

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITY OF BOLOGNA

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

**Dal fulmine al laboratorio: l'insegnamento
della fisica alla fine del XIX secolo
attraverso lo studio delle lezioni di Augusto
Righi**

Supervisor:
Prof. Eugenio Bertozzi

Submitted by:
Margherita Zavarise

Academic Year 2020/2021

Indice

1	Introduzione	1
2	La didattica della fisica di fine XIX secolo	6
2.1	Inghilterra	9
2.2	Francia	15
2.3	Germania	21
2.4	Italia	24
2.4.1	Scuola secondaria	25
2.4.2	Università	28
2.4.3	Università di Bologna	33
3	Augusto Righi e l'insegnamento della fisica	36
3.1	Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano	39
3.1.1	Struttura del corso	45
3.1.2	Strumentazione utilizzata	52
3.1.3	Dimostrazioni sperimentali	64
3.1.4	Conclusione	87
4	Conclusioni	90
	Bibliografia	94

Elenco delle figure

3.1	Schema del doppio pendolo di Righi	38
3.2	Estratti degli appunti del corso libero “Fenomeni fisici dell’atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano”. Lezione 1, 15 e 39	40
3.3	Prima pagina del registro delle lezioni del Corso libero ”Sui fenomeni fisici dell’atmosfera e sui fenomeni fisici del corpo umano” per l’anno accademico 1891-92.	42
3.4	Estratto del registro delle lezioni del Corso libero “Sui fenomeni fisici dell’atmosfera e sui fenomeni fisici del corpo umano” per l’anno accademico 1891-92.	43
3.5	Fascicolo dattiloscritto del corso libero “Fenomeni fisici dell’atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano”, lezione 39.	45
3.6	Fotografie e schemi degli spinterometri e degli eccitatori	53
3.7	Fotografia e schema di una bottiglia di Leida	54
3.8	Schema del sistema di condensatori	55
3.9	Schema del sistema di condensatori seconda configurazione	56
3.10	Fotografie delle macchine elettriche di Wimshurst e Holtz	57
3.11	Schema di una resistenza	59
3.12	Schema del commutatore	60
3.13	Fotografia di un tubo di Geissler	61
3.14	Fotografia del tubo di Newton	61
3.15	Schema del Quadro scintillante	62
3.16	Schema degli “Apparecchi di scarica”	63
3.17	Immagine per spiegazione della durata del fulmine	65
3.18	Augusto Righi al centro con Bernardo Dessau (a sinistra) nel laboratorio di Righi all’Università di Bologna.	68

3.19	Tavola IV della memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi”	70
3.20	Tavola I della memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi”	73
3.21	Tavola II della memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi”	74
3.22	Schema del circuito di scarica per le scintille progressive	75
3.23	Tavola I della Memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto”	81
3.24	Tavola II della Memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto”	82
3.25	Tavola III della Memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto”	83

Sommario

La fine del XIX secolo fu particolarmente importante per la fisica sotto diverse prospettive. Il punto di vista più conosciuto è quello riguardante la ricerca, in particolare le scoperte legate all'elettromagnetismo. Altrettanto significativo è il processo di costruzione della fisica come disciplina, sia nei suoi aspetti epistemologici che istituzionali.

In questo contesto Augusto Righi si colloca ai vertici del panorama scientifico italiano e internazionale, tanto che Orso Mario Corbino (1876-1937) lo definì “il fisico più eminente che abbia avuto l'Italia dall'epoca di Alessandro Volta”[1]. La vastissima attività di ricerca di Righi è raccontata esaurientemente in diversi articoli, alcuni dei quali scritti da autori contemporanei allo scienziato, come la commemorazione scritta da Cardani nel 1921[2]. Un altro aspetto della vita di Righi che emerge dalla letteratura è la sua attività istituzionale e politica. Il suo lavoro come senatore del regno è particolarmente ben documentato nel capitolo a lui dedicato del libro di Matteo Leone e Nadia Robotti *I fisici senatori*[3].

La sua attività didattica e divulgativa, invece, è meno approfondita rispetto a quelle sopracitate. Negli articoli si evidenzia come fosse un ottimo conferenziere e docente, ma non vengono analizzate in dettaglio le caratteristiche del suo insegnamento. Con questa tesi si vuole quindi andare a trattare questo argomento, ricercando i motivi che rendevano le sue lezioni così efficaci. Per poter comprendere fino in fondo le scelte didattiche del Professore il capitolo 2 tratterà della situazione dell'insegnamento della fisica in Europa e in Italia, con un ultimo paragrafo dedicato all'Università di Bologna. Introdotto il quadro generale dell'insegnamento scientifico il terzo capitolo sarà dedicato alla didattica di Righi. Lo studio si concentrerà sulla lettura e l'analisi degli appunti del corso libero *Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*.

Capitolo 1

Introduzione

Lo studio sistematico della didattica della fisica ha origini molto recenti, che si possono far risalire ai primi studi sulle misconcezioni degli studenti degli anni Settanta del Novecento con dei precedenti nei grandi progetti, ad esempio il PSSC, e negli studi pedagogici nel dibattito tra cognitivism e comportamentismo[4]. Questo non vuol dire che precedentemente non ci fosse stata alcuna riflessione sulla didattica, anzi molti scienziati si erano posti il problema dell'insegnamento.

Tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento, la fisica inizia a prendere forma come disciplina a sé stante, staccandosi dalle altre branche della filosofia naturale. Il processo è certamente epistemologico e riguarda la strutturazione della disciplina come tale, ma anche istituzionale: la costituzione delle cattedre universitarie (prima di fisica sperimentale e poi di fisica teorica), la fondazione degli istituti di fisica, l'aggiunta o potenziamento dell'insegnamento della fisica a livello di scuola secondaria. Inoltre cresce l'importanza della fisica come ausilio per le altre discipline, ad esempio la medicina, aumentando esponenzialmente i numeri degli studenti di fisica. È quindi naturale che diversi scienziati si pongano la questione della didattica, alcuni anche pubblicando degli articoli. L'interesse verso questioni didattiche si può intuire anche da parte di quegli scienziati che non si espressero esplicitamente, ma che hanno comunque lasciato materiali elaborati per l'insegnamento della fisica. Uno di questi scienziati è Augusto Righi.

Righi nacque a Bologna il 27 agosto 1850 dal medico Francesco (1807-1887) e da Maria Francesca Giuseppina Zanelli (1812-1872). Nella sua città natale trascorse la maggior parte della sua vita, con la sola eccezione dell'incarico a Palermo dal 1880 al 1885 come

Professore Ordinario di Fisica Sperimentale alla Scuola d'applicazione per ingegneri, e di quello subito successivo a Padova come Professore Ordinario di Fisica Sperimentale all'Università di Padova e direttore del Gabinetto di Fisica. Carica che ebbe anche a Bologna quando vi si trasferì nel 1889 e dove rimase fino alla scomparsa l'8 giugno 1920.

Righi è principalmente conosciuto per la sua vastissima attività di ricerca, che conta più di 250 pubblicazioni e che spazia in tutti i campi della fisica. Essa ha inizio con la dissertazione per il diploma di ingegnere civile e architetto, conseguito nel 1872, per cui realizza una innovativa macchina elettrostatica moltiplicatrice di cariche. L'ultima memoria pubblicata sul *Nuovo Cimento* nel 1920, invece, ha come titolo "*Sulle basi sperimentali della teoria della relatività*"[5], a dimostrazione dell'attenzione di Righi rivolta a tutti i campi della fisica. Di questi, però, l'elettromagnetismo è quello su cui più si focalizza la sua ricerca. A questo riguardo, di particolare rilevanza sono gli studi che completano il lavoro di Heinrich Hertz (1857-1894) sulla conferma sperimentale della teoria di Maxwell. Per questi studi Righi costruisce uno dei suoi strumenti più famosi, l'oscillatore a tre scintille, con il quale per la prima volta si riescono ad ottenere onde elettromagnetiche abbastanza corte da essere studiate su un banco ottico. Questo strumento è conosciuto anche perché venne integrato da Guglielmo Marconi (1874-1937) nel suo primo brevetto sulla telegrafia senza filo. Marconi infatti, pur senza essere iscritto all'Università, ebbe la possibilità di frequentare le lezioni da libero uditore ed ebbe accesso al laboratorio e alla biblioteca. La ricerca scientifica di Righi era dunque sperimentale e ben collocata nel panorama internazionale. Questo risulta in modo evidente nel confronto avvenuto con il fisico Wilhelm Hallwachs (1859-1922), lo scienziato tedesco che nel 1887 aveva anticipato di pochi mesi Righi con degli esperimenti sull'effetto fotoelettrico, poi spiegato teoricamente da Einstein nel 1905. Attraverso delle note pubblicate su *Annalen der physics* e il *Nuovo Cimento* i due fisici si contendevano la paternità delle scoperte fatte, ma nonostante Hallwachs ribadisse il primato cronologico dei suoi esperimenti non poteva che riconoscere allo scienziato bolognese i meriti teorici dei suoi studi:

"Dovendo oppugnargli la priorità della scoperta, non voglio astenermi dal menzionare che le leggi del fenomeno, trovate finora, sono dovute a lui."[6]

Questi non sono che pochi esempi della vastissima attività di ricerca di Righi, la quale è studiata e raccontata esaustivamente in diversi articoli, tra cui l'articolo *Accadde quell'anno-Augusto Righi* di Matteo Leone e Nadia Robotti in *Giornale di fisica*[7] e l'ar-

titolo *Augusto Righi: Fisico e Matematico — una rilettura biografica* di Giorgio Dragoni in *Quaderni di storia della fisica*[1].

Un altro aspetto della vita dell'illustre scienziato è il suo impegno civile e politico, soprattutto come Senatore del Regno d'Italia. Nominato nel 1905 Righi vi si impegnò con la stessa passione con cui lavorava alla sua ricerca, implicandosi soprattutto nelle discussioni sul piano scolastico, sul ruolo degli assistenti universitari e quello dei professori emeriti. Anche in questo caso si trovano in letteratura alcuni lavori tra cui il capitolo a lui dedicato nel libro *I fisici senatori 1848-1943* di Leone e Robotti[3].

La sua attività didattica e divulgativa, invece, sebbene sia spesso nominata e lodata, è meno analizzata dalla letteratura rispetto a quelle sopracitate. Ci sono riferimenti ad essa in tutti gli articoli nominati, ma, essendo essi dedicati ad altri aspetti della figura di Righi, non viene particolarmente approfondita. Una piccola eccezione è contenuta nel libro *Nascita e sviluppo dell'ingegneria all'Università di Bologna*, nel capitolo *Per una storia dell'insegnamento della Fisica nell'Università di Bologna*[8], scritto da Giorgio Dragoni e Paolo Cinti, una parte del quale è dedicata alla didattica di Augusto Righi.

Il vasto numero di pubblicazioni di Righi citate in precedenza non comprende tuttavia alcun articolo dedicato esplicitamente alla didattica. Per poter approfondire la figura di Righi come professore si sono utilizzati i materiali didattici da lui prodotti. In particolare questo studio parte dalla lettura e l'analisi degli appunti manoscritti di quindici lezioni del corso *Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*, tenuto dal Professore nell'ultimo decennio dell'Ottocento.

Per comprendere a fondo le scelte didattiche compiute da Righi nel corso studiato conviene iniziare inquadrando la situazione dell'insegnamento della fisica e della scienza in Europa e in Italia. L'analisi dello stato della didattica della fisica negli altri Paesi, risulta infatti importante al fine di mostrare come le reciproche influenze erano molto diffuse nell'Ottocento. Si mostrerà ad esempio come il fondatore e ideatore del famoso Istituto di via Panisperna di Roma, Pietro Blaserna (1836-1918), oltre ad essersi formato nelle Università tedesche, fece un viaggio in Germania con lo scopo preciso di studiare la loro struttura e prendere quanto di buono era stato fatto per riproporlo a Roma[9]. Lo stesso Righi intratteneva una vivace corrispondenza con la comunità scientifica italiana e straniera e di conseguenza, probabilmente anche la sua didattica ne fu direttamente influenzata.

Nell'introduzione del capitolo 2 verrà offerta una panoramica dell'insegnamento della

fisica dell'Ottocento a livello europeo, in cui verranno presentate le caratteristiche e i cambiamenti principali che si stavano sviluppando in una visione il più possibile generale. I paragrafi tratteranno poi di alcuni Paesi europei (Inghilterra, Francia e Germania) ritenuti, in termini storiografici, elementi cardine per lo sviluppo della scienza dell'Ottocento. L'ultimo paragrafo del capitolo sarà dedicato al contesto italiano e al caso specifico dell'Università di Bologna.

Il primo Stato che verrà trattato è l'Inghilterra. Come vedremo nel capitolo dedicato, la struttura educativa inglese si discosta molto da quella delle altre Nazioni europee. Essa ha infatti un carattere spiccatamente privato, con un apporto da parte del governo centrale molto limitato. Nonostante la grande diversità strutturale, andare a studiare lo sviluppo dell'insegnamento scientifico in Inghilterra è particolarmente interessante, soprattutto perché vi si ritrovano comunque molti degli elementi che caratterizzano la didattica scientifica degli altri Paesi.

All'estremo opposto dal punto di vista organizzativo, la Francia fin dalla fine del Settecento presentava un sistema scolastico altamente centralizzato. Nel capitolo dedicato si vedrà come la ricerca scientifica nelle università venisse in gran parte trascurata dal governo centrale, a favore di una focalizzazione sull'insegnamento liceale. Inoltre è da notare come in Francia il concentrarsi dei professori sull'insegnamento portò alla scrittura di numerosi manuali di fisica che, una volta tradotti, divulgheranno le metodologie didattiche francesi.

L'ultimo Paese europeo che si andrà a considerare è la Germania, probabilmente la più influente tra le Nazioni esaminate. Questo soprattutto perché essa si trovava all'avanguardia, sia per quanto riguarda la ricerca fisica, ma anche per le innovazioni didattiche. Come vedremo, alla Germania si possono far risalire sia i primi corsi di laboratorio in cui a sperimentare erano gli studenti, sia le prime cattedre di fisica teorica.

Il paragrafo dedicato alla situazione italiana, contesto in cui si ritrova a studiare e insegnare Augusto Righi, sarà più approfondito: una parte sarà interamente dedicata alla didattica della scuola secondaria, una all'università in generale e infine una al caso specifico dell'Università di Bologna. Si vedrà in particolare come le idee sulla didattica della fisica di ogni singola università fossero molto influenzate da quelle del professore che occupava la cattedra di fisica sperimentale.

Introdotta il quadro generale dell'insegnamento scientifico, il terzo capitolo sarà dedicato al tema principale, cioè la didattica di Righi. Nella prima parte introduttiva

verranno presentati i diversi materiali didattici e divulgativi scritti o costruiti dal Professore. Sono infatti numerosi i testi divulgativi e le conferenze che sono state trascritte e stampate. Un altro contributo importante è la costruzione di diversi strumenti per le dimostrazioni didattiche, di cui analizzeremo un esempio. Terminata questa panoramica si passerà allo studio del corso *Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*. L'analisi del corso porterà a evidenziare alcune delle caratteristiche dell'insegnamento di Righi, in particolare la sua abilità nell'utilizzo delle dimostrazioni sperimentali. Queste sono un elemento ricorrente lungo tutto il corso perché, per quanto possibile, ogni argomento veniva introdotto e spiegato attraverso di esse, e infatti il numero di esperienze effettuate da Righi nel corso delle lezioni superava la trentina. Per questo sono state scelte sei esperienze didattiche che fossero significative rispetto alle caratteristiche della didattica di Righi, e che verranno presentate in apposite sezioni.

