevano beneficiare dei moderni fonometri, e il cui esito era influenzato in maniera notevole dalla percezione soggettiva. Entrambe queste caratteristiche erano note ai fisici e ai dimostratori del tempo, nessuno dei quali manifestò la volontà di raccogliere dati sperimentali circa il grado di attenuazione del suono in funzione della densità dell'aria.

Un altro punto interessante riguarda la profonda conoscenza dei limiti del proprio apparato sperimentale e la capacità di interpretare gli esiti sperimentali alla luce di questi. Tanto Boyle quanto Hauksbee e, con loro, anche Polinière riconosce la necessità di un mezzo quale l'aria per la propagazione del suono, nonostante il suono della campana nel recipiente entro cui è stata rarefatta l'aria sia ancora, per quanto soltanto a una minima distanza dal vetro e con un volume molto basso, udibile. Come Galilei aveva imputato la non perfetta simultaneità nell'arrivo a terra di due corpi di massa diversa all'*impedimento dell'aria* - anziché a un'incongruenza nella teoria del moto -, così i fisici che si interessavano di pneumatica attribuivano il perdurare del suono nel vuoto al fatto che, in realtà, quello prodotto per mezzo della pompa pneumatica non fosse realmente vuoto, ma uno spazio entro cui la densità

dell'aria veniva sensibilmente ridotta. In condizioni di *vero vuoto* si osserverebbe che il tempo di caduta di un grave non dipende dalla sua massa e, nelle medesime condizioni, non si udirebbe alcun suono.

Sappiamo che le speculazioni metafisiche e più prettamente teoriche erano bandite dalle sessioni di esercitazioni sperimentali tenute presso l'Istituto delle Scienze; ciononostante, è pressoché certo che queste prevedessero, al termine della conduzione dell'esperimento, un momento di confronto e discussione collettiva volto a costruire insieme l'*Explication* di Polinière.

Negli anni successivi simili esperimenti susciteranno l'interesse di altri fisici sperimentali, tra i quali il celebre costruttore di strumenti Pieter van Musschenbroek (1692-1761). Tutti giungeranno alla medesima conclusione, ovvero - come scrive Boyle [...] *that wheter or no the Air be the onely, it is at least, the principal medium of Sounds.*⁴².

3.3.3 Il fenomeno della combustione nel vuoto

Una comprensione del fenomeno di combustione in termini chimici propriamente detti sarà possibile soltanto in seguito al lavoro di Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) e richiederà, ai chimici e fisici del secolo successivo, uno sforzo notevole. Negli anni in cui presso l'Istituto delle Scienze Jacopo Beccari proponeva esperienze inerenti la neonata fisica pneumatica le interpretazioni di quella che, con ogni probabilità, è la più antica reazione chimica scoperta da parte dell'uomo erano molteplici; la maggior parte di esse si basava sulla presenza, all'interno delle sostanze combustibili, di un "principio comune", denominato *flogisto*. Con il progredire della chimica, ciascuna di esse si dimostrerà incompleta o fuorviante: la stessa teoria del flogisto, che aveva permesso di spiegare in termini spesso semplici e immediati un'ampia gamma di fenomeni, verrà infine superata.

La messa a punto e successiva diffusione di un apparato in grado di rarefare l'aria all'interno di un recipiente permise, già sul finire del XVII Secolo, di fare chiarezza su un aspetto importante, portando a individuare nell'aria un elemento indispensabile al processo di combustione. Si deve allo stesso Lavoisier la dimostrazione sperimentale del fatto che l'aria sia in realtà una miscela, composta per buona parte di azoto e ossigeno, e di come sia il secondo elemento a ricoprire il ruolo di comburente nella reazione di combustione.

La maggior parte dei manuali di fisica sperimentale redatti tra la seconda metà del XVII secolo e l'inizio del XVIII secolo e che trattano di pneumatica illustra il semplice esperimento che è possibile condurre per dimostrare come non possa sussistere fiamma in assenza di aria. Oltre a una macchina pneumatica, ciò che occorre è una candela, il cui stoppino sia lungo a sufficienza da poter escludere che l'estinguersi della fiamma sia imputabile all'esaurirsi di questo. Una volta accesa, la candela viene posta all'interno del recipiente e la pompa per vuoto azionata; stando al resoconto di Boyle, *within little more then half a minute after the Flame went out*⁴³.

L'esperimento veniva generalmente ripetuto posizionando la medesima candela sotto la campana di vetro della macchina pneumatica ma senza azionare la stessa, ovvero

⁴²Si veda il riferimento [8], p.208.

⁴³Si veda il riferimento [8], p.74.

senza rarefare l'aria. Si osservava che anche in questo caso la fiamma si spegne più celermente di quanto accade all'aperto - vale a dire, in assenza del recipiente; tuttavia, è necessario un intervallo di tempo sensibilmente maggiore rispetto a quanto osservato nelle condizioni dell'esperimento precedente.

Per dimostrare come l'aria *conferve & anime le Feu*, Polinière [41] suggerisce, in alternativa all'impiego di una candela, quello di carboni accesi: l'esito è il medesimo. Oltre allo spegnersi della fiamma, nel corso di simili esperimenti veniva monitorato il comportamento del fumo prodotto dalla combustione, che si osservava salire verso l'alto per poi ridiscendere una volta rarefatta l'aria.

Dal confronto tra i tempi necessari al sopraggiungere della morte della fiamma in assenza di aria e della morte di creature viventi per lo stesso motivo verranno messe in evidenza le prime similitudini e differenze tra i fenomeni di combustione e respirazione.

3.3.4 Le conseguenze dell'esposizione al vuoto sulla respirazione animale

Tra i *Physico-mechanical experiments* di Boyle ve n'è uno in particolare, indicato nel testo semplicemente come "Esperimento 41", che, per la sua spettacolarità e il suo essere immediatamente comprensibile anche da parte di un pubblico di non specialisti, costituiva spesso il momento centrale delle dimostrazioni pubbliche tanto in voga al secolo. Si tratta di un esperimento dall'esito drammatico, volto a dimostrare la necessità dell'aria per la vita degli esseri viventi. In Figura 3.24 si è riportato un dipinto, datato 1768, che ritrae le diverse reazioni del pubblico di fronte a una riproposizione dell'esperimento descritto per la prima volta da Boyle.

Il fatto che la scienza trovi posto anche all'interno di rappresentazioni di carattere artistico è indice di come, nel corso del Settecento, essa potesse considerarsi un vero e proprio fenomeno sociale, in grado di attrarre, stupefare o inorridire le masse. Oltre che a scopo puramente didattico, è probabile che un simile esperimento sia stato proposto anche a Bologna in contesti di dimostrazioni pubbliche a forte impronta spettacolare.

La conduzione dell'esperimento non presenta particolari difficoltà, una volta ottenute le cavie da impiegare. Nel caso di Boyle si trattava di uccelli quali allodole e passeri, oppure di topi; l'impossibilità di sperimentare l'effetto della privazione dell'aria su animali di dimensioni maggiori derivava dai limiti tecnologici dell'apparato, in particolar modo dalle dimensioni del recipiente nel quale l'aria veniva rarefatta. Il recipiente veniva aperto e al suo interno era collocato l'animale; a questo punto, dopo aver ancorato al meglio il contenitore in vetro al piatto della macchina, si procedeva all'azionamento della pompa - operando secondo i passaggi illustrati in precedenza (Figura 3.22). Spesso tali esperimenti erano suddivisi in due parti: l'azionamento della pompa pneumatica proseguiva fino a che l'animale non manifestava i primi segnali di sofferenza (perdita dei sensi), dopodiché l'aria veniva reintrodotta all'interno del recipiente per osservare come essa fosse sufficiente a una ripresa di coscienza da parte della creatura. Infine, questa veniva nuovamente sottratta e si perveniva così alla morte dell'animale. Era dunque fondamentale avere contezza dello scorrere del tempo, in modo tale da poter stabilire una correlazione tra la durata della privazione dell'aria e il sopraggiungere della morte (determinando così



Figura 3.24: Wright, J., *An Experiment on a Bird in an Air Pump*, olio su tela, 183×244 cm. 1768. National Gallery, Londra. L'artista ha scelto di fissare su tela le impressioni del pubblico nel momento in cui un pappagallo, intrappolato nel contenitore entro cui è stato prodotto il vuoto, spira a causa della mancanza di ossigeno.