Capitolo 2

La didattica della fisica di fine XIX secolo

Lo studio dei fenomeni fisici e l'esplorazione delle loro cause si può far risalire a tempi molto lontani della storia dell'umanità, ma non si può dire lo stesso della disciplina per come è comunemente intesa ai giorni nostri, cioè caratterizzata da specifici linguaggi matematici, specifici dispositivi e metodi sperimentali e un sistema concettuale sofisticato. Gli storici della scienza sono concordi nell'individuare nel XIX secolo il periodo in cui si realizza questo processo di caratterizzazione della fisica, individuando in Francia, Inghilterra e Germania i principali protagonisti del cambiamento, con l'aggiunta degli Stati Uniti d'America per quanto riguarda il ventesimo secolo[10]. Il motivo di questa definizione nella storiografia tradizionale parte dal fatto che a seconda del periodo considerato, erano questi i paesi più all'avanguardia nella ricerca scientifica. Tuttavia, come sostiene Simon nel suo articolo del 2012 *Secondary Matters: Textbooks and the Making of Physics in Nineteenth-Century France and England*[11], bisogna fare attenzione a non guardare a questo progresso solo da un punto di vista di singoli Paesi: infatti, di vitale importanza risulta l'aspetto internazionale, sia perché alcuni libri di testo erano molto diffusi anche al di fuori della loro nazione d'origine, sia perché la corrispondenza tra gli scienziati di tutte le nazionalità era molto fitta.

Parallelamente, e correlati a questa definizione epistemologica della disciplina, iniziano importanti mutamenti: l'istituzionalizzazione della fisica, ovvero il passaggio dai laboratori privati ai laboratori di ricerca universitari, l'istituzione delle prime cattedre

di fisica sperimentale e successivamente di quelle di fisica teorica, in alcuni casi come in Italia addirittura solo nel XX secolo, la nascita degli istituti di fisica e la crescita di importanza dell'insegnamento nella scuola secondaria. Naturalmente l'insegnamento, sia quello fatto a scuola che quello nelle università, non poteva non essere influenzato e allo stesso tempo influenzare la costruzione della scienza. È naturale quindi, che anche per la didattica fossero anni di fermento e cambiamento.

Il collegamento tra la disciplina e il suo insegnamento è particolarmente evidente nella preminenza della componente sperimentale su quella teorica. Infatti nel corso dell'Ottocento gli articoli erano prevalentemente sperimentali: come si osserva nella maggiore rivista di fisica italiana di quegli anni, il *Nuovo Cimento*, fino al secondo decennio del Novecento la percentuale dei lavori sperimentali era superiore o uguale a 50, ed il resto era diviso tra articoli di fisica teorica e di fisica matematica. Inoltre quest'ultima, in Italia, era istituzionalmente praticata da matematici[12]. Il caso italiano era particolare ma, a livelli diversi, questa era la situazione in tutta Europa. Ad esempio nel 1826 il fisico e matematico Jean-Baptiste Biot (1774-1862) lamentava il fatto che in Francia ed in Inghilterra un ruolo più importante era dato ai metodi puramente sperimentali, mentre negli anni Trenta il fisico Jean Claude Eugène Péclet (1793-1857) affermava che “è attraverso le ricerche sperimentali che nuovi fatti sono scoperti e non attraverso speculazioni matematiche” considerando il metodo sperimentale come il garante di una didattica efficace[11]. Questa visione dell'insegnamento si rifletteva anche nei manuali di fisica che espongono soprattutto procedure sperimentali, meticolose descrizioni di strumenti e i risultati anche quantitativi di esperimenti. Inoltre in questo contesto la matematica era spesso relegata in note a piè di pagina o trattata in paragrafi che presentavano differenze tipografiche evidenti così da differenziarli. In Italia, a livello di scuola secondaria, questo scarso rapporto tra insegnamento della fisica e la matematica è evidente nell'analisi di diversi libri di testo che mettono in luce come il formalismo arriva al massimo alle funzioni goniometriche, questo anche quando nel programma di matematica viene inserito il calcolo numerico[13]. Il fatto che queste caratteristiche fossero così generalizzate nei libri di testo suggerisce che la didattica fosse concentrata sull'osservazione dei fenomeni, naturali o riprodotti tramite un esperimento, sullo studio di leggi empiriche e sulla dettagliata descrizione delle esperienze che le dimostravano.

Il focalizzarsi sull'aspetto sperimentale potrebbe far pensare ad un utilizzo molto importante del laboratorio didattico come lo intendiamo oggi, cioè come speri-

mentazione fatta dagli studenti. Invece per la gran parte dell'Ottocento non fu così: le esperienze erano sì una componente pedagogica ritenuta fondamentale, ma esse rientravano nelle modalità tradizionali di insegnamento frontale attraverso dimostrazioni svolte alla cattedra dall'insegnante. Un articolo del 1898 di Charles F. Warner, professore di fisica a Cambridge, riferisce di una nuova modalità didattica che sta avendo sempre più seguito che prevede il coinvolgimento degli studenti:

*“It is evident that the effort to introduce laboratory teaching characterizes the new methods in physics; [...] It is equally clear that the ordinary test-book style of treatment, which consists in outlining important principles of general interest and in stating a large number of illustrative experiments involving few, if any, exact measurements, is not at all consistent with the purpose of the laboratory, in which the ideal should be to work out by observation, measurement, and comparison principles to be subsequently stated by the student as a discoverer.”*¹ [14].

Warner continua descrivendo brevemente queste due possibilità. Da una parte l'approccio tradizionale che sollecita la crescente importanza di una conoscenza generale di tutti i principi fondamentali della scienza e la necessità di una comprensione delle applicazioni più comuni e utili di questi principi. In questo caso viene lasciata all'iniziativa dello studente l'approfondimento personale e l'investigazione sperimentale di quanto imparato a lezione. Dall'altra parte il metodo laboratoriale, che permette di fornire una formazione utile ad affinare le capacità di osservazione, di misura di precisione, di confronto e di ragionamento induttivo. In questo caso gli esercizi sono soprattutto quantitativi, in contrasto con le dimostrazioni cattedratiche che erano solitamente qualitative. Le misure di precisione sono però molto lunghe e per questo anche i sostenitori più accaniti del nuovo metodo non pensavano che tutto dovesse essere presentato attraverso esercizi di laboratorio, ma che esso dovesse essere di complemento alle lezioni frontali e allo studio dei manuali. Questo articolo dunque fa intuire due fattori della didattica di fine secolo:

¹È evidente che lo sforzo di introdurre laboratori didattici caratterizza i nuovi metodi in fisica; [...] È altrettanto chiaro che lo stile di trattazione ordinario da manuale, che consiste nel delineare i principi importanti di interesse generale e nell'affermare un grosso numero di esperimenti illustrativi che coinvolgono poche, o anche nessuna misurazione esatta, non è consistente con lo scopo del laboratorio, in cui l'ideale sarebbe di lavorare attraverso osservazioni, misure e principi di comparazione che possano dirsi di avere lo studente come scopritore.

innanzitutto anche nella modalità cattedratica la componente sperimentale era tutt'altro che secondaria e inoltre negli ultimi anni dell'Ottocento il laboratorio didattico era considerato un metodo nuovo con cui insegnare la fisica che incominciava ad essere diffuso in modo significativo. Chiaramente a seconda della nazione considerata questa diffusione poteva essere più o meno avanzata a seconda delle politiche scolastiche adottate. Queste dunque erano le tematiche generali legate alla didattica della fisica diffuse in tutta Europa, declinate diversamente in base alla storia e alla cultura del paese considerato.

L'importanza di andare a studiare le particolari situazioni di altri paesi oltre a quello italiano poggia sul fatto che erano l'avanguardia della ricerca in fisica e sulla ricca pubblicazione di diversi articoli riguardanti le discussioni sulla didattica dell'epoca. Similmente a come succede ai giorni nostri il dibattito sul tema della scuola era molto acceso, sia in termini generali che nell'ottica dell'insegnamento delle scienze. Nella comunità dei fisici italiani di questa tematica si sono interessanti personaggi di alto calibro, tra cui Pietro Blaserna (1836-1918), e Carlo Matteucci (1811-1868). Il primo, in occasione dell'Esposizione internazionale di Parigi del 1867, scrisse un pamphlet dal titolo *Sullo stato attuale delle scienze fisiche in Italia e su alcune macchine di fisica* nel quale affronta anche il tema della didattica universitaria riferendosi all'esempio tedesco. Matteucci invece, in una sua raccolta di scritti relativa all'istruzione pubblica, tratta di tutti i livelli di cui si compone, comparando l'esperienza italiana con quella dei vari stati europei. Per avere, quindi, un quadro delle idee che circolavano in Italia a riguardo della didattica della fisica, è fondamentale andare a guardare anche al di fuori dei confini nazionali. Dovendo fare una scelta su quali considerare si sono selezionati l'Inghilterra, la Germania e la Francia.

2.1 Inghilterra

Passando dalla trattazione generale a quella particolare dei singoli Stati lo sviluppo della scienza e della didattica non può che essere vincolato a quello dell'educazione in generale.²

²Le informazioni che seguono sulla struttura dell'educazione inglese sono tratte da: l'articolo *Education* dell'enciclopedia "Britannica"[15]; l'articolo *Public school* dell'enciclopedia "Britannica"[16]; Simon, *Secondary matters: textbooks and the making of the physics in nineteenth-century France and England*[11]; Simon, *Writing the Discipline*[10]; Gooday, *Precision Measurement and the Genesis of Physics Teaching Laboratories in Victorian Britain*[17], la pagina *England, History of Education 1829 to 1944 (National Institute)* del sito FamilySearch Wiki [18]

Il caso inglese ha caratteristiche molto particolari rispetto al resto dell'Europa. Mentre negli altri Stati del Continente i profondi cambiamenti socio-culturali del XVII e XVIII secolo portarono allo stabilirsi dei primi sistemi educativi nazionali nella convinzione che essi dovessero essere di responsabilità statale, in Inghilterra prevalsero le idee del *laissez-faire*, principio alla base del liberismo, che prevedevano limitati interventi dello Stato nel sistema economico-sociale. Questa impostazione lasciava quindi spazio alla famiglia ed alle organizzazioni religiose di impostare un sistema educativo gestito essenzialmente in maniera privatistica, non coordinato centralmente e limitato al ceto agiato. Anche per questa ragione non c'era una struttura del percorso scolastico degli studenti. Infatti non si ha una chiara distinzione tra *primary* e *secondary education*, terminologia che incomincia ad apparire nell'Ottocento, ma non in modo sistematico. Le tipologie di scuole erano molte, a seconda delle organizzazioni che le avevano fondate, come le *Military and Naval schools*, le *Factory and Colliery schools*, le *Reformatory schools* e molte altre. Molte di queste si possono far rientrare nella categoria che ora chiamiamo primaria, in quanto fornivano un'educazione di base, talvolta gratuita. Il livello primario fu il primo in cui il governo inglese si implicò, nel 1862, fissando gli standard di lettura, scrittura e conoscenza matematica, a cui dovevano arrivare gli studenti a seconda della loro età, e nel 1880 rendendo obbligatoria l'istruzione per i bambini dai cinque agli undici anni.

Le scuole che ora definiremmo secondarie, cioè che davano accesso ad un'istruzione superiore, erano le *grammar schools* e le *public schools*. Queste avevano caratteristiche spiccatamente elitarie e potevano accedervi solamente gli studenti che erano in grado di pagare la retta. Le *public schools*, a differenza di quanto potrebbe sembrare dal nome, non erano pubbliche nel senso di statali, ma nel senso che erano aperte a chiunque se lo potesse permettere, indipendentemente dall'origine dello studente. Il curriculum di queste due tipologie di scuole, anche se era a discrezione del collegio, era solitamente di stampo classico, basato sullo studio del latino e della matematica elementare, mentre la fisica e la scienza in generale non erano molto considerate, tanto da non apparire nemmeno in molti dei curriculum all'inizio del secolo.

Per via del carattere privato del sistema scolastico inglese lo sviluppo dell'insegnamento scientifico è quindi legato alle convinzioni delle componenti della società a riguardo dell'importanza della scienza. Inoltre i cambiamenti non erano imposti dall'alto, ma favoriti attraverso l'istituzione di esami e certificazioni.

La comunità medica diede uno dei maggiori contributi alla diffusione dell'insegnamen-

to della fisica. In primo luogo già dai primi decenni dell'Ottocento l'uso della filosofia naturale nella pratica medica era considerato sempre più fondamentale, la materia fu quindi inserita negli esami di abilitazione medica. Di conseguenza in tutti i maggiori ospedali universitari in Inghilterra vennero inseriti corsi di fisica, aumentando significativamente la quantità di studenti. Sempre legata all'ambito medico intorno al 1826 ci fu la fondazione del *University College London* e del *King's College*, che, in contrasto con la natura classica di *Oxford* e *Cambridge*, avevano uno stampo prevalentemente medico e scientifico. Nel 1836 le due Università, unite a formare la *London University*, crearono una rete di scuole loro affiliate e istituirono un test di ingresso che includeva domande di filosofia naturale e che divenne presto molto importante per chi volesse intraprendere una carriera scientifica, ma anche per coloro che non avevano intenzione di proseguire gli studi perché dava loro la possibilità di coronare l'educazione scolastica con un titolo.

Nel decennio successivo un ulteriore sviluppo fu dato dalla *middle class*, che richiedeva un'educazione diversa da quella classica impartita nelle tradizionali *grammar schools*, più vicina alle necessità industriali e commerciali. Si formarono così delle nuove scuole private create e portate avanti da insegnanti, genitori, imprenditori e comunità religiose. Molte di queste scuole ebbero però vita breve soprattutto perché non bene integrate in una rete educativa solida ed estesa. Sempre a sostegno di questo movimento per l'educazione scientifica furono creati poi i *mechanics institutes*, che fornivano un'educazione tecnica per lavoratori e professionisti. Dagli anni 30 questi "istituti di meccanica" fondarono al loro interno anche delle scuole secondarie e questo fu un contributo importante perché avevano network nazionali e regionali ben stabiliti, offrendo librerie e collezioni didattiche ben fornite e una maggiore esperienza nell'insegnamento della fisica.

In concomitanza con la nascita delle scuole fondate dalla *middle class* di cui sopra, fu istituito anche un altro gruppo molto grande di scuole, che invece crebbe di importanza negli anni successivi fino ad essere riconosciute come nuove *public schools*. L'origine di queste scuole si può far risalire alla necessità di nuove sezioni che insegnassero materie scientifiche in preparazione ai test di ingresso delle accademie militari e di servizio civile.

Con l'avvento dell'Università londinese le più antiche università di *Oxford* e *Cambridge* rischiarono di perdere parte della loro influenza e quindi già negli anni 40 integrarono le scienze nei loro curriculum e inoltre istituirono nel 1858 gli *Oxford* e *Cambridge Local examinations* cioè un sistema di esami per scuole provinciali che era un certificato del livello di preparazione in uscita dalla scuola, ma non dava accesso all'università.

L'ultimo contributo da citare è quello delle Esposizioni internazionali di Londra nel 1851 e di Parigi nel 1867. La loro importanza per lo sviluppo della didattica scientifica inglese risiede nel fatto che anche attraverso le due Esposizioni si evidenziò l'importanza dello studio della scienza pura, soprattutto per l'influenza sulla qualità dell'industria. In entrambi i casi l'impatto fu evidente. La prima esposizione è stata uno dei fattori che ha portato, nel 1853, alla fondazione del *Science and Art Department*, uno dei primi coinvolgimenti dello Stato nell'insegnamento. Il DSA ha poi promosso l'inserimento delle materie scientifiche nei curriculum di scuola secondaria attraverso tre azioni interconnesse: la formazione degli insegnanti, uno schema di ricompense agli insegnanti basate su risultati degli alunni in specifici esami e il supporto alla creazione di collezioni scientifiche nelle scuole. Gli insegnanti che volevano entrare nel sistema avevano l'obbligo di frequentare i corsi costruiti dagli esaminatori del DSA, andando quindi a plasmare e anche migliorare la qualità degli insegnanti.

Nel secondo caso l'influenza è stata di carattere più sociale. Infatti, fino al 1867, nell'industria inglese ancora dominava la *rule of thumbs*, cioè la convinzione che nella costruzione, anche di grosse infrastrutture, non si necessitasse della misura di precisione, ma bastassero le misure ad occhio e soluzioni grossolane. Perciò all'Expo parigino gli inglesi si ritrovarono ad essere qualitativamente inferiori rispetto agli altri Stati, cosa che favorì una rivoluzione della didattica scientifica sul piano del metodo. Gli inglesi si resero conto che la soluzione del problema stava nel passare da un'educazione tecnica impostata sul raffinamento della regolazione ad occhio, ad una focalizzata su esercizi di laboratorio di precisione, in cui fossero gli studenti stessi a fare le esperienze. Cosicché quando una sottocommissione del DSA raccomandò un'istruzione pratica di laboratorio di fisica per professioni legate all'agricoltura, alla chimica, alla metallurgia e alle ingegnerie esistenti all'epoca, questa si diffuse molto rapidamente.

Allo stesso tempo, i laboratori incominciarono a svilupparsi anche a livello universitario, progresso legato anch'esso al ruolo della misura: in questo periodo infatti, la comunità dei fisici inglesi faceva, almeno fino ad un certo punto, coincidere l'avanzamento della fisica con l'aumento di precisione quantitativa degli esperimenti. Quindi coloro che volevano intraprendere una carriera accademica avevano bisogno di impraticarsi con gli strumenti già durante i loro studi. Il primo a coinvolgere gli studenti a livello pratico in laboratorio fu William Thomson all'Università di Glasgow, indicativamente nel 1855. Quattro anni prima infatti, quando lo scienziato inglese stava facendo degli studi sulle

proprietà elettrodinamiche dei metalli, la sua ricerca prevedeva una misura di temperatura molto precisa, da prendersi tramite due termometri, ogni quindici o venti minuti per più di due ore. Resosi conto che per farla adeguatamente servivano più persone, decise di coinvolgere due dei suoi studenti. Il risultato fu soddisfacente sia per lo scienziato, ma anche per gli alunni coinvolti, motivo per cui in sempre più richiesero di essere resi partecipi. Nel 1855 pertanto, Thomson decise di aprire a tutti i suoi allievi la possibilità di lavorare nel suo laboratorio, e come risultato ottenne che circa un terzo dei partecipanti alle sue lezioni fece richiesta di partecipare[17].

Il lavoro di laboratorio degli studenti nelle Università inglesi è iniziato quindi come aiuto alla ricerca dei professori stessi e seguendo questo primo esempio molti altri seguirono, per primi Foster e Clifton alle *University College London* e *University of Oxford* nel 1866. Negli anni Settanta, infine, il laboratorio didattico si sviluppò come un vero e proprio corso che aveva lo scopo di dare una formazione nell'uso degli strumenti di misura attraverso la ripetizione di esercizi su fenomeni fisici conosciuti, come la misura dei punti di ebollizione e fusione. E nel 1885 Thomson stesso dichiarò:

*“The physical laboratory system has now become quite universal. No University can now live unless it has a well-equipped laboratory”*³[17]

Come visto poi nell'articolo di Warner del 1898 in meno di una decina d'anni la modalità di insegnamento attraverso il laboratorio incominciò ad espandersi anche negli altri ordini di istruzione.

Per quanto riguarda la definizione degli argomenti della disciplina, il profondo cambiamento dei curriculum tra una scuola e l'altra, potrebbe far pensare che sia impossibile farsi un quadro generale di cosa venisse insegnato. Ma attraverso i test d'ingresso alle facoltà, o di uscita dalla scuola superiore per gli studenti che non intendevano proseguire gli studi, insieme alla formazione degli insegnanti impartita dal *Science and Art Department*, è comunque possibile fare delle considerazioni di carattere generale. Inoltre, sebbene anche le modalità di insegnamento variassero molto, in media si svolgeva prima una lezione frontale, seguita da una dimostrazione sperimentale compiuta dal docente, con il supporto di un libro di testo utilizzato dallo studente nel suo tempo di studio personale.

³La modalità del laboratorio di fisica è adesso diventata abbastanza universale. Nessuna università può ora vivere se non ha un laboratorio ben equipaggiato

A tal fine, particolarmente interessante risulta l'analisi condotta da Simon nel lavoro *Communicating Physics* in cui l'autore analizza i libri di testo francesi di Ganot, che erano altamente apprezzati e diffusi in Francia, e la loro traduzione inglese di Atkinson, a loro volta molto utilizzati in Inghilterra. Il suo studio evidenzia come la formalizzazione matematica della fisica all'interno del libro di testo francese fosse molto limitata: le leggi erano spesso enunciate senza formule, in alcuni casi venivano utilizzate delle semplici proporzioni o formule algebriche, e le trattazioni di un livello matematico superiore erano scritte in un carattere minore per indicare le parti dedicate al pubblico più esperto. Nel caso di Atkinson, invece, quest'ultima differenziazione tipografica scompare e le leggi fisiche sono descritte anche in modo formale con relazioni algebriche tra le variabili in gioco. La formalizzazione rimane tuttavia molto lontana dai livelli dei libri di testo odierni.

Da segnalare anche il ruolo marginale che ha in questi testi la struttura teorica della fisica. Ad inizio dell'Ottocento c'è un primo tentativo di unificazione della fisica con lo schema laplaciano, che cercava di spiegare tutti i fenomeni fisici attraverso forze molecolari ed era caratterizzato dal considerare come agenti dei fenomeni osservati dei fluidi imponderabili, come il calorico. Successivamente nella seconda metà del secolo in Inghilterra nasce e prende piede la teoria di conservazione dell'energia, cioè l'unificazione concettuale attraverso le teorie di correlazione, conversione o conservazione delle forze fisiche. Questo avviene però quasi solo a livello delle comunità dei fisici e dei matematici, mentre i libri di testo presentavano una narrativa molto diversa per quanto riguarda la didattica. Da una parte essi esponevano la teoria dei fluidi imponderabili sottolineando il fatto che si tratta di una ipotesi; successivamente, con l'avvento e l'aumento di importanza delle teorie di conservazione dell'energia, essi non cambiarono la spiegazione teorica dei fenomeni preferendo rimanere ancorati alla vecchia spiegazione per ragioni di chiarezza comunicativa. Solo in alcuni casi, venne inserito un paragrafo per trattare anche la nuova teoria.

La componente importante era invece quella puramente sperimentale e applicata. I fenomeni fisici venivano descritti a partire dalle loro osservazioni in natura e dall'analisi attraverso esperimenti, una minuziosa attenzione veniva dedicata agli apparati, i quali erano dettagliatamente descritti e rappresentati al meglio delle possibilità di stampa. Venivano presentate le procedure sperimentali, illustrate passo passo le esperienze che si potevano svolgere e riferiti i risultati qualitativi e quantitativi.

2.2 Francia

In Francia l'organizzazione scolastica era diametralmente opposta rispetto a quella inglese, poiché lo stato entrava in ogni aspetto di essa e la sua struttura era molto centralizzata⁴. Inoltre l'Università si differenzia molto anche dal modello tedesco in quanto essa rientrava in un sistema nazionale che integrava l'istruzione secondaria e superiore. Fin dalla Rivoluzione Francese l'educazione divenne molto centralizzata, e lo Stato, nella figura del ministro dell'istruzione, si interessava di ogni suo aspetto, dai curriculum fino ai libri di testo utilizzati. Il Paese era diviso in aree amministrative chiamate *acadèmies*, amministrate da un rettore, che fungeva da rappresentante del ministero; ognuna di esse doveva contenere le scuole elementari, almeno un liceo e una università. Il rettore non era responsabile solo di quest'ultima, ma anche dell'educazione secondaria e superiore ed era quindi a capo di un corpo insegnante che comprendeva i docenti di tutti i gradi, fino al consiglio universitario. I professori erano assunti dallo Stato e supervisionati da un ispettorato composto sia da osservatori nazionali che della singola accademia.

La scuola elementare e la secondaria erano distinte e solo alcuni studenti frequentavano la seconda, o perché avevano una famiglia che potesse permettersi di pagarla oppure perché riuscivano a vincere una borsa di studio attraverso un esame molto competitivo. La scuola secondaria era poi divisa ulteriormente in tre: i *lycées* e i *colléges*, che davano accesso all'università, e le *écoles primaires supérieures*. I primi erano mantenuti dalle tasse scolastiche e dalle borse di studio statali e le materie di insegnamento erano: lingue antiche, retorica, logica, etica, matematica e le scienze fisiche. I *colléges* erano istituzioni comunali oppure private, ed erano mantenute solamente dalle tasse scolastiche e offrivano solo parzialmente il curriculum dei *lycées* insegnando latino, francese, matematica, storia e geografia. Infine le scuole primarie superiori furono istituite nell'Ottocento per chi non sarebbe andato all'università, ma aveva bisogno di un'istruzione migliore di quella che potevano dare le scuole primarie.

⁴Le informazioni che seguono sulla struttura dell'educazione francese sono tratte da: l'articolo *Education* dell'enciclopedia "Britannica"[15]; Simon, *Secondary matters: textbooks and the making of the physics in nineteenth-century France and England*[11]; Simon, *Writing the Discipline*[10]; Simon, *Communicating physics*[19]; Mitchell, *From corps to discipline, part one: Charles d'Almeida, Pierre Bertin and French experimental physics, 1840-1880* [20]; Brenni *The Evolution of Teaching Instruments and Their Use Between 1800 and 1930*[21]; Shinn, *The French Science Faculty System, 1808-1914: Institutional Change and Research Potential in Mathematics and the Physical Sciences*[22]; Herivel, *Aspects of French Theoretical Physics in the Nineteenth Century*[23]

All'interno delle *accademies* le università erano divise in cinque facoltà: scienze, lettere, medicina, giurisprudenza e teologia. Nel caso specifico della facoltà di scienze, secondo il decreto del 17 marzo 1808, il personale universitario non era chiamato a svolgere attività di ricerca. Il loro compito istituzionale principale consisteva nell'amministrare e correggere gli esami: il *Baccalaureat es lettres* diploma di uscita dalla scuola secondaria, e il *Baccalaureat es sciences*, diploma che poteva essere conseguito solo dopo il primo e dava accesso alle facoltà di medicina e scienze; la *licence* e l'*agregation*, che permettevano di insegnare a livello liceale; e i *doctorat d'Erat* in matematica, scienze fisiche e storia naturale. Il secondo compito definito dal decreto era tenere delle lezioni tre volte alla settimana per un totale di quattro ore e mezza. Il professore era obbligato a insegnare la materia che corrispondeva alla cattedra ricoperta e il programma doveva essere approvato sia dall'assemblea dei professori della facoltà che dal *Conseil Supérieur de l'Instruction Publique*. Questi corsi erano pubblici e quindi pensati per un pubblico generico, spesso non particolarmente interessato alle ultime novità delle scienze. Professori che riuscivano ad attrarre un gran numero di persone alle loro lezioni acquisivano un certo riconoscimento sociale; le conferenze erano quindi spesso molto teatrali, con dimostrazioni sperimentali più pensate per impressionare che per il loro contenuto scientifico e un programma non particolarmente avanzato. In molti casi il fatto che gli stessi professori fossero poi chiamati a conferire i diplomi, le licenze e i dottorati, non li portava a concedere un'istruzione superiore agli studenti interessanti. Di conseguenza c'erano poche possibilità di lavoro in laboratorio e poco aiuto da parte dei professori per i dottorandi, che dovevano studiare in modo indipendente.

Per la particolare organizzazione delle accademie e il ruolo delle facoltà nella correzione degli esami, il collegamento tra l'università e la scuola secondaria era molto forte. Inoltre, nella prima metà dell'Ottocento, una buona parte dei professori universitari si dedicava all'insegnamento liceale, anche arrivando a trascurare quello universitario. L'insegnamento scientifico liceale era per lo più finalizzato al superamento dei *baccalaureat* per accedere alle facoltà, per cui generalmente consisteva nella presentazione delle nozioni scientifiche a studenti che avevano un ruolo totalmente passivo.

Infine, nel medesimo decreto del 1808, non c'è alcun riferimento alla ricerca, ed esso non conteneva alcuna disposizione per le strutture di laboratorio o per il finanziamento della ricerca. Nonostante la quasi totale mancanza di fondi stanziati per la ricerca, diversi scienziati, come Balair e Gerhardt a Montpellier, Malagutti a Rennes, Laurent

a Bordeaux e Dumas, Thenard e Biot alla Sorbonne, riuscirono a portare avanti i loro studi. Dai primi decenni del secolo inoltre, incominciarono a portare al ministero richieste per includere la ricerca nelle funzioni dell'università e di conseguenza ottenere fondi appositi. In questo panorama di difficoltà nella ricerca scientifica francese, una eccezione è rappresentata dalla matematica. Essa aveva un ruolo predominante rispetto alle altre discipline scientifiche e già dai secoli precedenti la Francia era ai vertici della ricerca matematica. Questa maggiore importanza era evidente anche a livello istituzionale: il decreto del 1808 prevedeva la presenza di due professori nel settore, mentre la terza cattedra poteva essere di fisica o di chimica oppure di una combinazione delle due. Questo era importante anche per la fisica perché nella Francia dell'epoca non c'era una forte distinzione tra fisica matematica e fisica teorica. La differenza tra le due risiede soprattutto nell'importanza della matematica (oggetto principale in una e strumento nell'altra) e nel legame con l'esperimento (praticamente assente nella prima e fondamentale nella seconda). Un esempio di questa vicinanza tra le due materie in Francia è André-Marie Ampère (1775 - 1836). Egli fu professore di matematica alla *Ecole Polytechnique*, e successivamente ottenne la cattedra di fisica sperimentale al *College de France*. Egli è particolarmente famoso per i suoi studi teorici sull'elettromagnetismo, però la sua ricerca non era puramente matematica ed era strettamente legata alle scoperte sperimentali. Nonostante le richieste da parte della comunità scientifica, i miglioramenti furono molto pochi. Inoltre il dottorato in scienze aveva poco valore al di fuori dell'insegnamento, per cui i giovani che intraprendevano una carriera scientifica erano un numero estremamente ridotto.

In parallelo alle università l'istruzione superiore era fornita dalle *grandes écoles*. Queste scuole venivano istituite per rispondere ad un particolare bisogno tecnico, amministrativo o didattico, come la *Ecoles des Mines*, creata con l'obiettivo di formare ingegneri per l'industria mineraria francese che era in via di sviluppo. Queste istituzioni erano molto elitarie, con test d'ingresso molto competitivi, e in alcuni casi lo studente doveva essere già in possesso di altri titoli di studio. L'*Ecole normale* e l'*Ecole polytechnique* sono due di queste scuole, e all'epoca, in particolare ad inizio secolo, avevano un ruolo molto importante nelle scelte didattiche della scuola superiore. Infatti gli studenti di queste scuole avevano un curriculum e una formazione nettamente migliore dei loro colleghi delle facoltà universitarie, e andavano a ricoprire le cattedre migliori e gli incarichi più importanti.

La fisica era quindi sistematicamente insegnata soprattutto a livello liceale all'interno delle *sciences physiques*, che comprendevano anche la chimica, la mineralogia, la zoologia, la botanica e ogni tanto anche anatomia e astronomia fisica. Solo dagli anni 60 dell'Ottocento la fisica e la chimica ottennero lo status individuale all'interno dei syllabus scolastici. L'altro bacino d'utenza di studiosi di fisica veniva dal campo medico, in quanto il *Baccalaureat es science* era necessario per accedere alla facoltà di medicina. In entrambi questi casi un buon modo per studiare le modalità didattiche è concentrarsi sui manuali, i quali venivano solitamente scritti dai professori nei loro primi anni di insegnamento. Un lavoro molto curato su questo aspetto è il già citato studio di Simon sui manuali di Ganot, il quale era professore e fondatore di una delle scuole private di Parigi, che avevano lo scopo di preparare gli studenti agli esami come il *baccalaureat* e *l'agregation*. I libri di testo seguivano la suddivisione della fisica del curriculum delle scuole e degli esami, e quindi erano divisi in nove libri: proprietà generali della materia e del movimento, gravitazione e attrazione molecolare, liquidi, gas, acustica, calorico, luce, magnetismo, elettricità statica e dinamica e un'appendice sulla meteorologia. Ognuno di questi libri era strutturato in capitoli che presentavano i diversi fenomeni fisici osservabili in natura o attraverso gli esperimenti nel gabinetto di fisica, del laboratorio fisico o l'officina delle macchine. Ognuno aveva un capitolo introduttivo che esponeva fenomeni base, principi sperimentali e molto brevemente il loro background teorico.