l'intervallo temporale necessario al sopraggiungere della morte per asfissia).
 Scrive Boyle:

«And though upon the appearing of these Convulsions, we turn'd the Stop-cock, and let in the Air upon her, yet it came too late; whereupon, casting our eyes upon one of those accurate Dyals that go with a Pendulum, and were of late ingeniously invented by the Noble and Learned Hugenius, we found that the whole Tragedy had been concluded within ten Minutes of an hour, part of which time had been imploy'd in cementing the Cover to the Receiver.»⁴⁴

Il riferimento è all'olandese Christiaan Huygens (1629-1695), inventore dell'orologio a pendolo e di una sua versione "tascabile" dotata di una molla a spirale e di un bilanciere - verosimilmente quella impiegata negli esperimenti di trasmissione del suono nel vuoto (Sezione 3.3.2). Una misura accurata dello scorrere del tempo deve fare affidamento su un fenomeno che si ripete a intervalli regolari: la scoperta, da parte di Galileo Galilei, dell'isocronismo del pendolo rese possibile la messa a punto degli orologi a pendolo. Grazie alla loro precisione, di gran lunga superiore

⁴⁴Si veda il riferimento [8], p. 329.

ai modelli brevettati fino alla prima metà del XVII secolo, questi conobbero grande fortuna, venendo soppiantato soltanto nei primi anni del XX secolo dagli orologi al quarzo.

Nonostante Beccari venga ricordato anche per i suoi studi in materia di fisiologia, non pare che egli si sia dedicato alla comprensione del meccanismo di respirazione, argomento che ha suscitato invece l'interesse tanto di Boyle quanto di Polinière. Entrambi narrano, nei rispettivi testi, di come all'esperimento condotto per mezzo della pompa pneumatica abbia fatto seguito un'indagine mirata a svelare i meccanismi della respirazione animale, anche attraverso il tramite di dissezioni anatomiche.

3.3.5 Misura dell'elasticità dell'aria

«And though we were not provided of Instruments fit to measure the dilatation of Air any thing accurately, yet because an imperfect measure of it was more desirable than none at all, we devis'd the following Method as very easily practicable.»

- Boyle, R., [8], p. 53

I fenomeni di compressione e dilatazione dell'aria, la cui presentazione da parte di Beccari ha avuto avvio nel triennio precedente, sono conseguenza della sua elasticità, una proprietà messa in luce in seguito alla scoperta della materialità della stessa: l'esperimento torricelliano dimostra che l'aria ha un peso. Nonostante fin dall'antichità i filosofi abbiano riconosciuto all'aria un'importanza non secondaria, includendola tra gli elementi della natura, fino al XVII secolo essa non godette di particolare attenzione da parte degli uomini di scienza. I marinai sfruttavano la forza del vento e l'aria si rendeva visibile nella forma di bolle, prodotte ad esempio dall'aumento di temperatura nei liquidi; ma la convinzione che anche agli aeriformi potesse essere attribuita la denominazione di *sostanze* dovette attendere l'affermarsi di un modo nuovo di guardare al mondo, conseguenza della Rivoluzione Scientifica. Gli esperimenti presentati fino a questo punto chiariscono la necessità dell'aria per i fenomeni della respirazione, della trasmissione del suono e della combustione: una volta chiarito il suo ruolo è naturale passarne al vaglio le caratteristiche misurabili - tra le quali figura per l'appunto l'elasticità, ovvero la facilità con la quale l'aria si comprime e dilata.

Esperimenti mirati a dimostrare come l'aria godesse di tale proprietà erano stati messi a punto in Francia già negli anni immediatamente successivi all'esperimento torricelliano: lo stesso termine di *elasticità* di un fluido, reso celebre da Boyle, è stato in realtà introdotto dal fisico francese Jean Pequet (1622-1674), autore del testo *Experimenta Nova Anatomica* (1651)⁴⁵. È Gilles Personne de Roberval (1602-1675) l'autore dell'esperimento, poi riproposto da Boyle, per mezzo del quale è possibile visualizzare l'elasticità dell'aria; è verosimile che Beccari stesso lo abbia sottoposto all'attenzione del proprio pubblico, magari proprio come esperimento introduttivo alla trattazione delle proprietà dell'aria.

Questo primo esperimento non richiede l'ausilio della macchina pneumatica: esso consiste semplicemente nel prelevare la vescica di una carpa, svuotarla dell'aria in essa contenuta e, una volta sigillata, ancorarla alla sommità di un tubo torricelliano -

⁴⁵Sul modello del termine greco ἐλατήρ, egli ha coniato il sostantivo *elater*, il cui adattamento ha restituito l'aggettivo *elastic* e il corrispettivo italiano 'elastico'.

per l'occasione dotato di un bulbo di forma sferica, come mostrato in Figura 3.25. In seguito alla discesa del mercurio si osserva la progressiva dilatazione della membrana, a dimostrazione del fatto che un crollo di pressione risulta in un incremento del volume occupato dall'aria. Nel momento in cui veniva reimmessa aria all'interno dell'apparato, la vescica procedeva a sgonfiarsi, mostrando così la propria elasticità.

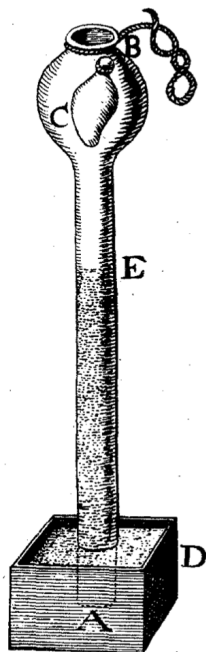


Figura 3.25: *Illustrazione dell'esperimento ideato da de Roberval. In C è raffigurata la vescica di carpa, mentre D rappresenta la vaschetta di mercurio nella quale è immerso il tubo torricelliano (A). Tratto da: Pequet, J., Experimenta Nova Anatomica, Parigi, 1651.*

In accordo a Giannini, questa e altre *esperienze addotte dai Francesi* vennero riprese in Italia dagli Accademici del Cimento negli anni successivi al 1657 [24]. È per il tramite diretto dei membri di tale Accademia oppure attraverso la propria corrispondenza privata che Beccari può essere venuto a conoscenza di simili esperimenti, considerando come i lavori di de Roberval non vennero resi pubblici se non sul finire del secolo scorso⁴⁶.

Servendosi della macchina boileana era possibile riproporre l'esperimento in una sua variante. La medesima vescica di carpa, svuotata, veniva fissata all'interno del recipiente entro cui la pompa era in grado di fare il vuoto; la progressiva rarefazione dell'aria causava una progressiva dilatazione dell'organo, effetto diretto della dilatazione dell'aria residua al suo interno. Come nell'esperimento originale, la re-immissione di aria all'interno del recipiente aveva l'effetto opposto, facendo tornare la vescica alle sue dimensioni originali.

Sulla scia di Boyle, Beccari può aver proposto anche esperimenti di natura quantitativa, mirati cioè a fornire una stima del grado di elasticità dell'aria. Era possibile, servendosi di un tubo graduato, quantificare l'aumento di volume dell'aria soggetta a una riduzione di pressione. La scala graduata presentava un numero variabile di

⁴⁶A proposito della "chiusura" dell'Académie des sciences si riprenda quanto discusso in Sezione 1.3.2.

tacche equispaziate e correva lungo tutto il tubo, eccezione fatta per il bulbo sferico posto a una delle sue estremità (l'altra era aperta). Dentro il bulbo è contenuta una bolla di aria, mentre il resto del tubo viene riempito di acqua e, dopo essere stato capovolto, immerso in una vaschetta anch'essa contenente acqua. L'intero apparato viene poi collocato sotto la campana di vetro della macchina pneumatica; la progressiva rarefazione dell'aria determina un aumento di volume della bolla, del quale è possibile ottenere una stima.

Boyle incontrò, nel corso delle proprie sperimentazioni in merito, diverse difficoltà tecniche che non gli permisero di corredare la propria opera più nota, i *New experiments physico-mechanicall, touching the spring of the air*, di tabelle atte a mostrare la relazione sussistente tra diversi valori di densità dell'aria e le pressioni ad essi associate, ovvero - in termini moderni:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (3.1)$$

dove P_1 rappresentava l'altezza del mercurio nel tubo torricelliano, P_2 la differenza tra l'altezza del mercurio in seguito all'espansione/contrazione dell'aria e l'altezza originale, V_1 il volume iniziale di aria contenuta nel tubo e V_2 il volume di aria finale.

Sul finire del XVII secolo tale relazione, che prenderà il nome di legge di Boyle-Mariotte, era ormai accettata dalla maggior parte della comunità scientifica, anche grazie alla dimostrazione indipendente prodotta da Edme Mariotte (1676). Per quanto motivo è ragionevole supporre che le esperienze inerenti l'elasticità dell'aria proposte da Beccari volessero essere una conferma della stessa - come peraltro accade nelle contemporanee sessioni di laboratorio, di scuola superiore o universitarie. A tal proposito si consideri anche il contenuto della Figura 3.13, nella quale sono illustrati i dati raccolti in un esperimento di questo tipo. Una tabella simile è riportata in Figura 3.26.

L'interpretazione dei dati riportati non è immediata, anche in ragione della concisa descrizione degli stessi fornita da Power nel testo originale, descrizione dalla quale emergono peraltro delle discrepanze rispetto al contenuto della tabella. Risulta molto prezioso in tal senso il contributo di Webster [48], grazie alla cui ricostruzione è possibile fare luce su una procedura sperimentale che, verosimilmente, non differisce molto da quella successivamente proposta da Beccari.

Per entrambe le località considerate (presentate nelle due colonne) vengono raccolte tre misurazioni, indicate all'interno delle righe. Con la sigla A E si indica quella che Power definisce *Ayr*, ovvero il volume di aria contenuto nel tubo a pressione atmosferica; A D si riferisce all'*Ayr Dilated*, ovvero al volume di aria dopo l'avvenuta espansione e, infine, B D indica il volume finale di mercurio nel tubo (dopo l'espansione dell'aria). Non viene specificata, in tabella, l'altezza iniziale della colonna di mercurio, ovvero lo standard di riferimento (denominato da Power *Mercurial Standard*); è tuttavia possibile risalire a questo dato consultando il testo che accompagna la presentazione dei dati sperimentali.

Un secondo problema riguarda la definizione delle unità di misura. Mentre le altezze delle colonnine di mercurio vengono presentate in pollici, i volumi di aria sono specificati in unità arbitrarie (*equal parts of spaces*): sempre dal testo apprendiamo, infatti, che l'altezza dei tubi è stata suddivisa, rispettivamente, in 102 e 31 parti uguali. Dalla sola consultazione della tabella, tuttavia, per effetto della parentesi

In the long Tube.

<i>At the top of the Hill.</i>	<i>At the bottom of it at Barlow.</i>	
A E — 50 15	— 50 15	} Equal parts of Spaces, Inches.
A D — 84 75	— 83 8	
B D — 11 26	— 11 78	

In the lesser Tube.

<i>At the top of the Hill.</i>	<i>At Barlow with Ayr.</i>	<i>At Barlow with Valley-Ayr.</i>
A E — 9	— 9	— 9
A D — 17 8	— 17 35	— 17 58
B D — 13 86	— 14 31	— 14 02

Figura 3.26: Misure dell'espansione dell'aria a diverse altitudini e servendosi di due diversi apparati. Barlow è l'attuale Barley (120 mslm), mentre con il termine Hill ci si riferisce alla cima di Pendle Hill (557 mslm); entrambe le località si trovano in Inghilterra. I tubi torricelliani impiegati misuravano, rispettivamente, 42 e 26 pollici (ovvero circa 106 cm e 66 cm). Tratto da Power, H. *Experimental philosophy*, Londra, 1663, p. 129.

graffa si è portati a pensare che ciascuna di tali suddivisioni corrisponda a un pollice - quando tale parentesi avrebbe dovuto comprendere invece soltanto le prime due righe. Si osservi come, al fine di verificare l'adesione dei dati sperimentali alla legge 3.1, non sia necessario indagare il fattore di conversione tra l'unità di misura arbitraria (impiegata per i volumi di aria) e il pollice, trattandosi di un fattore moltiplicativo comune a entrambi i membri dell'equazione. L'accordo con la relazione teorica è buono, con una discrepanza percentuale che non supera il 3%.

L'impostazione che emerge dalle poche righe che costituiscono un compendio degli argomenti affrontati nel corso delle esercitazioni di pneumatica è vicina a quella di un corso universitario che al giorno d'oggi verrebbe indicato con l'attributo di *generale*: tra tutti gli esperimenti che è possibile condurre con la macchina pneumatica vengono selezionati gli *illustriora*, ovvero i più celebri, e i *nova*, cioè i più recenti (Figura 3.18). In altri termini, non sembra possibile individuare una linea di indagine continuativa, né la scelta di una tematica ben definita; tale impostazione è in linea con quanto discusso a proposito dell'organizzazione generale dell'Istituto (Sezioni 1.3.1, 3.1.3). Il fatto che l'illustrazione della struttura e del funzionamento della macchina pneumatica sia ripetuta in due anni scolastici successivi⁴⁷ porta a pensare che lo stesso accadesse per gli esperimenti, parte dei quali veniva riproposta a distanza di tempo. Questa impostazione antologica è particolarmente evidente

⁴⁷Come si legge in Figura 3.18 e in Figura 3.19.

se si prende in esame il triennio dedicato alla pneumatica; a un esame più attento è possibile notare come il medesimo spirito sia sotteso anche alle esercitazioni di termometria e di magnetismo - e, con ogni probabilità, comune anche agli anni successivi a quelli presi in esame nel presente lavoro.

Limitandosi a stabilire un macroargomento (nella forma di un'area di interesse) era possibile venire incontro a due esigenze distinte: da un lato, riproporre più volte una stessa dimostrazione assicurava la possibilità a una più ampia fetta di pubblico di apprendere e, dall'altra, l'assenza di un vero e proprio programma di lavoro consentiva eventuali digressioni motivate da richieste particolari che il pubblico aveva, in accordo alle Costituzioni dell'Istituto, facoltà di avanzare al docente.

3.4 Esperimenti di magnetismo (1721)

Di dimostrazioni inerenti le proprietà magnetiche della materia Jacopo Bartolomeo Beccari si occupò per un periodo di tempo relativamente breve, ovvero la durata di un solo anno scolastico. Come si apprende dalla Figura 3.27, tra il 1720 e il 1721 *il professore di Fisica dimostrò per mezzo di esperimenti le principali proprietà dei magneti*.

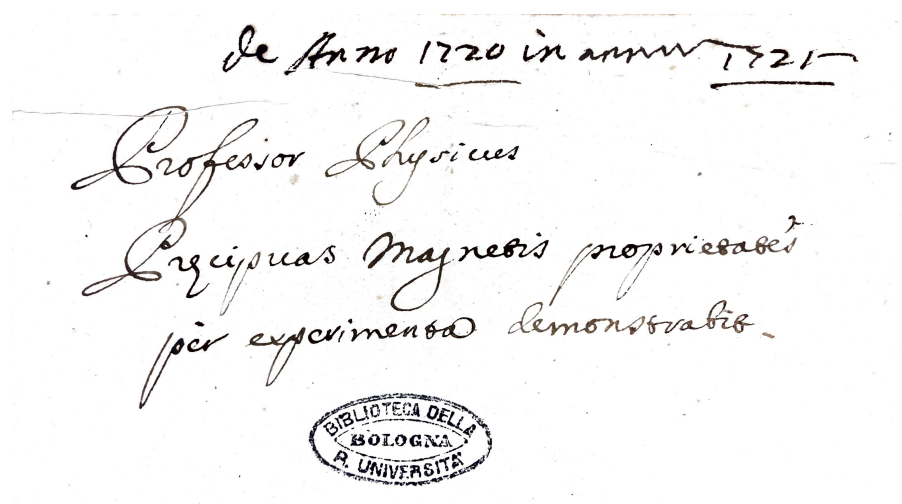


Figura 3.27: *De Anno 1720 in anno 1721 Professor Physicus Precipuas magnetis proprietates per experimenta demonstrabit*. Tratto da: B.U.B., Ms. 4186/3, fascicolo n. 32, Memorie relative all'Istituto di Bologna.