Successivamente il cuore del volume era costituito dalle dimostrazioni didattiche con gli strumenti e dalla spiegazione delle procedure sperimentali e dei risultati, con la descrizione minuziosa dell'apparato sperimentale e degli strumenti. L'analisi matematica era limitata a delle semplici proporzioni aritmetiche e calcoli, in alcuni casi erano inserite delle parti scritte con un carattere minore che presentavano delle equazioni con un contenuto algebrico maggiore, pensate per i lettori più avanzati. Questa scarsa presenza matematica era condivisa da molti altri libri di testo di fisica francesi del periodo. Nonostante questo la formalizzazione non era totalmente assente o relegata a studi superiori, infatti ogni libro aveva un'appendice con i problemi e le domande da esame. Dal 1864 Ganot aggiunge un testo di quattro pagine con i "precetti generali per la risoluzione dei problemi di fisica" e nella guida metodologica afferma che "i problemi di fisica sono problemi di matematica veri, ma in cui è una legge fisica che connette le quantità conosciute alle quantità sconosciute".[19] Il metodo risolutivo raccomandato da Ganot era quello proposto da Lacroix, i cui libri di testo plasmavano molto l'insegnamento della matema-

tica in Francia e anche l'Inghilterra: il primo passo del problem-solving era scrivere la domanda in forma algebrica, poi risolvere algebricamente l'equazione e solo successivamente introdurre i numeri e fare i calcoli per arrivare alla soluzione. Però l'appendice di Ganot forniva anche alcune delle equazioni più comuni, quindi gli studenti dovevano utilizzare il metodo di Lacroix solo in alcuni problemi.

Un'altra caratteristica dei manuali di Ganot erano le introduzioni storiche. Jean-Baptiste Dumas (1800 - 1884) in un documento ufficiale raccomanda questo approccio storico, ritenendo fondamentale la presentazione degli esperimenti originali e dei maggiori attori per la fisica come scienza sperimentale distinta dalla matematica. Oltre a queste motivazioni di configurazione della disciplina, c'erano anche motivi nazionalistici di presentazione della fisica del proprio paese. Oltre a questi spunti storici c'erano anche altri riferimenti a ricerche di diversi autori, soprattutto quando l'argomento trattato mancava di un consenso generale da parte della comunità dei fisici, in questo modo poteva rimettere la responsabilità di quanto scritto a fonti più autorevoli.

Su questo argomento, particolarmente interessante risulta la posizione riguardo alla teoria dei fluidi imponderabili, non solo perché mostra la posizione dei docenti verso la teoria, ma anche perché ne parla anche Righi nel corso che verrà analizzato nel prossimo capitolo. Alla fine del capitolo introduttivo del *Traite elementaire de physique et de meteorologie* Ganot afferma che la natura degli agenti e delle forze che causano i fenomeni fisici non è conosciuta, ma che l'ipotesi più accettata è considerare gli agenti fisici come fluidi imponderabili (attrazione universale, calorico, luce, magnetismo ed elettricità), ammettendo che questi cinque agenti potessero avere una sorgente singola. L'unica modifica che Ganot inserisce nelle versioni successive, è l'introduzione dell'etere come agente unico. Però nell'esposizione il frasario rimane quello dei fluidi imponderabili e non accenna o quasi al principio di conservazione dell'energia. Ganot è molto cauto nell'introdurre il nuovo framework teorico per due ragioni: nonostante il consenso della comunità dei fisici si tratta di sostituire una ipotesi con un'altra, secondariamente la comunicabilità è la sua priorità più che i principi teorici, per cui tende a mantenere la spiegazione precedente perché più efficace a livello didattico. Un altro indice della scarsa considerazione del framework teorico nei libri di Ganot è il fatto che non si fa problemi ad introdurre esperimenti che vanno in chiara contraddizione con esso, come ad esempio alcuni esperimenti di Macedonio Melloni e di Augustin-Jean Fresnel che, per sua stessa ammissione, si possono spiegare solo attraverso la teoria delle onde che è incompatibile

con quella dei fluidi imponderabili.

Riassumendo, dagli studi sui libri di testo risulta che l'insegnamento della fisica fosse focalizzato sulla dimostrazione sperimentale, con la fisica teorica come ipotesi a cui fare attenzione e la matematica relegata ai livelli di studio superiori o allo svolgimento di esercizi. Anche qui è da rimarcare che l'enfasi sperimentale non corrispondeva ad un lavoro in laboratorio, ma al massimo ad una dimostrazione pratica da parte del professore, se la scuola disponeva delle attrezzature necessarie e l'insegnante aveva le capacità adatte. Infatti fino alla fine del secolo non ci sono incentivi a cambiare questa modalità didattica, in quanto la maggioranza degli alunni studiava per esami che non prevedevano una parte di laboratorio e gli studenti che intrapendevano una carriera scientifica erano estremamente pochi.

Questa situazione cambia drasticamente dal 1876, quando era ormai evidente l'arretratezza della ricerca scientifica francese nel confronto con quella tedesca e inglese, situazione che portò il governo ad attuare diverse riforme con l'obiettivo di tornare ad essere competitivi. Innanzitutto separarono a livello amministrativo le università e le scuole, indebolendo la loro connessione, mentre crearono collegamenti tra la facoltà di scienze e l'industria, cercando di ricucire la distanza che c'era stata fino a quel momento. Dal 1885 quest'ultima e le amministrazioni locali ebbero il permesso di finanziare le facoltà scientifiche provinciali, andando a stimolare la ricerca legata allo sviluppo industriale. Oltre alle riforme lo Stato incominciò a investire nella ricerca scientifica: furono stanziati fondi per rinnovare o costruire nuovi edifici e per rifornire i laboratori di attrezzature.

Di pari passo si sviluppò anche l'insegnamento e le metodologie didattiche a livello universitario. Le lezioni non erano più conferenze aperte al pubblico generico, ma effettiva istruzione superiore, anche perché, tra il collegamento con l'industria e la rinnovata ricerca scientifica, crebbero i numeri degli iscritti. Le riforme attuate andarono anche ad indebolire lo stretto controllo centrale, permettendo diverse libertà alle facoltà: i criteri di scelta dei professori, la didattica e i programmi di laboratorio erano determinati in gran parte a livello locale. Questo portò alla diffusione ovunque dei corsi di fisica applicata e del metodo di laboratorio.

Per quanto riguarda la didattica liceale, invece, questo cambiamento non portò a particolari variazioni al curriculum o alle sue modalità didattiche. Questo è suggerito dal fatto che i manuali, come quello di Ganot, rimasero tra i più utilizzati ben oltre queste riforme. Inoltre il fine dello studio della fisica da parte degli studenti liceali era

ancora legato al *baccalaureat es science*.

2.3 Germania

La Germania dell'Ottocento era tra gli Stati più all'avanguardia nel campo della ricerca scientifica, e soprattutto nell'ambito della sua didattica e per questo presa a modello dalle altre nazioni europee⁵. Un primo aspetto che la contraddistingueva era la scuola primaria. Fin dalla fine del Diciottesimo secolo infatti, l'istruzione primaria fu resa obbligatoria negli Stati tedeschi, con una organizzazione tale da rendere effettivamente possibile una alta partecipazione da parte della giovane popolazione.

La scuola secondaria era divisa in due tipologie: il *Gymnasium*, che prevedeva un curriculum classico e che dava accesso all'università e alle cariche civili più alte e la *Realschulen*, che aveva un curriculum focalizzato sulle scienze e le lingue moderne e che aveva lo scopo di preparare per quelle professioni che non necessitavano di una formazione universitaria. Nel corso dell'Ottocento all'interno di quest'ultima tipologia venne istituito anche il *Realgymnasium*, una scuola semi-classica che comprendeva lo studio del latino, ma non del greco.

Al termine del *Gymnasium* era previsto un esame chiamato *Abitur*. Gli studenti che intendevano immatricolarsi nella facoltà di medicina, legge e teologia dovevano riuscire a passare questo test, mentre la facoltà di filosofia poteva ammettere anche studenti che lo fallivano. Per questo ruolo nella carriera scolastica, l'*Abitur* fu molto importante anche nella definizione dell'importanza relative delle varie materie, tra cui la fisica. Fin dalla fine del Diciottesimo secolo la *Naturlehre* (definita principalmente come fisica e alcune parti della chimica) fu identificata come una materia a sé stante ai fini dell'esame, in contrasto con il resto delle scienze, raggruppate nella *Naturgeschichte*. Inoltre la profondità delle domande che venivano poste indica come l'insegnamento della fisica fosse concettualmente sofisticato al ginnasio. All'interno del curriculum essa era insegnata negli ultimi due anni del percorso scolastico: in *Sekunda* venivano presentati gli aspetti non matematici dei fenomeni, e infine in *Prima* si iniziavano a studiare i temi di carattere

⁵Le informazioni che seguono sono tratte da: l'articolo *Education* dell'enciclopedia "Britannica"[15]; Brenni *The Evolution of Teaching Instruments and Their Use Between 1800 and 1930*[21]; Olesko, *Physics Instruction in Prussian Secondary Schools before 1859*[24]; Cahan *The institutional revolution in German physics, 1865-1914*[25]; Black *Grimsehl's laboratory*[26], Olesko *The emergence of theoretical physics in Germany: Franz Neumann & the Königsberg school of physics, 1830-1890*[27]

matematico. Quindi, a differenza dell’Inghilterra e la Francia, in Germania già a livello di scuola superiore si introduceva una formalizzazione di gran lunga maggiore.

Il ruolo della fisica all’interno del curriculum delle *Realschule* era significativamente maggiore rispetto a quello dei *Gymnasium*. Inoltre queste scuole erano state volute e sostenute dagli industriali, e quindi l’istruzione, seguendo le loro necessità, era focalizzata sull’esperienza pratica e il ragionamento induttivo. Uno studio ancora più preciso sulle effettive modalità didattiche utilizzate si trova nell’articolo *Physics Instruction in Prussian Secondary Schools before 1859* di Kathryn Olesko[24], in cui l’autrice va ad analizzare i *Schulprogramme*, documenti pubblicati annualmente dalle scuole che comprendevano un saggio redatto dall’insegnante e un rapporto scritto dal direttore della scuola sulle attività dell’istituto per l’anno. Fin dal Settecento una parte importante della didattica era costituita dall’esperimento dimostrativo. E nonostante la diversità degli obiettivi del *Gymnasium* e delle *Realschule* e la minore quantità di ore dedicate alla fisica nella prima tipologia, questo metodo era diffuso egualmente in entrambe. Anche in quelle scuole che non potevano permettersi di avere un gabinetto abbastanza rifornito, i professori raccontavano con dovizia di particolari gli esperimenti, oppure si ingegnavano per costruire loro stessi le strumentazioni necessarie. Inoltre la diversa disponibilità di apparati sperimentali andava anche ad influire sul programma. Infatti il docente aveva ampio spazio di scelta su di esso e quindi il contenuto dell’insegnamento era spesso determinato da ciò che poteva essere illustrato attraverso l’esperimento in classe. Nel corso dell’Ottocento questo metodo si sviluppò sempre di più. In particolare crebbero di importanza le misure delle grandezze fisiche e di conseguenza la funzione dell’esperimento si spostò dalla semplice illustrazione a una esposizione di come veniva eseguita la procedura sperimentale. Quindi, ancora nella prima metà del secolo, in Germania, gli studenti di scuola secondaria incominciarono ad essere coinvolti nella esecuzione degli esperimenti. Ad esempio:

*“In 1846 the director of the Nordhausen Realschule considered it essential that in addition to learning the laws of nature, students be familiar with those apparatuses necessary to produce phenomena and to have accurate knowledge of the construction and use of the principal and indispensable measuring apparatuses.”*⁶[24]

⁶Nel 1846 il direttore della Nordhausen Realschule considerava essenziale che, oltre ad imparare le

La professoressa Olesko continua l'analisi andando a considerare anche i libri di testo utilizzati. Il *Lehrbuch der mechanischen Naturlehre* di Ernst Gottfried Fischer per l'insegnamento della fisica era il manuale raccomandato dal ministero dell'istruzione, e, nonostante le scuole non fossero obbligate a seguire le indicazioni, era molto diffuso. Questo successo fornisce un'altra interessante differenza rispetto alla Francia e all'Inghilterra. Infatti, oltre alla accurata descrizione delle esperienze e degli apparati di misura, il libro pone attenzione ai metodi matematici e fornisce anche una introduzione rudimentale all'analisi matematica delle misure.

Tutte queste caratteristiche dell'insegnamento iniziarono ad apparire nella prima metà dell'Ottocento e si svilupparono soprattutto grazie all'attività degli stessi insegnanti e delle loro scelte metodologiche. Per questo particolarmente importante fu l'istituzione dell'esame statale per poter diventare insegnanti. La struttura di questo esame ha probabilmente influito sul particolare sviluppo dell'insegnamento della fisica in Germania. Infatti, dal 1839, ai futuri insegnanti di fisica fu richiesto di avere "una stretta conoscenza della costruzione e dell'uso dei più semplici e comuni strumenti fisici". Inoltre un candidato non poteva essere certificato per insegnare fisica senza esserlo anche per matematica e viceversa.

Ancora più che l'esame, l'istruzione che ricevevano i futuri insegnanti durante gli anni universitari andava ad influire sulla loro didattica. Già nella prima metà dell'Ottocento c'erano diversi modi in cui gli studenti universitari potevano ottenere lezioni pratiche di fisica o di discipline ad essa collegate. Nelle università di Bonn, Königsberg e Halle erano stati istituiti dei seminari di scienze naturali, matematica e fisica, che istruivano gli studenti anche attraverso esercizi pratici costruiti per sviluppare le competenze sperimentali. L'istruzione sistematica di laboratorio incominciò a istituirsi dopo il 1860. I primi a creare dei corsi di laboratorio furono Friedrich Kohlrausch (1840 - 1910) a Göttinga, Franz Ernst Neumann (1798 -1895) a Königsberg, Heinrich Magnus (1802-1870) a Berlino e Gustav Kirchhoff (1824 - 1887) a Heidelberg. Ma entro la fine dell'Ottocento tutte le università tedesche avevano uno spazio dedicato al laboratorio degli studenti. Questo era anche legato alla istituzionalizzazione della ricerca scientifica all'interno delle università tedesche. All'inizio del secolo, come succedeva in Francia, il compiuto princi-

leggi della natura, gli studenti avessero familiarità con "quegli apparati necessari per produrre fenomeni" e avessero "un'accurata conoscenza della costruzione e dell'uso dei principali e indispensabili strumenti di misura"

pale dei professori in università era quello di insegnare. I gabinetti di fisica includevano quasi solamente strumenti per le dimostrazioni didattiche, e la ricerca di fisica sperimentale veniva compiuta nei laboratori privati degli scienziati. Nel corso dell'Ottocento ci fu l'istituzionalizzazione della ricerca scientifica tedesca: in tempi diversi, ogni università istituì il proprio laboratorio e i gabinetti di fisica, che inizialmente erano semplicemente collezioni di strumenti, si svilupparono a diventare i moderni istituti di fisica.

L'altro grande motivo che rende la Germania particolarmente all'avanguardia nell'insegnamento e nella ricerca della fisica dell'Ottocento riguarda la fisica teorica. Similmente a quanto abbiamo accennato nel capitolo dedicato alla Francia, la connessione tra comunità dei matematici e dei fisici era molto profonda. Dal lavoro della professoressa Olesko *The emergence of theoretical physics in Germany: Franz Neumann & the Königsberg school of physics, 1830-1890*[27] si evince come alcuni fisici e matematici tedeschi, come Neumann e Gauss, incominciarono, fin dall'inizio dell'Ottocento, a promuovere un uso maggiore della matematica a supporto della fisica. Tra i due scienziati c'era però una grande differenza. Gauss era un matematico, per cui si inserisce più chiaramente all'interno della fisica matematica, cioè un tipo di studio più incentrato sulla matematica che sulla fisica dei problemi posti. Dall'altra parte Neumann, invece, considera la matematica come strumento per approfondire la conoscenza fisica. Nel 1830 a Königsberg si può quindi far risalire il primo vero insegnamento di fisica teorica, che andò poi a diffondersi in tutte le altre università. Nonostante questo, ancora nella prima metà del Novecento, la fisica teorica era considerata molto meno importante di quella sperimentale: le cattedre e gli istituti di fisica teorica erano di meno, e questi ultimi erano significativamente più piccoli e meno finanziati di quelli di fisica sperimentale.