Già a partire dall'anno successivo, infatti, presero avvio gli studi di Meccanica⁴⁸.

Sicuramente Beccari aveva letto e conosceva il *De Magnete* di William Gilbert⁴⁹ (1600), un trattato che ha segnato l'avvio delle indagini sistematiche in materia di magnetismo e di elettricità. *De Magnete* è, in effetti, anche il titolo di uno scritto dello stesso Beccari, presentato nel gennaio del 1722 all'Accademia bolognese delle

⁴⁸Come si apprende da B.U.B., Ms. 4186/3, fascicolo n. 32, *Memorie relative all'Istituto di Bologna*. Il foglio successivo a quello riportato in Fig. 3.28 attesta che [...] *Elementa Doctrinae de viribus et motu corporum per experimenta tradet*.

⁴⁹Al contenuto del trattato si è accennato nella Sezione 1.1.1.

Scienze. In aggiunta a questa preziosa fonte - presente in forma manoscritta nell'archivio dell'Accademia delle Scienze⁵⁰ - si sono reperite alcune note spese stilate da Vittuari, nelle quali viene fatta menzione di magneti artificiali⁵¹. Non si tratta di commissioni, ma di ricevute attestanti le spese effettuate per l'acquisto dei materiali: è pertanto possibile concludere che tali apparati fossero a disposizione di Beccari per le proprie dimostrazioni.

una grossa calamita	2	—
quattro pezzi grossi di ferro di 1.4	1	9
due libbre di spago di lino	—	8
1.6 acciaio tirato in lamina	—	15
due assi pievoli da calamita	—	10
una calamita artificiale fatta di più pezzi d'acciaio messi insieme con filo a filo	5	—
altra fetta da calamita più grande	—	—
colla di	—	—

Figura 3.28: Apparati acquistati tra il 1720 e il 1721 per la Stanza di Fisica dell'Istituto e inerenti esperimenti di magnetismo. Le tre colonne di destra riportano il prezzo di ciascuno strumento; secondo il sistema monetario vigente all'epoca, 1 £ (prima colonna) corrispondeva a 20 denari (seconda colonna). La terza colonna era probabilmente riservata ai prezzi in denari (240 denari = 1 £); è interessante osservare come nessuno degli apparati avesse tuttavia un prezzo tanto esiguo. Tratto da: A.A.S.B., Titolo II, Memorie, 6. Antico Istituto di Bologna, Fascio II.

Sappiamo poi, da un inventario contenuto sempre nel fondo archivistico dell'Accademia delle Scienze⁵² e mostrato, per la sezione di interesse, in Figura 3.29, che la Stanza di Fisica disponeva anche di armature per magneti naturali.

Confrontando gli apparati a disposizione dell'Istituto con lo stato dell'arte del magnetismo all'inizio del Settecento, con le pubblicazioni in merito e, infine, con l'indicazione contenuta in Figura 3.27, è possibile avanzare l'ipotesi che le esperienze condotte nel corso dell'anno 1720-1721 riguardassero, essenzialmente, due aspetti del magnetismo (strettamente interconnessi tra loro): da un lato, lo studio dei magneti era finalizzato alla comprensione della natura della forza ad essi associata e dei suoi effetti sugli altri corpi - quali l'ago di una bussola -. Dall'altro, considerare sia magneti naturali che artificiali e, anche, "rinforzati" per mezzo di armature aveva lo scopo di valutare - sull'esempio di Galilei - l'entità della forza magnetica. L'impiego di calamite armate è attestato anche all'interno del già citato *De Magnete*⁵³, dove si trovano anche un riferimento al modello di Terra proposto da Gilbert e una definizione dei poli magnetici.

⁵⁰E, precisamente, in A.A.S.B., Titolo II, *Memorie*, 1690-1723.

⁵¹In A.A.S.B., Titolo II, *Memorie*, 6. Antico Istituto di Bologna, Fascio II.

⁵²V. nota precedente.

⁵³Il riferimento qui è al manoscritto di Beccari.

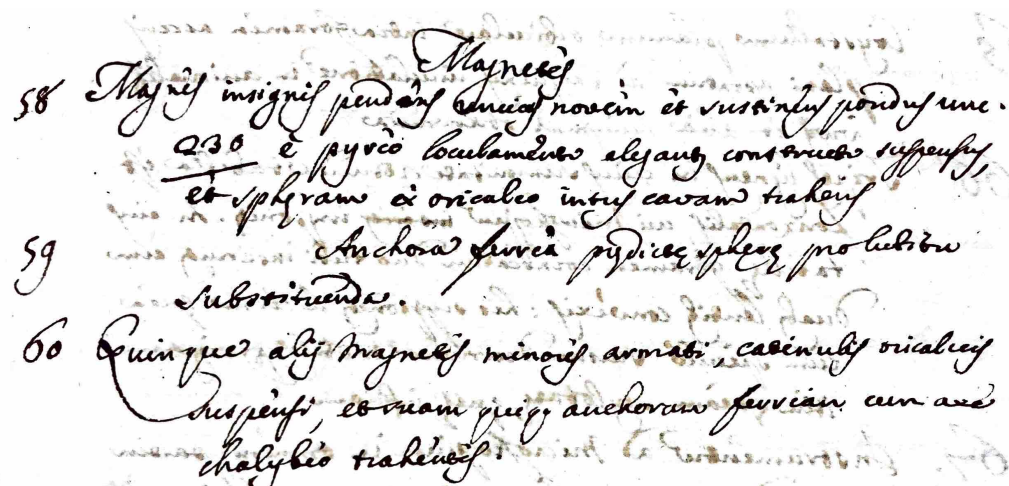


Figura 3.29: Sezione dedicata al magnetismo dell'Elenchus rerum quae in Conclavi experimentis Physicis destinata observantur. Tratto da: A.A.S.B., Titolo II, Memorie, 6. Antico Istituto di Bologna, Fascio II.

3.4.1 Calamite naturali, artificiali e armate

È lecito supporre che l'introduzione alle proprietà magnetiche della materia avvenisse per mezzo dell'analisi del comportamento di materiali diversi. Le calamite presenti in natura sono accomunate dall'elevato contenuto di *magnetite*, un minerale noto già nell'antichità proprio per le sue proprietà magnetiche⁵⁴. Il giacimento di magnetite più prossimo a Bologna è localizzato sull'isola d'Elba, dalla quale lo stesso Galilei aveva ottenuto alcuni esemplari del minerale per i propri studi. Verosimilmente, le prime esercitazioni in merito potevano concentrarsi attorno allo studio di tali calamite naturali, mostrando, ad esempio, come l'attrazione esercitata da queste venisse subita soltanto da alcuni materiali (principalmente ferro e sue leghe).

Tra i magneti naturali deve essere annoverata la Terra, pensata da Gilbert come una grande calamita di forma sferica. A tale modellizzazione si perviene nel Capitolo XVII del primo libro del *De Magnete*, procedendo per analogia e convincendosi, infine, per mezzo di esperimenti condotti impiegando una *terrella*, ovvero una calamita di forma sferica che assurge a modello per il nostro pianeta. È probabile che, presso l'Istituto delle Scienze, anche Beccari mostrasse l'analogia tra la Terra e un magnete attraverso semplici dimostrazioni, quali quella esemplificata in Figura 3.30.

Da questa si osserva come la maniera in cui l'ago di una bussola si orienta rispetto ai poli geografici terrestri coincide con l'orientazione che lo stesso assume se posti in prossimità di una calamita. La ragione per cui l'ago di una bussola indica (con buona approssimazione) il nord geografico è, dunque, riconducibile al fatto che la Terra stessa è un magnete, dotato di un polo nord e di un polo sud.

Già Gilbert aveva compreso (sebbene da un punto di vista puramente macroscopico) il fenomeno della magnetizzazione indotta, per cui anche materiali diversi dalla

⁵⁴Il nome deriva dal greco Μάγνης, designazione della città di Magnesia ad Sipylum, nell'odierna Turchia, che vantava ingenti depositi di magnetite. Il termine *magnetite* è in uso soltanto a partire dalla seconda metà dell'Ottocento: nel testo di Gilbert viene menzionata come *magnes* oppure, più semplicemente, come *lapillus*.