Riassumendo, anche in Germania la fisica aveva un carattere prevalentemente sperimentale. Rispetto agli altri stati europei in Germania la scienza assume nell'Ottocento una importanza rilevante, cosa che ha portato a grossi finanziamenti sia alle università che alle scuole superiori, con conseguente creazione di spazi appositi per i laboratori, non solo per la ricerca, ma anche per la sperimentazione da parte degli studenti.

2.4 Italia

Per quanto riguarda l'Italia, il periodo qui considerato è solo quello successivo al 1861, perché esula dagli scopi di questo capitolo andare ad analizzare la situazione pre-unitaria.

Quello di cui tratta la sezione è il contesto in cui si trovò Augusto Righi, da studente prima e insegnante poi. Per questo, il presente capitolo sarà diviso in tre parti: una dedicata alla sola scuola secondaria superiore, una al sistema universitario nel suo completo e infine una all'Università di Bologna.

2.4.1 Scuola secondaria

Nel periodo di nostro interesse la scuola italiana era organizzata secondo la *Legge Casati* del 1859 dal nome dell'allora ministro della Pubblica Istruzione⁷. Tale organizzazione rimarrà pressoché invariata fino al 1923, anno della *Riforma Gentile*. La scuola superiore si suddivideva in due percorsi: l'Istruzione Classica che era pensata per la formazione della futura classe dirigente e dava accesso a tutte le facoltà universitarie; l'istruzione Tecnica, dopo la quale l'accesso ad ulteriori studi era consentito solo in alcune circostanze che saranno specificate nel seguito. La prima era suddivisa in cinque anni di Ginnasio, ulteriormente diviso in inferiore e superiore, e in tre anni di Liceo che fino all'istituzione nel 1911 del Liceo Moderno era solo di indirizzo classico. Quella Tecnica era invece divisa in diversi settori che variavano a seconda degli ordinamenti vigenti, tra i più frequentati c'erano gli indirizzi industriale e fisico-matematico, i quali permettevano di accedere alle facoltà scientifiche e alle scuole di specializzazione per ingegneri.

Per quanto riguarda l'insegnamento della fisica alcune considerazioni si possono trarre dai quadri orari dei diversi piani di studio. In primo luogo si nota che compare come materia d'insegnamento "fisica e chimica" o "fisica ed elementi di chimica"; infatti è solo con la *riforma Gentile* che la chimica venne abbinata alle scienze naturali e la fisica alla matematica, come siamo abituati ad avere ora. Questo ha probabilmente radici nella ricerca scientifica. Infatti all'epoca i fisici si occupavano di molti problemi che ora consideriamo di ambito chimico-fisico, e la connessione tra le due discipline era molto più forte. Inoltre, tale accoppiata fisica-chimica fa intuire il diverso legame che aveva la fisica con la matematica nell'insegnamento dell'Ottocento, e palesa anche l'importanza delle dimostrazioni sperimentali. Infatti quando ci fu la *riforma Gentile* e il conseguente abbinamento "fisica-matematica" molti fisici si rivelarono contrari, e parte delle motivazioni erano legate al fatto che gli insegnanti di matematica non fossero

⁷Le informazioni contenute in questo paragrafo sono tratte dall'articolo del 2010 di Marazzini *Didattica della Fisica nella Scuola Secondaria Superiore dal 1870 al 1940: Analisi dei libri di testo*[13]

abbastanza formati nell'attività di laboratorio, ritenuta fondamentale per l'insegnamento della fisica.

Leggendo i piani di studio liceali si nota una controtendenza rispetto a quanto visto in l'Inghilterra: invece di un aumento della diffusione, si ha una progressiva riduzione dello studio della fisica. Inizialmente infatti si prevedevano quattro ore e mezza a settimana per gli ultimi due anni di liceo, con un peso percentuale di 8% rispetto al totale (contro il 3,4% attuale); nel 1888 poi, una prima modifica portò da nove a sette le ore dedicate all'insegnamento della fisica, che passeranno infine a cinque con la *riforma Gentile*. Nonostante la riduzione del numero di ore il programma rimase pressoché invariato, il che suggerisce come la materia, che ricordiamo comprendeva anche la chimica, dovesse essere poco approfondita.

Negli istituti tecnici la fisica aveva molto più spazio. Nel primo quadro orario essa veniva insegnata nel biennio comune con 3 ore settimanali e nei bienni di indirizzo industriale (3 ore di fisica generale in classe terza e 4 ore di fisica applicata in classe quarta) e fisico-matematico (3 ore di fisica in classe terza e 3 di meccanica in classe quarta). Il programma, nonostante la quantità di ore molto superiore, ricalcava abbastanza fedelmente quello del liceo. Nel 1876 il piano cambia in cinque ore settimanali per tutti gli indirizzi al terzo anno, quattro ore di fisica applicata all'ultimo anno di quello industriale e tre di fisica complementare per quello fisico-matematico. I due indirizzi nominati vengono aboliti con la *riforma Gentile*, la quale toglie la possibilità dell'accesso all'Università agli studenti degli istituti tecnici. In sostituzione c'è l'istituzione del Liceo Scientifico della durata di quattro anni, al cui termine si poteva accedere a tutte le Università con l'eccezione di Lettere e Filosofia e Giurisprudenza.

Come visto nei capitoli precedenti la componente sperimentale è considerata fondamentale nella didattica dell'Ottocento. E così è anche in Italia, come mostrano le rimostranze rispetto al progetto di unione dell'insegnamento della matematica e della fisica. Anche le note del quadro orario del Liceo Classico del Regio Decreto del 1888 sembrano avvalorare questa ipotesi in quanto specificano che la spiegazione dei fenomeni deve essere accompagnata dalle esperienze. Ma, come già visto anche nel contesto estero, questo non significa una pratica sperimentale da parte degli alunni.

Una prima conferma sono le esposizioni degli esperimenti che si trovano nei libri di testo dell'epoca. Infatti non vi è una particolareggiata descrizione dell'apparato, come il valore dei parametri, o dei problemi che si possono riscontrare nell'attuazione dell'e-

sperienza, ma è una presentazione pensata per convincere della bontà della teoria. E le collezioni, anche molto ricche, dei licei e degli istituti dell'epoca contengono strumenti non finalizzati all'uso da parte degli studenti, ma piuttosto per dimostrazioni cattedratiche. L'unico accenno esplicito all'uso del laboratorio da parte degli studenti compare nel programma del Liceo Moderno, che prevede alcune ore specifiche di lavoro sperimentale e di risoluzione di problemi. Questa tipologia di scuola ha però breve durata, poco più di dieci anni dal 1911 al 1923, e questa obbligatorietà viene tolta nel Liceo Scientifico istituito dalla *riforma Gentile*. Quindi la scuola superiore italiana, nonostante la predominanza di ricerche prettamente sperimentali della comunità scientifica e il ritardo nello sviluppo della fisica teorica rispetto al resto dell'Europa, non vede quello sviluppo del metodo di laboratorio di cui parlava Werner nell'articolo citato. Per avere un grosso slancio in questa direzione bisogna aspettare la metà del Novecento e il PSSC (*Physical Science Study Committee*), progetto del MIT per l'insegnamento della fisica che ebbe un forte seguito in Italia dopo il 1960.

Per quanto riguarda l'uso della matematica nell'insegnamento della fisica la situazione era in linea con il livello europeo. Infatti nelle "Avvertenze relative al programma di Fisica ed elementi di Chimica" del Regio Decreto del 1888 vi è specificato:

“Nell'insegnamento della fisica, che dev'essere, al più possibile sperimentale e induttivo, il professore, tralasciando tutte le dimostrazioni matematiche più difficili, nei vari casi in cui la scienza odierna richieda la deduzione si contenti di asserire che con l'aiuto delle matematiche dai postulati si deducono rigorosamente le leggi, e dia le sole formole che esprimono le leggi naturali più importanti”

Secondo questa nota la spiegazione doveva quindi essere presentata in modo induttivo e descrittivo, e nella maggior parte dei testi questa indicazione venne rispettata, per cui spesso le formule vengono fornite senza dimostrazione matematica o quasi. Un ultimo aspetto della didattica odierna quasi totalmente trascurato nell'insegnamento dell'Ottocento è l'uso degli esempi numerici e il riferimento agli ordini di grandezza degli elementi in gioco. Come per l'aspetto matematico, anche questa tendenza è esplicitata nelle avvertenze del Regio Decreto del 1888 in cui, dovendo limitare il più possibile l'estensione del programma per mancanza di tempo, viene indicato di eliminare tutti i dati numerici non strettamente necessari.

Come per il laboratorio didattico, in controtendenza è il liceo Moderno che prevedeva delle ore dedicate alla risoluzione di problemi di fisica, ma, probabilmente per la sua breve esistenza, non ha portato a cambi significativi nello sviluppo della didattica della fisica, tanto che questa tendenza a non fornire indicazioni sugli ordini di grandezza in gioco o esempi numerici la si può ritrovare fino agli anni Ottanta del Novecento.

Riassumendo, l'insegnamento della fisica a livello di scuola superiore era presente in tutti i percorsi formativi, seppur con peso diverso. La didattica era tendenzialmente descrittiva e fenomenologica, le leggi erano presentate attraverso esperimenti compiuti dal professore o solo descritti, e con una formalizzazione matematica molto leggera.

2.4.2 Università

La raccolta di testi di Carlo Matteucci citata nell'introduzione è un resoconto completo della situazione dell'istruzione pubblica italiana.⁸ I punti cardine di questa panoramica sono esposti da Fiorentino in un articolo della *Nuova Antologia di scienze, lettere ed arti* del 1868[28]. Uno dei problemi affrontati è la quantità di università e istituti superiori presenti in Italia. Nel 1861 infatti, l'Italia si ritrovò con diciannove università (quindici statali e quattro libere) e sei istituti o scuole superiori, con l'onere di finanziarle e gestirle con un sistema centralista e statalista. Questo numero non era eccessivo di per sé (in Germania il numero era anche maggiore); tuttavia, l'Italia aveva un grosso problema di analfabetismo e quindi il numero di studenti dal 1860 al 1900 che usufruirono dell'istruzione superiore era solo lo 0,64%-0,7% della popolazione. Oltre alle politiche attuate per potenziare la scuola primaria, molti, tra cui Matteucci in particolare, lavoravano per cercare di ridurre il numero delle università, ma senza risultati. Anzi nel 1927 le università salirono a ventuno, le scuole di ingegneria a undici mentre erano stati fondati nuovi istituti superiori o scuole, come scienze politiche e magistero. Parte delle ragioni stanno

⁸Le informazioni contenute in questa sezione sono tratte da: Focaccia, *Pietro Blaserna and the Birth of the Institute of Physics in Rome: A Gentleman Scientist at Via Panisperna*[9]; Giuliani *Il Nuovo Cimento - Novant'anni di fisica in Italia 1855-1944*[12]; Brenni, *The evolution of teaching instruments and their use between 1800 and 1930*[21]; Fiorentino, *Raccolta di scritti vari introno all'istruzione pubblica dell senatore Carlo Matteucci*[28]; Droscher, *Le facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali in Italia (1860-1915)-Repertorio delle cattedre e degli stabilimenti annessi, dei docenti, dei liberi docenti e del personale assistente e tecnico*[29]; Bordoni, *Caratteri e stagioni della fisica*[30]; Matteucci, *Sullo stato attuale delle scienze fisiche in Italia e su alcune macchine di fisica, per Pietro Blaserna*[31]; Rossi, Battimelli e La Rana, *Masters and students in italian physics between the 19th and 20th centuries: the felici-bartoli-stracciati-corbino case*[32]

nel fatto che le autorità locali erano ferme nella volontà di mantenere la propria istituzione di formazione superiore. Non potendo ridurre il numero delle università, Matteucci propose allora di dividerle in due: Bologna, Pavia, Pisa, Napoli, Palermo e Torino (e in seguito Padova e Roma) in prima classe e Cagliari, Catania, Genova, Siena, Macerata, Messina, Modena e Parma in seconda classe. La grossa differenza tra le due classi era la quantità di finanziamenti stanziati. La proposta di Matteucci divenne legge nel 1862.

Come già accennato le università si dividevano in statali e libere. Queste ultime non erano private o confessionali, tipologia che all'epoca non esisteva, ma erano finanziate e amministrare a livello locale invece che statale. Il piano di studi era comunque stabilito dal Ministero, e infatti il problema più grosso delle università libere era di soddisfare i requisiti imposti dal ministero per la possibilità di conferire lauree e diplomi. Nel 1873, con la soppressione di Teologia, le facoltà passarono da cinque a quattro: Filosofia e Lettere, Giurisprudenza, Medicina e Chirurgia, Scienze matematiche, fisiche e naturali. Oltre a queste c'erano le scuole di formazione superiore come la Scuola d'applicazione per ingegneri.

A differenza delle altre facoltà quella di scienze ebbe una storia complessa. Infatti fu istituita circa nel 1862 dall'unione di materie che provenivano da diversi campi di studio, dalla facoltà di medicina alle scuole di ingegneria, e nelle varie regioni la sua formazione ebbe tempi diversi. Inoltre alla sua istituzione lo scopo era soprattutto di ausilio al resto delle discipline, infatti nel primo articolo del Regolamento del 1875 era scritto che il fine primario era la promozione della cultura scientifica nazionale, il secondo quello di fornire i corsi delle materie scientifiche agli studenti di medicina e farmacia, il terzo era l'abilitazione all'ammissione alle scuole di applicazione per ingegneri e all'ultimo posto prevedeva di preparare gli studenti al conseguimento dei diplomi di insegnamento speciale. Solo nel 1907 questi quattro scopi cambiarono di priorità, con l'abilitazione per gli ingegneri al quarto posto dopo la formazione per l'insegnamento. I corsi di laurea disponibili erano fissati dal Ministero attraverso il Regolamento e variarono diverse volte nel corso dell'Ottocento, ma la struttura di base rimase invariata. Infatti in tutti i regolamenti gli insegnamenti si dividevano in quattro corsi di laurea riconducibili alle quattro classi originali: matematica, fisica, chimica e storia naturale.

All'interno dei piani didattici del corso di laurea in fisica si nota una caratteristica già evidenziata nel capitolo sulla scuola secondaria: la prevalenza della fisica sperimentale su quella teorica. Infatti, mentre il corso principale è di fisica sperimentale, i corsi

di fisica complementare compaiono solo dal 1903[29]. Questo è in linea con quanto trovato da Giuliani nel suo studio del 2019 sulla rivista il *Nuovo Cimento*[12], la più importante rivista italiana di fisica dell'Ottocento. Da esso risulta come ci fosse una forte predominanza della fisica sperimentale su quella teorica e matematica, come si deduce dal fatto che, nel periodo dal 1855 al 1944, la percentuale dei lavori sperimentali fosse 48,04%, seguita da quelli teorici al 17,15% e da quelli di fisica matematica al 6,69%. Il discorso è diverso per quanto riguarda la fisica matematica, che compare nei piani didattici fin da subito: questa materia, che si distingue dalla fisica teorica non tanto per l'uso della matematica, ma soprattutto per la priorità tra questa e gli aspetti fisici e il rapporto con gli esperimenti, era infatti istituzionalmente praticata da matematici.