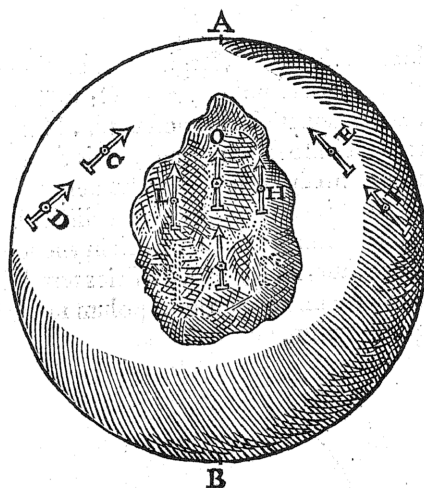


Figura 3.30: Illustrazione tratta da [25], p. 236. Con le lettere A e B sono indicati, rispettivamente, il polo nord e il polo sud di una calamita. C, D, E ed F rappresentano degli aghi magnetici i quali, posizionati sopra la calamita, puntano al polo nord; nel centro della figura vi è un pezzo di materiale ferromagnetico, anch'esso attratto dal polo nord della calamita.

magnetite possono acquisire proprietà magnetiche dopo essere stati posti a contatto con essa. Nel Capitolo XVI del primo libro del *De Magnete*⁵⁵ si legge:

«Nam si unico lapillo, mille feramenta tetigeris in usum navigantium, nihilo infirmius ferrum allicit magnes ille, quam antea; eodem lapide librae unius pondere, mille libras ferri in aere suspendere quisquam poterit. Nam si quis in sublime tanti ponderis, tot ferros clavos parietibus fingeret, totidemque clavos secundum artem magnete tactos illis apponeret, omnes unici lapilli viribus in aere pendere cernerentur. Ita non est haec solummodo magnetis actio, labor, aut dispendium; sed ferrum quod est extractum a magnete quiddam, & magnetis in metallum conflatura & ab illo vigorem concipit, & magneticas potentias vicinia confirmat, ex quacunque vena fuerit, attollit vires insitas suas praesentia & contactu lapidis, vel solidis interiacentibus corporibus.»

Se, con un pezzo di magnetite, magnetizzi mille aghi da bussola impiegati per la navigazione, quella magnetite non attrae con minor forza il ferro rispetto a quanto faceva prima; con un'unica pietra del peso di una libbra chiunque può sospendere in aria mille libbre di ferro. Se qualcuno dovesse conficcare nel muro un certo numero di chiodi del peso complessivo di mille libbre, e applicare a questi un ugual numero di chiodi adeguatamente magnetizzati per contatto con un magnete naturale, i chiodi rimarrebbero sospesi a mezz'aria grazie alla forza di un'unica pietra. Perciò questa non è l'azione, o lo sforzo, o la spesa della magnetite soltanto, in quanto il ferro, che [è un qualcosa che] viene estratto dalla magnetite, una trasformazione della magnetite in metallo, e che ottiene forza dalla magnetite e - da qualsiasi minerale grezzo derivi - con la propria vicinanza potenzia il potere magnetico della magnetite, al tempo stes-

⁵⁵Si veda il riferimento [25], p. 38.

so aumenta la propria forza innata grazie alla prossimità con la magnetite e al contatto con essa, anche nel caso in cui altri corpi solidi si frapponessero tra loro.

L'esplorazione delle proprietà magnetiche della materia può dunque beneficiare di una seconda categoria di magneti, quelli che potremmo definire *artificiali*. Magnetizzando una barretta in ferro è possibile, ad esempio, osservare come essa acquisti la capacità di trattenere la limatura di ferro (Figura 3.31).

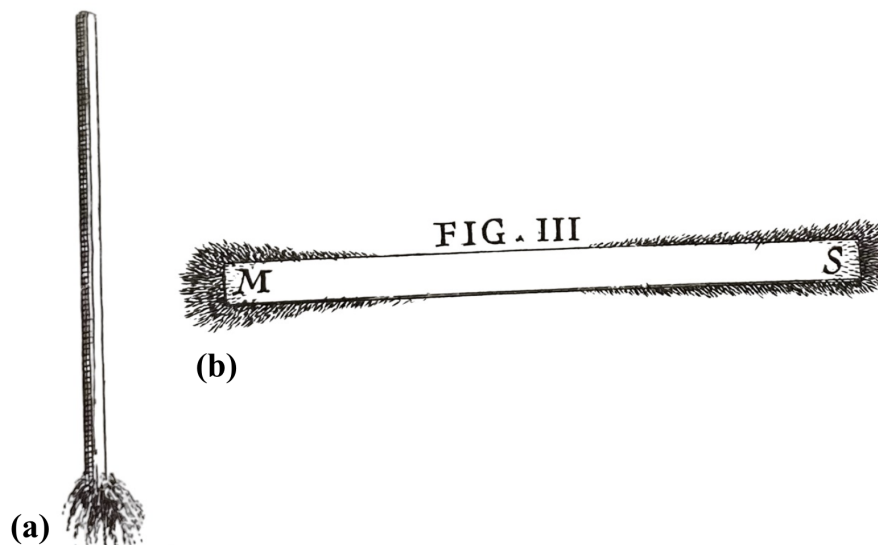


Figura 3.31: (a) Una barretta di materiale ferromagnetico tiene sospesa della limatura di ferro, ancorata alla sua estremità inferiore. (b) Un secondo magnete artificiale, le cui proprietà sono state dimostrate nuovamente disponendovi attorno della limatura di ferro, che viene attratta dai poli. Qui M indica il polo sud (meridione), mentre S il polo nord (septentrione). Tratte dal *De Magnete* di Jacopo Bartolomeo Beccari, conservato in A.A.S.B., Titolo II, Memorie (1690-1723); A-L.

Disponendo di calamite di materiale e dimensioni diverse e che potevano essere realizzate nelle forme più disparate - dal classico parallelepipedo alla sfera -, il passo successivo consiste nell'operare un confronto tra le rispettive *virtù magnetiche*.

A questo servivano i magneti armati citati in Figura 3.29: si tratta di calamite che venivano “incapsulate” in strutture di ferro di modo da aumentarne la *virtù*. In termini moderni si osserverebbe che questa pratica concentra le linee del campo magnetico.

Se l'ago di una bussola permetteva di visualizzare la presenza o meno di un'azione magnetica, la sua entità veniva saggiata per mezzo della sospensione di magneti di varia natura ai quali venivano poi avvicinati corpi di massa nota e via via crescente, allo scopo di determinare il peso massimo sollevabile. La tecnica e gli effetti dell'armatura sono descritti in maniera chiara sempre da Gilbert⁵⁶:

⁵⁶Si veda il riferimento [25], p. 86

«Concava lamella rotunda latitudinis digiti, applicatur convexae magnetis superficiei polari, & artificiose connectitur. [...] Ferrum sit optimum aciarum, levigatum, splendes, & aequale. Tali instrumento magnes qui antea tantum uncias 4. ferri sustulit, nunc uncias 12. attollet.»

Una semisfera concava di ferro dolce, di diametro pari a un dito, è applicata sulla superficie di una calamita e fissata a dovere. [...] Il ferro dev'essere di prima qualità, liscio, levigato e senza imperfezioni. Dotato di questo accorgimento, un magnete che prima sollevava soltanto 4 once ora solleverà 12 once.

Esperimenti di questo tipo venivano sicuramente condotti presso l'Istituto, come dimostra il riferimento alle 230 once sostenute dal *magnes insignis* citato in Figura 3.29. In termini contemporanei, si parla di una calamita in grado di sollevare una massa superiore ai 6 kg⁵⁷. Per quanto possa sembrare un carico ingente, risultati vicini a questo sono attestati già da Benedetto Castelli nel suo *Discorso sopra la calamita*, dove si legge di *un pezzo di calamita di sei once solamente armata di ferro con esquisita diligenza dal Sig.r Galileo e donata al Ser.mo Gran Duca Ferdinando, la quale tiene sospese quindici libbre di ferro lavorato in forma di sepolcro*⁵⁸. Una libbra corrispondeva a 12 once, da cui si apprende come tale magnete potesse sollevare un peso di quasi 5 kg.



Figura 3.32: Un esempio di calamita armata risalente al primo decennio del XVIII secolo, oggi conservata presso il Museo Galileo di Firenze (Inv. 2431).