La comunità scientifica italiana era particolarmente piccola rispetto agli altri paesi, ad esempio nel 1900 il numero di fisici in Germania era il doppio che in Italia. Andando a contare i fisici accademici (professori ordinari, straordinari e incaricati, e considerando anche gli assistenti e i liberi docenti) nel biennio del 1862-63 erano solo 21, per arrivare a 71 nell'anno accademico 1899-900. Questi erano divisi in venti università, sei scuole di ingegneria e un istituto superiore. Quindi il numero di fisici all'interno di uno stesso ateneo era di qualche unità, solitamente un professore ordinario e un assistente, a cui si aggiungeva un tecnico. Anche il numero di laureati in fisica era piuttosto ridotto, ancora nel primo decennio del Novecento si aveva una quindicina di laureati all'anno. A questi numeri bisogna poi aggiungere quelli dei professori di fisica delle scuole secondarie, i quali avevano la possibilità di essere attivi ricercatori. Anzi molti dei fisici più importanti iniziarono la carriera scientifica da incarichi nella scuola secondaria, tra gli altri anche Augusto Righi.

Particolarmente interessante per gli scopi di questo lavoro, risultano le idee sulla fisica e il suo insegnamento dei protagonisti: tra l'altro, visti i numeri limitati, l'opinione del singolo, in particolare se era una delle personalità importanti, andava ad influire su tutto il movimento.

Due di questi sono i già nominati Pietro Blaserna e Carlo Matteucci. È stato già citato l'opuscolo che ha scritto il primo in occasione dell'Esposizione universale di Parigi del 1867, ove egli lamenta dapprincipio che, pur essendoci sempre stati grandi scienziati in Italia, come Volta, Galvani o Melloni, questi non hanno mai formato una scuola per educare i giovani scienziati. Blaserna procede poi con un confronto con l'insegnamento in Germania, dove lui si era formato. Nei paesi tedeschi la lezione frontale risulta meno

importante rispetto alla frequentazione dei Gabinetti e dei laboratori, dove gli studenti imparano a sperimentare sotto la guida del professore. Al contrario, sostiene Blaserna, in Italia si danno bellissime lezioni di fisica, ma non si insegna a maneggiare gli apparecchi o a discutere i metodi. Questo non deve sorprendere rispetto a quanto detto sulla predominanza dell'aspetto sperimentale della fisica. Infatti, come visto anche per gli stati esteri, questo sperimentalismo si traduceva a livello didattico più attraverso le dimostrazioni alla cattedra che non al lavoro di laboratorio degli studenti.

Rispondendo a questo opuscolo Matteucci sostiene come la situazione non sia così disperata come la dipinge Blaserna, e come il grosso problema stia piuttosto nella concezione che dello studio scientifico ha la popolazione, per cui gli studenti non sono portati a ricercare quelle occasioni che permetterebbero di partecipare delle attività di laboratorio. Infatti, ricorda Matteucci, nel regolamento universitario si stabilisce che debbano esserci dei corsi di esercizi pratici in tutte le Scuole sperimentali. Ma l'esistenza di questo corso non indicava per forza che agli alunni era dato accesso ai laboratori; anzi, l'ammissione era solitamente garantita a pochi studenti dotati. Una problematica non considerata dai due scienziati, quanto meno in questi scritti, è lo stato economico delle facoltà scientifiche. Infatti per poter far sperimentare gli studenti servivano laboratori ben attrezzati che erano costosi da mantenere. Queste risorse non erano sempre disponibili, con i professori che spesso lamentavano dello stato del gabinetto di fisica della propria università, e ciò può in parte spiegare il diverso avanzamento istituzionale rispetto agli stati europei visti nei capitoli precedenti.

Per avere una visione più chiara della situazione è utile andare anche a considerare la situazione particolare di alcune università, e per la storia e le caratteristiche che avevano si è scelto l'Università di Pisa e quella di Roma. L'Università di Pisa era ai vertici dell'insegnamento della fisica sperimentale e della matematica. Fu la prima, nel 1844, a costruire un edificio apposito per il proprio Istituto di fisica, proprio sotto la direzione scientifica di Carlo Matteucci, il quale serviva sia la ricerca che la didattica.

Parte del motivo per cui era così all'avanguardia sta nella presenza della Scuola Normale. Essa era stata fondata da Napoleone nel 1810 e, se originalmente aveva come scopo la formazione degli insegnanti di scuola secondaria, come accadeva con i corrispettivi istituti francesi, divenne ben presto un luogo di formazione per fisici e matematici votati alla ricerca. Con questo scopo i normalisti avevano corsi aggiuntivi, avevano a disposizione più laboratori di chimica e fisica e un'educazione avanzata di matematica

che spesso era basata sui campi di ricerca dei professori stessi.

Un altro aspetto che rende l'Università di Pisa un caso particolare è il rapporto con la fisica teorica. Infatti, sebbene per la prima cattedra di fisica teorica si debba aspettare il 1926, si trova qui una attenzione agli aspetti teorici della disciplina non comune. Questa accortezza era probabilmente data dalla presenza di Riccardo Felici (1819-1902) alla cattedra di fisica sperimentale dal 1859. Le idee di Felici sui temi della didattica offrono un quadro abbastanza buono dell'insegnamento impartito all'epoca e per questo motivo verranno brevemente descritte in seguito.

Felici aveva studiato sempre a Pisa, dove fu allievo di Ottaviano Fabrizio Mossotti, professore di fisica matematica, e di Carlo Matteucci, professore di fisica sperimentale. Il rapporto con queste due figure durante i suoi anni formativi lo portarono ad avere una attenzione più bilanciata tra gli aspetti sperimentali e teorici dei fenomeni fisici, e questo influenzò il suo insegnamento. Antonio Roiti, che fu studente e anche assistente di Felici, nella commemorazione del suo professore ricorda come fosse convinto che gli studi di fisica separati da quelli matematici non avrebbero portato a molto, e come invitasse i suoi colleghi matematici a occuparsi anche di domande di fisica. In contrasto con lo sviluppo europeo e in particolare tedesco, Felici era però riluttante ad aprire il laboratorio agli studenti, non essendo convinto dei benefici che gli studenti potevano trarre dal compiere esercizi pratici.

Su quest'ultimo aspetto totalmente diversa era la situazione dell'Università di Roma sotto la direzione di Pietro Blaserna. Infatti per il fisico friulano il vero insegnamento della fisica iniziava dopo la lezione frontale, quando lo studente entrava in laboratorio. Nel 1872 gli fu assegnata la cattedra di Fisica a Roma e gli fu affidato il compito di costruire il nuovo Istituto di Fisica, il famoso Istituto di via Panisperna, di cui sarebbe diventato direttore. Per questo scopo quello stesso anno fece un viaggio in Germania visitando gli istituti tedeschi per raccogliere quanto di buono si era fatto nella loro costruzione e quindi progettare il proprio nel migliore dei modi. L'edificio comprendeva tutti gli spazi necessari per attuare la tipologia di didattica auspicata da Blaserna, con diverse stanze pensate per diversi tipi di sperimentazione a seconda delle esigenze. Oltre agli spazi Blaserna organizzò con precisione anche l'insegnamento, dividendolo in parte teorica e sperimentale. Con "teorica" non si intendeva l'insegnamento della fisica teorica, ma le lezioni frontali tenute dal professore secondo la pratica tradizionale dei corsi di fisica sperimentale. La parte rivoluzionaria era dunque quella sperimentale, soprattutto perché

era obbligatoria per tutti i partecipanti, anche per gli studenti di medicina. In questa parte gli studenti venivano divisi prima in gruppi e successivamente a coppie e svolgevano esercizi di laboratorio, compresi di relazione successiva.

Nonostante la visione radicale di Blaserna sul corretto insegnamento della fisica, l'istituto di via Panisperna vede un'altra novità assoluta, e cioè l'istituzione nel 1906 della prima cattedra di fisica complementare. Come suggerisce il nome questo corso fu istituito per introdurre gli studenti del corso di fisica ai temi più avanzati che non erano inclusi nel corso generale. La caratteristica che rese particolare questo corso non riguarda gli argomenti, ma è metodologica, poiché la disciplina era trattata con una formalizzazione molto superiore rispetto al corso generale. È quindi un primo avvicinamento alla fisica teorica.

In conclusione, in Italia la situazione era in generale arretrata rispetto al resto dell'Europa, sia per quanto riguarda il laboratorio didattico, a cui solitamente potevano accedere solo pochi studenti, sia per l'insegnamento di fisica teorica, totalmente trascurato fino alla prima metà del Novecento. Nonostante questo quadro generale non favorevole, andando nello specifico delle università e dei singoli docenti si trovano diverse eccellenze.

2.4.3 Università di Bologna

L'Università di Bologna è principalmente conosciuta per essere la più antica università italiana ed europea⁹ Tra le molte eccellenze l'ateneo può vantare una grande tradizione scientifica e in particolare sperimentale. Per citarne solo alcuni degli scienziati dei due secoli precedenti a quello di nostro interesse si ricordano: Marcello Malpighi (1628-1694), Laura Bassi (1711-1778), Luigi Galvani (1737 - 1798) e il suo allievo e nipote Giovanni Aldini (1762-1834). Nel 1862, con la legge Matteucci, Bologna venne inserita tra le sei maggiori università italiane. Al momento dell'Unità di Italia il numero di cattedre e di istituti della facoltà di scienze era relativamente elevato e presentava molti nomi prestigiosi, non solo Augusto Righi, ma anche Giacomo Ciamician (1857-1922)

⁹Le informazioni contenute in questo capitolo sono tratte da: Dragoni, Cinti *Per una storia dell'insegnamento della fisica nell'università di Bologna. Gli insegnamenti nel biennio di ingegneria*[8], Droescher, *Le facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali in Italia (1860-1915) - Repertorio delle cattedre e degli stabilimenti annessi, dei docenti, dei liberi docenti e del personale assistente e tecnico*[29]

per la chimica, Giovanni Capellini (1833-1922) per la geologia e i matematici Salvatore Pincherle (1853-1936) e Federigo Enriques (1871-1946).

Come visto anche per le università di Pisa e Roma, le caratteristiche della didattica della fisica dipendono fortemente dallo scienziato che detiene la cattedra. Il professore era incaricato dei corsi di fisica di tutti gli indirizzi che lo prevedevano: fisica, chimica, matematica, medicina, ingegneria, farmacia, e altri. Lorenzo Della Casa (1803-1870) ad esempio, fu professore di fisica sperimentale nel periodo dell'Unità di Italia, e mantenne l'incarico dal 1851 al 1870. In questo periodo forte fu l'influenza dell'insegnamento francese. Conseguentemente il professore adottò come libri di testo: *Éléments de physique expérimentale et de météorologie* di Claude-Servais-Mathias Pouillet (1790 - 1868), professore all'*Ecole Polytechnique* e all'Università di Parigi, e il già nominato *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de météorologie* di Adolphe Gannot. La didattica bolognese era in linea con le modalità diffuse nel resto d'Europa, con il forte approccio sperimentale nella modalità vista nei capitoli precedenti.

Nel 1870 a Della Casa successe Emilio Villari (1836-1904) il quale, dopo aver studiato presso l'Istituto Superiore di studi pratici e di perfezionamento di Firenze, terminò la sua formazione a Berlino dove frequentò il laboratorio di Gustav Magnus (1802-1870), chimico e fisico tedesco che ricordiamo essere tra i fisici che per primi proponevano un corso sistematico di laboratorio di fisica. Tale elemento è particolarmente importante perché, come successe con Pietro Blaserna a Roma, portò a Bologna quelle metodologie didattiche. Come afferma Dragoni nell'articolo *Per una storia dell'insegnamento della Fisica nell'Università di Bologna*:

“Nell'insegnamento delle scienze fisiche a Bologna venne offerto un concreto approccio sperimentale. Gli allievi assistevano a dimostrazioni, apprendevano l'uso di apparecchi e strumenti di fisica, venivano addestrati, si direbbe, a metodologie misurative, alla verifica delle leggi scientifiche, alla riproduzione di esperimenti, al confronto tra grandi costruzioni teoriche l'una contrapposta all'altra.”[8]

Questa modalità didattica non appartiene solo a Villari, anzi fu portata avanti e approfondita da Augusto Righi, suo studente ed assistente, che gli successe quando, nel 1889, Villari lasciò Bologna per ricoprire la carica di professore di Fisica Sperimenta-

le, direttore dell'Istituto di fisica all'Università di Napoli e direttore dell'Osservatorio vesuviano.

Come abbiamo avuto modo di vedere nell'introduzione Augusto Righi fu una figura importante nella ricerca scientifica internazionale, e anche, nel suo ruolo di senatore del Regno, nella politica italiana. Il prossimo capitolo sarà invece dedicato all'altro grande tema che lo renderà un personaggio di spicco nella comunità dei fisici italiani: la sua didattica.

Capitolo 3

Augusto Righi e l'insegnamento della fisica

Augusto Righi non era solo un celebre scienziato, ma anche un abile conferenziere ed insegnante, molto stimato sia dai colleghi che dagli allievi. Ne è un segno la festa giubilare per i suoi venticinque anni di insegnamento universitario, che coincide anche con l'inaugurazione dell'Istituto di Fisica bolognese, da lui voluto e a lui, oggi, dedicato. Per l'occasione in tantissimi, tra cui i più illustri scienziati dell'epoca, scrivono per congratularsi, e in diversi prendono parola alla cerimonia. Tra questi, a nome degli studenti presenti e passati, si trova Pietro Cardani (1858-1924), fisico e politico italiano e suo allievo nel periodo palermitano, che racconta anche della sua esperienza alla prima lezione di Righi a Palermo:

“Io ebbi, infatti, la fortuna di assistere alla vostra prima lezione universitaria da Voi tenuta a Palermo; e quella lezione, mirabile per eleganza di forma, per armonia di parola, per chiarezza di idee, per profondità di concetti, mi è ancora scolpita nella mente come uno di quegli avvenimenti, che lasciano nella vita una impronta incancellabile.” [33]

Sebbene Righi non abbia mai pubblicato articoli esplicitamente rivolti alla didattica della fisica, il suo interesse per essa è evidente nei sussidi didattici che ci ha lasciato. Parte di questo materiale consiste in alcune di quelle lezioni di cui Cardani parla con così tanta stima. Infatti nel corso dell'Ottocento era ben radicata, tra i professori universitari, la consuetudine di redigere appunti e dispense per gli studenti che frequentavano i loro corsi.

Gli appunti erano raccolti dagli allievi migliori, sottoposti al docente per le correzioni e infine stampati da litografi locali[8]. I manoscritti presi in esame in questa tesi fanno probabilmente parte di questa tradizione, e di essi tratteremo dettagliatamente nelle prossime sezioni. Altri due esempi basati su fonti storiche e relativi all'insegnamento di Righi si trovano nel libro *Nascita e sviluppo dell'ingegneria all'Università di Bologna* all'interno del capitolo di Dragoni e Cinti (*Per una storia dell'insegnamento della Fisica nell'Università di Bologna*), riferiti ai corsi di fisica tenuti a Padova nel 1885/86 e a Bologna nel 1901/02.

Oltre alle stampe per uso didattico, Righi scrisse anche diversi libri a carattere divulgativo. Ad esempio *L'ottica delle oscillazioni elettriche* (Zanichelli: Bologna, 1897), *La moderna teoria dei fenomeni fisici* (Zanichelli: Bologna, 1904) e *Comete ed elettroni* (Zanichelli: Bologna, 1911), che sono stati ristampati nel 2020 in occasione dei 100 anni dalla scomparsa del celebre scienziato.¹

Un'altra componente importante dei sussidi didattici lasciatici da Righi è quella degli strumenti. Righi era un abilissimo sperimentatore anche per la sua inventiva nel progettare gli apparati. È quindi naturale che la stessa capacità si presenti anche nella costruzione di strumenti per le dimostrazioni didattiche.