È interessante osservare che, in quanto a potere magnetizzante, una calamita disarmata e una armata sono perfettamente equivalenti: esperimenti potrebbero essere stati proposti da Beccari anche al fine di convincersi di ciò. È sufficiente disporre di due pezzi di ferro tra loro quanto più possibile simili e procedere alla magnetizzazione in un caso per contatto con un magnete armato e, nell'altro, servendosi di

⁵⁷Un'oncia corrispondeva infatti, di media, a circa 30 g. 12 once fanno una libbra.

⁵⁸*Discorso sopra la calamita*, conservato presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, in Ms. Galil. 111, c. 203v.

un magnete non armato: si vedrà che i due magneti artificiali hanno acquisito la medesima virtù magnetica.

3.4.2 *Rompere l'attività magnetica?*

Una volta affrontato il capitolo relativo all'introduzione alle proprietà magnetiche della materia, è lecito supporre che si passasse allo studio degli effetti di un magnete sui corpi circostanti, mostrando come le sostanze che non rispondono al campo magnetico generato dalla calamita oltre a non essere attratte da questa non ne perturbano la *virtù* (ovvero, in termini moderni, il campo magnetico).

La bussola era uno strumento piuttosto comune all'epoca, per cui sicuramente la Stanza di Fisica dell'Istituto disponeva di un simile apparato; come di sovente si fa nelle lezioni contemporanee, questa può essere impiegata come *sonda* per il campo magnetico. Era noto già da lungo tempo il suo funzionamento e, in seguito alla pubblicazione del *De Magnete*, risultava chiara la proprietà per cui un ago magnetico, libero di ruotare su di un perno, indica il polo nord geografico.

Una volta assodato come l'ago di una bussola fornisca un'indicazione della virtù magnetica circostante, si può osservare come una qualsiasi calamita posta in prossimità dello stesso sia sufficiente a modificarne l'orientazione, in modo tale che esso non punti più in direzione del polo nord ma, al decrescere della distanza che lo separa dalla calamita, tenda ad allinearsi sempre più precisamente con questa. È questa la situazione rappresentata in Figura 3.33, dove con la lettera E si è indicata la direzione nella quale si trova il nord geografico⁵⁹; nel momento in cui in A viene collocata una calamita, tuttavia, si assiste alla deviazione dell'ago magnetico, che punta ora verso F.

Dopo una verifica sperimentale dell'aumentare dell'angolo di deviazione della bussola al ridursi della distanza dalla calamita è possibile indagare per via sperimentale una questione ulteriore, di grande interesse e già affrontata dall'Accademia del Cimento [1]. Nello specifico, ci si può chiedere se - ed, eventualmente, in quale misura - l'interposizione di materiali diversi tra l'ago magnetizzato e la calamita comporti una qualche variazione nella virtù magnetica della prima. In questo senso la bussola è impiegata come sonda del campo magnetico⁶⁰, proprio come al giorno d'oggi vengono introdotti i magneti di prova per delineare le linee di forza del campo. A tale scopo, gli accademici del Cimento suggerivano di impiegare dell'*argentovivo* - ovvero mercurio -, versato in vasi di vetro posti tra la calamita e la bussola; in alternativa, i recipienti potevano essere riempiti di sabbia o limatura di metalli - ad esclusione di ferro e acciaio. L'esito di tali esperimenti era sempre il medesimo: la direzione in cui l'ago della bussola punta non viene modificata in alcun modo. Erano piuttosto comuni anche le prove con l'*acquarzente*, ovvero l'alcool, in quanto sostanza altamente infiammabile e alla quale si dava fuoco proprio al fine di dimostrare che nemmeno la fiamma è in grado di cancellare la virtù magnetica della calamita. Una leggera modifica dell'assetto sperimentale permetteva di mostrare come l'azione magnetica non venisse perturbata nemmeno dall'interposizione di più oggetti, uno

⁵⁹È noto (e lo era già ai tempi di Gilbert) come il polo nord geografico non coincida esattamente con il polo nord magnetico - che, peraltro, a rigore dovrebbe chiamarsi polo *sud* magnetico, dal momento che attrae il polo nord della bussola.

⁶⁰Il termine *campo* si è affermato in realtà successivamente sia al lavoro di Gilbert che all'attività Beccari.

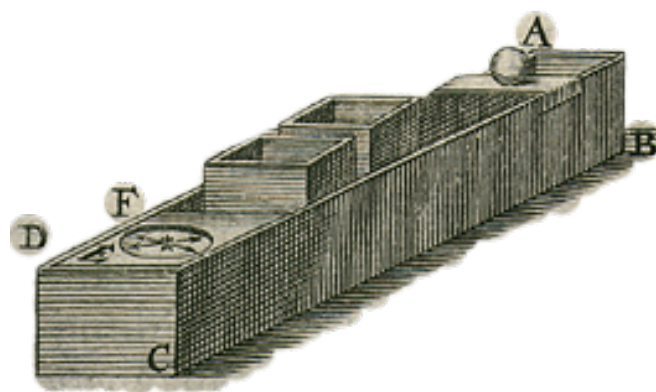


Figura 3.33: A un'estremità del supporto in legno ABCD è collocata una calamita di forma sferica; in corrispondenza dell'estremità opposta si trova invece un ago magnetico. La porzione centrale della cassetta è cava e si osservano due recipienti. Tratto da [1], p. 221, Fig. I.

appresso all'altro, tra la calamita stessa e l'ago magnetico; era possibile, ad esempio, collocare la calamita sotto un gran numero di piatti d'oro e osservare come un ago magnetico posto invece sulla sommità di tale collezione si orientasse sempre e comunque secondo i moti di questa.

Nemmeno i fluidi ostacolano o alterano la forza magnetica, come si evince dalla ripetizione degli esperimenti presentati in acqua. La sola differenza che è possibile riscontrare in tal senso riguarda l'*efficacia* dell'azione: per effetto della forza di Archimede, infatti, in acqua il peso di un corpo diminuisce rispetto al peso in aria, rendendo possibile il "sollevamento" di corpi che in condizioni standard (in aria) non aderirebbero alla calamita e, in generale, riducendo la distanza alla quale il corpo deve essere posto perché la calamita lo attiri a sé.

Un'ulteriore variante dell'esperimento discusso veniva condotta sospendendo un ago magnetico all'interno del recipiente di una macchina pneumatica: si osservava in tal modo come la distanza alla quale esso veniva attratto da una calamita non variasse rispetto a quella determinata in condizioni di pressione atmosferica.

Sono diversi e molteplici gli esperimenti che Beccari ha potuto proporre per favorire la comprensione dei fenomeni magnetici mantenendosi a un livello macroscopico; l'indagine condotta porta alla conclusione che buona parte di questi siano stati mutuati dal primo libro del *De Magnete* di Gilbert [25] e dall'esperienza dell'Accademia del Cimento [1].

Un problema di natura pratica per la soluzione del quale una comprensione profonda del comportamento dei magneti costituisce condizione necessaria era quello relativo alla declinazione magnetica. Nonostante la diffusione della bussola sia attestata, in Europa, già a partire dal XII secolo, è con il XVI secolo che si inizia a intuire come l'ago dello strumento non indichi esattamente il nord geografico; in

altri termini, il polo nord magnetico e il polo nord geografico non coincidono esattamente. Per potersi orientare con precisione (soprattutto in mare) è necessario conoscere le caratteristiche di tale declinazione, in modo da poter opportunamente correggere l'indicazione della bussola. Nel periodo che Beccari dedicò ad illustrare le proprietà magnetiche della materia molte delle caratteristiche del magnetismo terrestre erano state ormai chiarite: lo studio sul campo della declinazione magnetica aveva permesso la realizzazione di mappa isogoniche ed era noto anche come l'angolo di declinazione non fosse fisso, ma variasse nel tempo. Ciononostante, gli strumenti in uso ai marinai erano spesso di scarsa qualità e poveramente realizzati: questioni quali la variazione diurna della declinazione magnetica rimasero a lungo ignote proprio a causa dei difetti della strumentazione. Non è da escludere, dunque, che all'interno dell'Istituto si spingesse per un'attenzione maggiore alla qualità dei materiali, sempre in ragione dell'ideale di pubblica utilità che la scienza avrebbe dovuto perseguire.

Conclusioni

Nonostante l'enorme distanza che separa l'originale progetto marsiliano dalla sua realizzazione effettiva nella forma dell'Istituto delle Scienze - quantomeno nella prima fase, ovvero quella analizzata nel presente lavoro - esso ha rappresentato un punto di riferimento imprescindibile per la cultura scientifica dell'intero continente durante tutto il Settecento. E questo grazie certamente alla personalità di Marsili, alla sua intraprendenza non meno che alla sua capacità di mediazione, alla sua perseveranza non meno che al suo buon nome. Non si incappi tuttavia nell'errore di collocare sullo sfondo - o, addirittura, dimenticare - gli scienziati che operarono all'interno dell'Istituto, permettendo la realizzazione dell'ambizioso progetto. Dal momento dell'inaugurazione di quest'ultimo, la figura di Marsili passa in secondo piano per lasciare il palco a personalità del calibro di Jacopo Bartolomeo Beccari, tradizionalmente ricordato come *l'uomo del glutine* ma che, in questa sede, vogliamo recuperare nella veste di primo docente di fisica sperimentale in territorio italiano. Nel Settecento Bologna non gode più del prestigio che la aveva resa celebre durante il Medioevo e fino a tutto il Rinascimento. La produzione culturale europea si è spostata altrove; e Bologna, che sull'Università poggiava la propria fama, diviene una zona periferica. In un simile contesto, l'Istituto delle Scienze si presenta quasi come un miracolo, volendo e riuscendo a salvare la comunità scientifica bolognese dal completo isolamento scientifico.

Su un piano più ampio, un ruolo fondamentale nel permettere lo sviluppo delle scienze entro la cornice bolognese è stato giocato dalla ricerca di connessioni con l'estero. A fronte di una classe dirigente - senatoria quanto ecclesiastica - che manifestava un atteggiamento di forte chiusura ideologica, la neonata comunità scientifica ha saputo aprirsi e accogliere gli influssi esterni, riconoscendo la propria arretratezza e credendo nella collaborazione come valido strumento per superare le proprie difficoltà.

Oggigiorno più che mai quello della ricerca scientifica è un campo che, per il proprio avanzamento, richiede la collaborazione di più nazioni. Lo stesso potrebbe e dovrebbe valere per la ricerca in storia della scienza: se è comprensibile che ciascuna nazione o realtà abbia a cuore in maniera particolare i propri simboli della scienza, divengono in questo periodo quanto mai auspicabili un confronto e un'indagine che coinvolgano anche le realtà con cui quella personalità è entrata in contatto, realtà che la hanno ispirata e alle quali ha fornito, con il proprio operato, ispirazione.

La sempre crescente specializzazione richiede inoltre che i progetti di ricerca siano frutto della collaborazione di più gruppi. Nel contesto del presente lavoro, indirizzi di ricerca futuri potrebbero beneficiare della cooperazione tra il dipartimento di scienze fisiche e quello di studi classici, così da riuscire a produrre una traduzione integrale dei manoscritti inediti di Beccari, a partire dal *De Magnete*. Occorrerebbe

prendere le mosse da un'analisi dell'autenticità del documento, mediante uno studio grafologico che ne confermi o smentisca la paternità - della quale lo stesso Pini non è convinto [40]. Sebbene a una prima lettura non paia che il documento riferisca dettagli aggiuntivi in merito all'attività didattica di Beccari, esso possiede un valore intrinseco come fonte primaria relativa alla ricerca condotta all'interno dell'Istituto nei suoi primi anni di attività. Una comprensione più profonda del testo è purtroppo preclusa, in questa sede, dalla forma nella quale si presenta. Con ogni probabilità, si tratta di una bozza della dissertazione tenuta da Beccari presso l'Accademia; può darsi che sia il risultato di appunti presi durante l'esposizione stessa. Sono frequenti le abbreviazioni e le troncature; alcune di queste sono state decifrate - anche con l'ausilio di manuali appositi⁶¹ -, mentre altre risultano tuttora oscure e necessiterebbero dell'intervento di esperti in materia. Leggere e comprendere la grafia dei manoscritti risalenti al XVIII secolo richiede specifiche competenze nel campo della paleografia, in quanto questi documenti sono spesso corredati di simboli e abbreviazioni caratteristiche del periodo e dell'ambiente culturale specifico.

Dopo una doverosa analisi dello stato dell'arte della Fisica a cavallo tra il Sei e il Settecento, il presente lavoro ha fornito una ricostruzione del contesto accademico italiano, confrontandolo con le realtà estere e individuando le connessioni che hanno permesso il fiorire dell'Istituto delle Scienze. La letteratura di ricerca in materia è stata interrogata e rielaborata proprio allo scopo di rendere maggiormente evidenti tali collegamenti, sia a livello di realtà quali le diverse Accademie sia a livello personale, mettendo in luce la corrispondenza privata tra singoli scienziati. Il cuore della ricerca è rappresentato dal contenuto del terzo capitolo, nel quale si è fornita una ricostruzione degli argomenti affrontati da Beccari nei primi anni di docenza presso la Camera di Fisica dell'Istituto.

Degli strumenti che Beccari aveva a propria disposizione, elencati nell'*Instrumentum donationis* - del quale si è fornita una traduzione dal latino -, soltanto una minima porzione è stata menzionata nella presentazione degli esperimenti didattici. Non trova spazio, nel contesto delle esercitazioni di termologia, pneumatica e magnetismo, l'ampia collezione di lenti e microscopi donata alla Camera di Fisica; questi e altri apparati erano impiegati da Beccari con fini di ricerca, principalmente nel campo delle scienze chimiche e naturali.

Eventuali progetti di ricerca futuri richiedono, come già anticipato, la collaborazione di più dipartimenti. Se l'interesse è quello di perseguire il filone di indagine inaugurato negli Anni Settanta del secolo scorso relativamente all'attività dell'Istituto delle Scienze bolognese nel XVIII secolo, un punto di partenza può essere l'analisi dettagliata del materiale manoscritto conservato presso i principali Archivi della città; una ricerca circoscritta alla figura di Jacopo Bartolomeo Beccari ha portato alla luce i due manoscritti sopra menzionati, che potrebbero costituire un punto di partenza. D'altra parte, rimangono aperti alcuni quesiti relativi all'attività didattica del fisico e chimico bolognese: in relazione agli esperimenti di pneumatica proposti, nella minuta riportata in Figura 3.19 si legge *nondum tentata exhibere*. Beccari disponeva dunque di un repertorio di esperimenti suoi, non adattati da manuali preesistenti; non è stato rinvenuto alcun riferimento scritto agli stessi, ma anche questa direzione di ricerca potrebbe riservare sorprese interessanti.

⁶¹Si veda, ad esempio, il *Lexicon Abbreviaturarum* redatto da Adriano Cappelli (Lipsia, 1928), disponibile online per libera consultazione.

Riferimenti

- [1] ACCADEMIA DEL CIMENTO, *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento sotto la protezione del Serenissimo Principe Leopoldo di Toscana e descritte dal Segretario di essa Accademia*, Firenze, 1666
- [2] BALDINI, U., *L'attività scientifica nel primo Settecento*, in "Storia d'Italia, Annali 3", Torino, Einaudi, 1980
- [3] BELLÌ, S., *L'Astronomia per la Geografia: il caso Marsili*, in Memorie della Società Astronomia Italiana, Vol. 66, p. 903
- [4] BELLÌ, S., *Le camere di fisica dell'Istituto delle scienze di Bologna (1711-1758)*, Tesi di dottorato in Storia della scienza, VII ciclo, Università degli studi di Bari, 1994. Tutor: Giuliano Pancaldi (Università di Bologna)
- [5] BELLONE, E., *Storia della fisica moderna e contemporanea*, Utet Libreria, 1990
- [6] BETTINI, A., *Da Talete a Newton - La fisica nelle parole dei giganti*. Bollati Boringhieri, 2019
- [7] BIANCONI, G., *Alcune lettere inedite del gen. conte Luigi Ferdinando Marsili al can. Trionfetti*, Bologna, Sassi, 1849
- [8] BOYLE, R., *New experiments physico-mechanicall, touching the spring of the air, and its effects (made, for the most part, in a new pneumatical engine): written by way of letter to the Right Honorable Charles, Lord Vicount of Dungarvan, eldest son to the Earl of Corke*, Oxford, 1660
- [9] CAMUFFO, D., DELLA VALLE, A., BECHERINI, F., *Instrumental and Observational Problems of the Earliest Temperature Records in Italy: A Methodology for Data Recovery and Correction*, 10.20944/preprints202308.0442.v1., 2023
- [10] CAVAZZA, M., *Accademie Scientifiche a Bologna. Dal "Coro Anatomico" agli "Inquieti" (1650-1714)*, in Quaderni storici , dicembre 1981, Vol. 16, No. 48 (3), Accademie scientifiche del 600; Professioni borghesi (dicembre 1981), pp. 884-921
- [11] CAVAZZA, M., *Settecento inquieto. Alle origini dell'Istituto delle Scienze di Bologna*, Bologna, Il Mulino, 1990
- [12] CORSON, D. W., *Pierre Poliniere, Francis Hauksbee, and Electroluminescence: A Case of Simultaneous Discovery*, in Isis, Winter, Vol. 59, No. 4, pp. 402-413, 1968