Nella Collezione del dipartimento ci sono diversi strumenti didattici e tra questi molto interessante è il doppio pendolo (il cui schema è presente nella figura 3.1). Una sua esaustiva descrizione è contenuta nella nota dello stesso Righi (*Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari*) pubblicata nel *Rendiconto delle Sessione della R. Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna* del febbraio 1894, e riassunta da Bartorelli in una nota del *Nuovo Cimento* dello stesso anno[34]. Lo scopo del pendolo era la composizione di due moti pendolari per la riproduzione delle curve di Lissajous. All'epoca in diversi avevano costruito degli apparecchi, che però risultavano o complicati e costosi oppure semplici, ma con grossi inconvenienti pratici. Invece “*L'apparecchio*

¹I contributi alla divulgazione sono numerosi e comprendono anche stampe di alcune conferenze tenute dallo scienziato, come: *Le nuove vedute sull'intima struttura della materia* (Zanichelli: Bologna, 1907) che contiene il discorso del 25 ottobre 1907 in occasione del congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze; *Il Radio* (Zanichelli: Bologna, 1904) che nasce dalla conferenza fatta alla sezione bolognese dell'Associazione Elettrotecnica il 25 maggio 1904; ed anche il già citato *Comete ed elettroni* ha origine dal discorso inaugurale nella seduta plenaria della R. Accademia delle Scienze di Bologna del 22 giugno 1910. Un altro libro che merita menzione in quanto specificatamente divulgativo è *La telegrafia senza filo* (Zanichelli: Bologna, 1903), che Righi scrisse in collaborazione con Bernardo Dessau (1863 - 1949) (suo assistente per quindici anni dal 1891 al 1905[29]). Quest'ultimo libro, ma anche altri come *La moderna teoria dei fenomeni fisici*, vennero tradotti in tedesco e in francese.

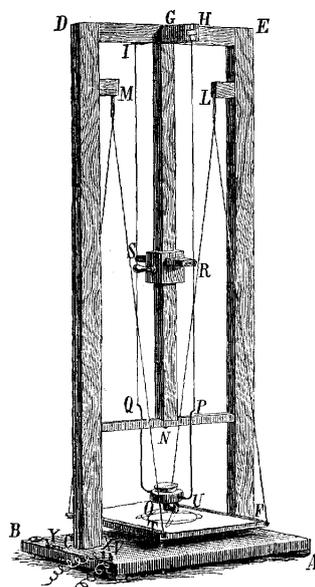


Fig. 1.

Figura 3.1: *Schema del doppio pendolo di Righi[34]*

da lezione che l'A. descrive è esente dai difetti che hanno gli apparecchi congeneri, pur essendo di facile e poco costosa costruzione” [34]. Il pendolo è composto da un robusto telaio in legno compreso di righelli orizzontali (GH , GI , L ed M) e uno verticale GN . Su di esso sono fissati i due pendoli: uno è costituito da una specie di imbuto che può essere riempito di sabbia ed è appeso, tramite due aste in ottone e due molle, alle estremità dei regoli H e I ; l'altro è composto da una tavola orizzontale TU sospesa in L ed M tramite due molle e quattro aste di ottone. Il secondo pendolo può oscillare in un piano perpendicolare al piano di oscillazione del primo, per cui, quando i due pendoli oscillano contemporaneamente, la sabbia disegna sulla tavola le curve di Lissajous. Questo è uno dei più celebri strumenti didattici inventati da Righi, ma vedremo come l'inventiva sperimentale del Professore si traduce anche nella trasformazione di strumenti pensati originariamente per altri scopi.

Come visto nell'introduzione, dopo il periodo trascorso a Padova Righi succede al suo maestro Villari come Professore Ordinario di Fisica Sperimentale a Bologna. Come tale Righi tenne il corso di fisica medica per la Facoltà di Medicina e il corso di fisica sperimentale alla Facoltà di Scienze Fisiche Matematiche e Naturali ². I registri di que-

²Archivio Storico Università di Bologna, registri delle lezioni di Augusto Righi

ste lezioni presenti in archivio, riferiti agli ultimi dieci anni di insegnamento di Righi, mostrano come il primo corso avesse la durata di un anno e gli argomenti spaziassero dallo studio del suono, alla termodinamica, l'elettricità, la luce, l'etere e la spettroscopia. Il curriculum del secondo corso era invece diviso su due anni, di cui il primo trattava del suono, le onde, la termodinamica, la luce e l'ottica; e il secondo affrontava quasi interamente dei fenomeni elettrici, elettromagnetici, la radioattività e l'ottica delle oscillazioni elettriche.

In parallelo a questi corsi Righi teneva, fin dal primo anno della sua docenza a Bologna, anche un corso libero dal titolo: *Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*, ed è su di esso che si focalizzeranno le prossime sezioni.

3.1 Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano

Il materiale di archivio relativo a questo corso, che costituisce la fonte principale per lo sviluppo della presente tesi, è conservato nell'archivio storico dell'Università di Bologna e nell'archivio del dipartimento di fisica e astronomia "Augusto Righi".

I fascicoli custoditi in dipartimento sono particolarmente interessanti perché contengono una frazione degli appunti del corso sopracitato. Questo corso comprende due parti, la prima dedicata ai fenomeni dell'atmosfera e la seconda a quelli del corpo umano. I faldoni di appunti sono invece divisibili in tre: due scritti a mano e riferiti alla prima parte e uno battuto a macchina e relativo alla seconda metà.

Tutte le dispense sono titolate con il numero della lezione a cui si riferiscono, per cui si può velocemente capire che della parte relativa al corpo umano non si sono conservate che la trentanovesima e la quarantesima lezione (numeri che si riferiscono probabilmente alla totalità del corso), di cui quest'ultima solo parzialmente. Per la prima parte del corso invece, uno dei due plichi contiene solo tre lezioni, mentre l'altro è composto da quindici lezioni e corrisponde al corso completo. Questo lo si intuisce anche dalla prima pagina dell'ultimo fascicolo (figura 3.2.b) su cui si legge "*Quindicesima e **ultima** lezione del Corso Libero sui Fenomeni dell'atmosfera*"

Il fatto che ogni lezione sia numerata permette anche di fare confronti tra i diversi manoscritti trovati e tra essi e i registri delle lezioni dell'archivio storico. Ad esempio,

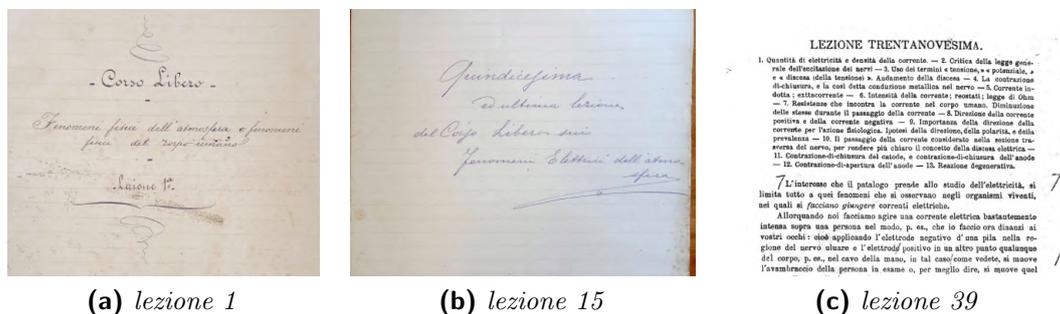


Figura 3.2: Estratti degli appunti del corso libero di Augusto Righi “Fenomeni fisici dell’atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano”, conservati nell’archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia “Augusto Righi” di Bologna

andando a leggere le due dispense titolate come “Settima lezione” si nota facilmente la diversità dei temi trattati; quindi è probabile che si riferiscano a corsi tenuti in anni accademici diversi, in cui Righi ha cambiato l’ordine, o aggiunto o tolto argomenti.

I manoscritti completi sono la fonte più importante per studiare la didattica di Righi, ma anche gli appunti parziali di questa metà del corso sono molto utili; infatti essi contengono i disegni schematici e una descrizione più dettagliata degli apparati sperimentali utilizzati. Riguardo agli appunti riferiti alla parte sul corpo umano, non c’è abbastanza materiale per imbastire un’analisi approfondita, ma verranno fatte delle ipotesi alla fine di questa sezione.

Il fascicolo completo comprende quindici capitoli che corrispondono alle singole lezioni, come si evince dalla titolazione, ma anche dal fatto che spesso un argomento viene iniziato alla fine di una lezione e terminato in quella successiva, e da come inizia e finisce ogni blocco di appunti. Ecco di seguito l’incipit della quinta lezione:

“Ieri sono rimasto dicendo che mentre l’esperienza citata dimostra che da una scintilla elettrica in generale noi otteniamo luce da ogni parte della scarica stessa osservasi invece che la stessa cosa non si produce facendo scattare la scintilla nell’acqua.”³

Come detto nella scorsa sezione, in quel periodo c’era la consuetudine di fornire agli studenti il materiale delle lezioni. Uno degli studenti più brillanti prendeva gli appunti, che poi venivano revisionati dal professore e infine stampati. Il fatto che gli appunti

³Corso libero - lezione 5

relativi alla prima metà siano autografi prova che essi siano nella prima fase di questo processo. Andando a leggerne i contenuti si trovano altri indizi a sostegno di questa ipotesi: accanto ad alcune frasi l'autore ha inserito dei punti di domanda tra parentesi, come ad indicare un'indecisione sulla correttezza di quanto scritto; in più di un punto viene lasciato uno spazio per una parola o anche una frase mancante; e soprattutto molti dei nomi degli scienziati nominati sono sbagliati. Ad esempio, nella prima lezione del corso completo, si legge “*Fu nel 1708 che il **Volta** (?) vide per primo una scintilla elettrica, a poca distanza dalle scoperte di Gray e Dufay di cui abbiamo parlato.*”; l'errore è evidente visto che Alessandro Volta è nato nel 1745; inoltre nell'altro fascicolo intitolato “prima lezione” la scoperta viene attribuita ad un certo Wall, che è probabilmente Samuel Wall, medico e sperimentatore inglese di inizio 1700. Un altro esempio si trova nelle ultime lezioni in cui viene nominato più volte un certo *Leutch* di cui non si trova alcun riferimento in letteratura. Attraverso gli esperimenti e gli studi a lui attribuiti da Righi, si può identificare questo scienziato con il fisico inglese Oliver Lodge (1851-1940).

Per quanto riguarda l'identità dello studente che ha preso gli appunti non c'è alcuna possibilità di indicazione. Ugualmente si può dire per l'anno accademico, anche se in questo caso si possono fare delle ipotesi confrontando i manoscritti con i registri delle lezioni.

I registri presentano in prima pagina il titolo del corso, la facoltà in cui era insegnato e gli orari (come si vede nella figura 3.3), per il resto contengono un breve sunto degli argomenti trattati lezione per lezione. Del corso libero sono presenti in archivio tre anni accademici: 1890-91, 1891-92 e 1892-93.

Leggendo i documenti si nota come in nessuno degli anni accademici presenti le lezioni riferite a temi legati all'atmosfera sono esattamente quindici e inoltre gli argomenti non coincidono perfettamente. Dall'analisi dei registri, l'ordine con cui i temi sono trattati farebbe pensare all'anno 1891-92; in particolare l'esperimento delle scariche progressive (che sarà trattato nel capitolo 3.1.3), lo si trova solo nel registro del 1891-92, come si può leggere nei riquadri relativi alle lezioni del 5, 6 e 12 dicembre (rispettivamente l'ultimo riquadro della figura 3.4.a e i primi due della figura 3.4.b). Tuttavia il conteggio delle lezioni (18 anziché 15) smentirebbe questa possibilità. Ulteriori considerazioni possono comunque essere fatte relativamente al periodo.

Righi si trasferisce a Bologna nel dicembre del 1889, dunque i tre registri citati sono relativi ai suoi primi anni di insegnamento all'Università di Bologna. Ipotizzando che

34

BUSTAS

R. Università degli Studi di Bologna

FACOLTÀ DI

Scienze Fis. Mat. e Nat.; di Medicina; etc

REGISTRO DELLE LEZIONI DEL

*Corso libero: Sui fenom. fisici dell'atmosfera e
sui fenom. fis. nel corpo umano.*

dettate dal signor Prof. Augusto Righi

*nell'anno scolastico 1891-92
il sabato dalle 4 alle 5½ pom. e la domenica dalle 9 alle 10½ ant.*

Bologna, 1888 - Stab. Tip. Succ. Monti



BIBLIOTECA UNIVERSITARIA DI BOLOGNA
SEZIONE ARCHIVIO STORICO

Figura 3.3: Prima pagina del registro delle lezioni del Corso libero "Sui fenomeni fisici dell'atmosfera e sui fenomeni fisici del corpo umano" per l'anno accademico 1891-92. Archivio Storico dell'Università di Bologna

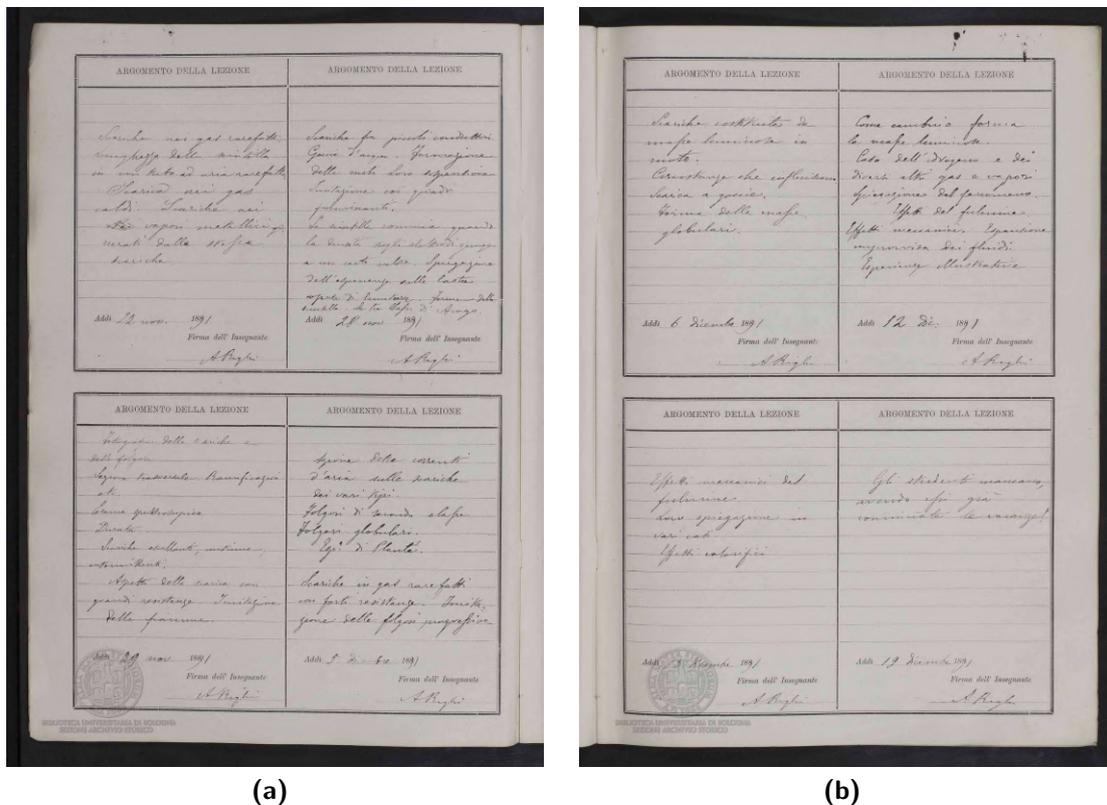


Figura 3.4: Estratto del registro delle lezioni del Corso libero “Sui fenomeni fisici dell’atmosfera e sui fenomeni fisici del corpo umano” per l’anno accademico 1891-92. Archivio Storico dell’Università di Bologna

i registri delle lezioni siano incompleti, gli appunti si riferiranno agli anni successivi. D'altra parte queste lezioni sono probabilmente antecedenti al 1900, perché Righi non fa cenno all'elettrone scoperto da Thomson nel 1897. Sull'argomento della natura dell'elettricità Righi espone solo le teorie settecentesche di Dufay e Franklin, secondo i quali l'elettricità è un fluido elettrico. Il primo asseriva l'esistenza di due fluidi distinti, per spiegare le due diverse elettricità, e il secondo sosteneva, invece, la tesi dell'unico fluido, con la positività e negatività date da uno scompenso o un eccesso rispetto ad un valore medio. Righi non è favorevole a nessuna delle due e afferma:

“Le ipotesi in proposito furono quelle dei fluidi, giacché il modo di pensare d'allora s'accontentava di spiegazioni molto vaste ed indefinite, credeva alla sua esistenza problematica come a quella di esseri o enti

*non mai veduti. Oggi però a noi è rimasto tutto l'intero frasario usato a quel tempo; [...] Ora invece nulla di più incerto che la specie dell'elettricità, giacché non esistono teorie perfette capaci di dimostrare che cosa sia l'elettricità.”*⁴

Questo passaggio, insieme al fatto che tra le teorie non accenni a quella elettronica, è ciò che porta a pensare che le lezioni siano precedenti al 1900.