- [13] DE LA HIRE, G.-P., *Sur la condensation et dilatation de l'air*, in Mémoires de mathématique et de physique de l'Académie royale des sciences, 1705
- [14] DE VINCENZI, M., FASANO, G., *Storia del termometro per le misure ambientali: dai termoscopi ai sensori elettronici*, in Proceedings of the 4th International Conference History of Engineering , Atti del 8° Convegno Nazionale Storia dell'Ingegneria. Napoli, 2020
- [15] DESCARTES, R., *Oeuvres de Descartes*, ed. Charles Adam and Paul Tannery, 12 volumi. Parigi, 1897-1913
- [16] DORE, P., *Origini e funzione dell'Istituto e dell'Accademia delle Scienze di Bologna*, Origini e funzione dell'Istituto e dell'Accademia delle Scienze di Bologna, Conferenza tenuta il 3 maggio 1940 per il Circolo di Bologna dell'Associazione Donne Artiste e Laureate
- [17] DRAGONI, G. & PALLOTTI, V., *Strumenti, didattica e ricerca: la fisica sperimentale nell'Istituto delle Scienze*, in *I materiali dell'Istituto delle Scienze. Catalogo della mostra*, Bologna, Accademia delle Scienze, .C.L.U.E.B., 1979
- [18] FALASCHI, M., *I principi dell'ottica geometria in Cartesio e Fermat*, Tesi di Laurea in Storia della Matematica, relatore prof. Freguglia Paolo, Università di Bologna, a.a. 2011-2012
- [19] FANTUZZI, G., *Memorie della vita del Generale Co. Luigi Ferdinando Marsigli*, Lelio della Volpe Editore, 1770
- [20] FAVARO, A. (A CURA DI), *Lettera di Galileo Galilei a Federico Cesi, Firenze, 23 settembre 1624*, in G. Galilei, *Opere*, ed. nazionale a cura di A. Favaro, Firenze 1968, vol. XIII, pp. 208-209
- [21] FELDMAN, T. S., *Applied Mathematics and the Quantification of Experimental Physics: The Example of Barometric Hypsometry*, in *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 15, No. 2, pp. 127- 195, 1985
- [22] FRATI, L., *Catalogo dei manoscritti di Luigi Ferdinando Marsili, conservati nella Biblioteca universitaria di Bologna*, Firenze, Olschki, Tip. Giuntina, 1928
- [23] GALILEI, G., *Discorso sopra la calamita*, Ms. Galil. 111, c.203v, Biblioteca Nazionale Centrale, Firenze
- [24] GIANNINI, G., *Un'"Esperienza gentile": fumo nel vuoto e leggerezza positiva all'Accademia del Cimento*, in *Galilæna - Studies in Renaissance and Early Modern Science*, 2016
- [25] GILBERT, W., *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*, Londra, 1600
- [26] HAUKSBEER, F., *Esperienze Fisico-Meccaniche Sopra Varj Soggetti contenenti un racconto di diversi stupendi fenomeni intorno la luce e l'elettricità producibile dallo strofinamento de' corpi con molte altre notabili apparenze non mai prima osservate. Colle spiegazioni di tutte le macchine. Opera di F. Hauksbee della Società Regia. Tradotta dall'idioma inglese.*, Firenze, 1716

- [27] HEERING, P., *An Experimenter's Gotta Do What An Experimenter's Gotta Do - But How?*, Isis, Vol. 101, No. 4, 2010, pp. 794-805
- [28] HOOKE, R., *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifyng glasses with observations and inquiries thereupon*, Londra, 1665
- [29] MALPIGHI, M., *Apologia di Malpighi contro i Galenisti*, 1665
- [30] MARSILI, A.F., *Memorie per riparare i pregiudizi dell'Università dello Studio di Bologna*, Bologna, Pisarri, 1689
- [31] MARSILI, L.F., *Aloysii Ferdinandi De Marsiliis Instrumentum donationis illustrissimi, & excellentissimi viri domini comitis Aloysii Ferdinandi De Marsiliis favore illustrissimi et excelsi Senatus, et civitatis Bononiae in gratiam novae in eadem Scientiarum Institutiones*, 1712, disponibile al link: <https://archive.org/details/instrumentumdona00mars>
- [32] MARSILI, L.F.; LOVARINI, E.; COMITATO MARSILIANO, *Autobiografia di Luigi Ferdinando Marsili / messa in luce nel secondo centenario dalla morte di Lui dal Comitato Marsiliano; a cura di Emilio Lovarini*. Bologna. Zanichelli, 1930
- [33] MARSILI, L.F., *Historie Physique de la mer*, Amsterdam, Aux depens de la Compagnie, 1725
- [34] MONTANARI, G., *Discorso del vacuo recitato nell'accademia della Traccia la sera delli 28 novembre 1675 che si faceva in Bologna in casa dell'Autore*, uscito postumo a cura di F. Bianchini, in appendice a un'altra opera (*Le forze d'Eolo - Dialogo fisico-matematico*, Parma, Poletti, 1694
- [35] NEBBIA, G., MENOZZI NEBBIA, G., *Early experiments on water desalination by freezing*, in Desalination, Vol. 5, Issue 1, pp. 49-54, 1968
- [36] NEWTON, I., *A letter of Mr. Isaac Newton, Professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his New Theory about Light and Colors; sent by the Author to the Publisher from Cambridge, Febr. 6.; in order to be communicated to the R. Society*, in Philosophical Transactions, numb. 80, pp. 3075-3087, 1671
- [37] NEWTON, I., *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Londra, 1687
- [38] NEWTON, I., *Opticks or A treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions and Colours of Light. Also Two treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures.*, Stampato per Smith e Walford, Stampatori della Royal Society. Londra, 1704
- [39] PATTERSON, L.D., *The Royal Society's Standard Thermometer, 1663-1709*, Isis, Vol. 44, No. 1/2, pp. 51-64, 1953
- [40] PINI, G., *Jacopo Bartolomeo Beccari*, Bologna, Licinio Cappelli Editore, 1940
- [41] POLINIERE, P., *Expérience de physique*, Parigi, 1709

- [42] PRIESTLEY, L., *History of Electricity*. Londra, 1779 (in *The Sources of Science*, New York, 1966)
- [43] REDHEAD, P.A., *History of vacuum devices*, 1999. doi: 10.5170/CERN-1999-005.281
- [44] RENNA, P., *I Maestri e gli Allievi: la frantumazione dell'Universitas nell'età della tecnica*, in *MeTis*, anno IV, n. 1, 2014
- [45] SCARSELLI, F., *Nelle solenni esequie del celebre filosofo e medico bolognese Giacomo Bartolomeo Beccari*, Bologna, Dalla Volpe, 1766
- [46] TORRICELLI, E., *Lezioni accademiche d'Evangelista Torricelli, mattematico e filosofo del Sereniso. Ferdinando II, granduca di Toscana, lettore delle matematiche nello Studio di Firenze e accademico della Crusca.*, Firenze, 1715
- [47] VON GUERICKE, O., *Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio*, Amsterdam, 1672
- [48] WEBSTER, C., *The discovery of Boyle's Law, and the Concept of the Elasticity of Air in the Seventeenth Century*, *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 2, No. 6, pp. 441-502, 1965
- [49] WELD, C. R., *A History of the Royal Society of London*, in quattro volumi. Londra, 1756-1757