Il corso pertanto si colloca plausibilmente nell'ultimo decennio del diciannovesimo secolo e ha delle caratteristiche che erano comuni nell'insegnamento della fisica di quel periodo. Innanzitutto era sperimentale: ogni argomento è introdotto e dimostrato da esperienze, che esse siano effettivamente mostrate alla cattedra o che siano descritte e ne siano presentati i risultati. Altro elemento caratteristico è dato dall'importanza attribuita all'osservazione, non solo degli esperimenti, ma anche della natura. Occupandosi per lo più di fulmini, viene richiamata spesso l'esperienza comune ai partecipanti oppure ci si riferisce a racconti di *“osservatori degni della massima fiducia, fra i quali vi sono molti che avevano cognizioni estese, fisici; astronomi ecc”*⁵. Un ultimo dettaglio è l'attenzione a specificare che le considerazioni teoriche, che non siano state confermate dagli esperimenti, sono solo ipotesi. Di questo è un esempio la frase già citata sulla natura dell'elettricità, ma uno ancora più chiaro è l'introduzione al tema dell'origine dell'elettricità atmosferica:

*“Non mi resta dunque che quest'ultima questione sull'origine dell'elettricità atmosferica. Sarò breve perché qui non c'è nulla di positivo da dire su tale argomento, e bisogna limitarsi ad enumerare le ipotesi.”*⁶

Fenomeni fisici del corpo umano

La parte dedicata al corpo umano è stata battuta a macchina. Ciò porta a supporre che questi appunti fossero ad un livello superiore nel processo di creazione della letteratura grigia di cui abbiamo discusso nella prima parte del capitolo. Inoltre, andando a leggere le due lezioni, si trova che ognuna è introdotta da un riassunto degli argomenti trattati (figura 3.5.a) e sono stati inseriti i riferimenti bibliografici agli studi citati (figura 3.5.b).

⁴Corso libero - lezione 1

⁵Corso libero - lezione 6

⁶Corso libero - lezione 15

Tuttavia, probabilmente non è la versione definitiva perché sono presenti molte correzioni al testo (figura 3.5.c).

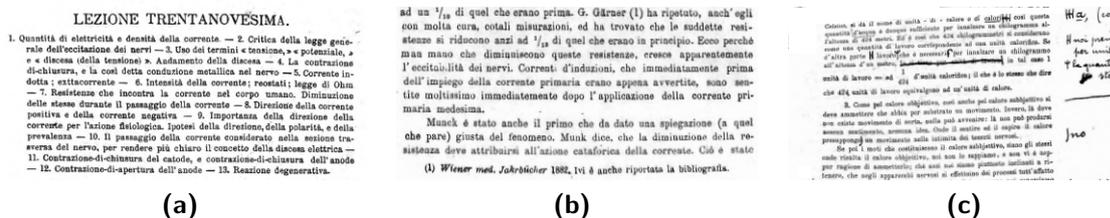


Figura 3.5: Fascicolo dattiloscritto del corso libero “*Fenomeni fisici dell’atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*”, lezione 39. Archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia “Augusto Righi” dell’Università di Bologna

Come per la prima metà del corso, non ci sono riferimenti all’autore degli appunti, né all’anno accademico a cui fanno riferimento. Inoltre il confronto con i registri delle lezioni porta solo a escludere che facciano riferimento ai tre anni riportati, perché in nessuno di essi le lezioni arrivano a trentanove.

Nel confronto tra i due documenti si trova però una particolarità. Nei sunti del registro l’argomento predominante è la visione, cioè l’ottica e la luce, con particolare attenzione alla formazione delle immagini. Invece, come si vede dal riassunto della lezione nella figura 3.5.a, il tema di quest’ultima sono i fenomeni fisiologici elettrici.

Fenomeni fisici dell’atmosfera

Il resto del capitolo sarà dedicato alla prima metà del corso, con particolare attenzione ai fascicoli completi. Nella sezione 3.1.1 verranno riassunti i contenuti del corso, le metodologie utilizzate e gli obiettivi. La componente sperimentale è molto significativa, per cui nella sezione 3.1.2 ci sarà una descrizione della strumentazione utilizzata, parte della quale è presente nella Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia. In questo modo si alleggerirà la narrazione della sezione 3.1.3 in cui si andrà nel dettaglio di alcune esperienze particolarmente significative presentate da Righi nelle lezioni.

3.1.1 Struttura del corso

In questa prima parte del corso Righi fornisce ai suoi studenti un resoconto completo delle conoscenze dell’epoca per quanto riguarda i fenomeni elettrici dell’atmosfera, in

particolare le folgori. A partire da una breve ricostruzione storica dello studio dell'elettricità in laboratorio e di quella atmosferica, Righi introduce il tema della differenza e delle somiglianze tra le scintille elettriche e le folgori per poi guidare gli studenti verso la ricostruzione dei fenomeni naturali in laboratorio. Così facendo dimostra come sia possibile studiare la natura dell'elettricità atmosferica, già difficilmente osservabile qualitativamente, in ambienti che permettono una misura quantitativa, facendo anche capire come sia necessaria una lettura critica degli esperimenti. Per far comprendere fino in fondo il tema delle folgori, ci sono quindi altri due argomenti ricorrenti: i concetti fondamentali dell'elettrostatica e la fenomenologia delle scintille elettriche. Dopo aver introdotto tutte le conoscenze fisiche necessarie, Righi si concentra anche sull'applicazione della teoria, nello specifico la costruzione dei parafulmini.

Nella tabella 3.1 sono elencati i temi principali lezione per lezione, similmente a quanto si trova nei registri delle lezioni (immagine 3.4).

numero lezione	Argomenti trattati
1	Introduzione storica dello studio dell'elettricità: esperimenti di Gilbert, conducibilità di Gray, teoria dei fluidi di Du Fay e Franklin, distribuzione di Coulomb e potere delle punte di Franklin. Idee degli antichi sui fulmini, Wall e le prime scintille elettriche; Gray, Nollet e Winkler e l'ipotesi di corrispondenza tra scintille e folgori; Franklin, Dalibard, Canton, Beccaria e Romas e gli esperimenti con il parafulmine; Franklin e l'esperimento con l'aquilone
2	Differenze tra folgori e scintille: non simultaneità del lampo e del tuono, durata del tuono, dimensioni del fulmine. Nozioni elettrostatiche fondamentali: concetto quantitativo di elettricità, elettroscopio a foglie d'oro, potenziale elettrico, capacità e condensatori.
3	Scariche nei gas rarefatti. Lunghezza della scintilla in un tubo ad aria rarefatta. Scariche nei gas riscaldati

Tabella 3.1: Riassunto degli argomenti lezione per lezione

numero lezione	Argomenti trattati
4	Costituzione delle nubi e la loro origine. Condizioni per lo scoccare di una scintilla: potenziale elettrico, distanza esplosiva, materiale delle sfere, capacità elettrica, grandezza delle sfere. Quadro scintillante. Fenomenologia dei fenomeni temporaleschi: classificazione di Arago, fuochi di s. Elmo, “fiamme” che salgono da terra, folgori progressive, folgori “a rosario”. Inizio dell’imitazione delle folgori di prima classe in laboratorio. Studio delle scintille con le fotografie
5	Continuazione dello studio con le fotografie: spessore, forma della sezione, analisi spettrale. Differenze tra folgori di prima classe e scintille: durata del lampo, lampi successivi, esperienza di Wilson. Fotografia delle folgori di prima classe. Scariche oscillanti, continue ed intermittenti. Relazione tra le scintille e l’aumento di resistenza.
6	Modificazione delle scintille per applicazione di una corrente d’aria. Folgori di seconda classe. Folgori di terza classe o globulari, esperienza di Planté. Fenomeni luminosi oltre alla classificazione di Arago, scariche progressive.
7	Continuazione dell’esperimento sulle scintille progressive e collegamento con le folgori globulari
8	Conclusione dell’esperimento sulle scintille progressive e congetture sulla sua spiegazione. Effetti meccanici prodotti dalla folgori: rottura dielettrici, espansione dei liquidi, esperienza del “ritratto di Franklin”.
9	Effetti fisici delle folgori: azioni magnetiche, leggi empiriche di Riess sullo sviluppo di calore, effetti calorifici (fusione, vaporizzazione, saldatura), scintille nei vapori metallici ottenuti dalle stesse scariche. Effetti chimici delle folgori.

Tabella 3.1: Riassunto degli argomenti lezione per lezione

numero lezione	Argomenti trattati
10	Continuazione degli effetti chimici: fori nel terreno, folgorite e vetrificazione. Potenziale lungo il circuito di scarica. Scarica laterale: spiegazione, conduttore isolato, circuito molto resistivo.
11	Scintille superficiali: sull'acqua, sugli animali, su corpi anisotropi (legno e cristalli). Folgori circolari sugli alberi. Azione preventiva e difensiva dei parafulmini.
12	Scariche fra conduttori di diversa forma e influenza del segno. Valvole elettriche: differenza di dimensione, differenza di temperatura tra i due elettrodi, fenomeni fotoelettrici. Esperienza di Lodge sull'efficacia dei parafulmini.
13	Dispersione elettrica che precede e prepara la scarica. Spostamento e deformazione della scintilla per forza elettrostatica. Particelle metalliche trasportate dalle scintille. Moto lungo le linee di forza. Esperienza delle ombre elettriche.
14	Fenomeni di induzione, scariche indotte. Importanza della forma del circuito. Concetto di Ostruzione e ripartizione della scarica nei conduttori. Parti del parafulmine: punta, asta e collegamento a terra.
15	Parafulmini per casi particolari: navi, edifici contenenti materiali infiammabili. Problema della masse metalliche negli edifici. Forme particolari delle punte, caso del municipio di Bruxelles. Elettricità atmosferica, come misurarla e ipotesi dell'origine. Aurore polari.

Tabella 3.1: *Riassunto degli argomenti lezione per lezione*

Per quanto riguarda le modalità didattiche, è evidente che la maggiore e più importante è legata all'utilizzo delle dimostrazioni sperimentali e le seguenti due sezioni saranno dedicate ad essa.

Un'altra modalità didattica sfruttata da Righi è l'analogia. Infatti in più di un'occasione Righi la utilizza per presentare concetti elettrici che altrimenti rimarrebbero molto astratti. In particolare questo avviene nel momento in cui si trova a dover spiegare il potenziale elettrico:

*“Questa esperienza ha l'importante ufficio di dimostrare che il passaggio dell'elettricità da un corpo ad un altro è determinato semplicemente dalla quantità di elettricità che contengono due corpi. Ma però è anche determinato da un altro elemento che è indispensabile introdurre nei nostri ragionamenti: Quando dunque si ha bisogno di studiare le condizioni per le quali l'elettricità passa da un corpo in un altro non basta tenere conto della quantità d'elettricità d'un altro elemento **che eserciti ufficio simile a quello della temperatura relativamente al calorico, della pressione relativamente ai movimenti dei liquidi e dei gas. È comodo valersi di queste analogie per mostrare la necessità di introdurre il nuovo elemento che abbiamo accennato.**”⁷*

Righi vuole definire il potenziale elettrico come quell'elemento che determina il passaggio di elettricità da un corpo all'altro. Allo stesso modo, secondo le conoscenze dell'epoca, anche il passaggio di calore non dipende dalla quantità di calorico contenuto dagli oggetti, ma dalla differenza di temperatura degli stessi: se un corpo è a temperatura più alta cederà calore all'altro. Anche a partire dalle conoscenze odierne il ragionamento di fondo è corretto: il calore è definito dalla differenza di temperatura degli oggetti messi a contatto termico e non dall'energia interna degli stessi. E così anche per la pressione dei fluidi: avendo due contenitori, ad esempio pieni di gas, ci sarà passaggio di materia da quello a pressione più alta all'altro, indipendentemente dalla grandezza dei recipienti.

Lo scopo per cui utilizzò queste due analogie è suggerito da questa frase con cui introduce il problema della misura del potenziale:

“Ma come si può concepire la misura di questo elemento al quale nessun organo corrisponde?”

Se fosse a noi sconosciuta la sensazione del caldo e del freddo si

⁷Corso libero - lezione 2

provverebbe la stessa difficoltà a concepire che cosa sia la temperatura quanta se ne prova a concepire che cosa sia il potenziale elettrico.”⁸

Il potenziale elettrico è un concetto abbastanza astratto, quindi le analogie aiutano lo studente a formarsi un’immagine anche se non ha la possibilità di percepirlo con i sensi. Il fatto di utilizzarne due dal significato equivalente, da una parte rafforza il concetto, dall’altra evita che qualcuno potesse avere problemi di comprensione dovuti alla mancata conoscenza di uno degli argomenti presi come metafora.

Un’altra strategia didattica è l’utilizzo delle fotografie scientifiche. Fin da subito gli scienziati colsero la potenzialità della fotografia nelle loro ricerche, in alcuni campi prima che in altri. Riguardo allo studio delle scintille, il primo accenno a questo tipo di esperimenti compare in una brevissima nota del 1875 del fisico inglese Peter Tait (1831-1901) che parla di alcune esperienze preparate da un suo studente. Prima di venire a conoscenza di questo lavoro Righi stesso lavora allo stesso argomento e sfrutta la fotografia in numerosi altri lavori successivi.⁹

Con questo corso si intuisce come Righi individui nelle fotografie scientifiche un’opportunità per l’insegnamento. Infatti, quando arriva a parlare di argomenti che ha studiato attraverso la fotografia, sfrutta le immagini per poter mostrare visivamente risultati di esperienze che non potrebbe, per difficoltà tecniche o di tempo, mostrare direttamente. Chiaramente questo si intreccia strettamente con i veri e propri esperimenti.

Passando alla più evidente strategia didattica, quella delle dimostrazioni sperimentali, difficilmente le ragioni del suo utilizzo si possono ridurre al fatto che era una pratica molto diffusa. Probabilmente una delle motivazioni condivise all’epoca, e in larga parte condivisibili ancor oggi, era il fatto che vedere un fenomeno, piuttosto che sentirlo solo descritto, aiuti la formazione dei concetti in modo ancor più forte che non le analogie. Ma le ragioni per cui Righi presenta le folgori attraverso la connessione con le scintille, e quindi attraverso le esperienze in cattedra, sono forse più profonde. Questo è suggerito da alcune frasi all’interno del corso, infatti già nella seconda lezione sostiene:

“Per fare però proficuamente questo esame è bene fare sempre un parallelo fra i fenomeni naturali quali ci sono descritti dagli osservatori e quali molti

⁸Corso libero - lezione 2

⁹Righi stesso racconta questa vicenda sia all’interno del corso che in una nota al primo articolo [35]

*hanno potuto magari anche involontariamente osservare, con quelli che possiamo ottenere in scala piccola nei nostri apparecchi e questo parallelo sarà utile anche quando non si giunga a spiegare certe piccole differenze, poiché si vedranno le stesse piccole differenze prodotte dai nostri apparecchi, **con che si toglierà alla cosa quel lato meraviglioso, sorprendente che possono avere i fenomeni naturali quando manca un confronto nelle esperienze analoghe da noi fatte***¹⁰

Con il quel “si toglierà alla cosa quel lato meraviglioso” Righi probabilmente non intende togliere al fenomeno naturale la sua bellezza, per come comunemente è usata la parola “meraviglioso”. È invece probabile che sia utilizzato nella sua eccezione più letterale di “che suscita meraviglia” o stupore. In questo caso si tratterebbe quindi di poter comprendere i fenomeni naturali anche nelle loro manifestazioni più particolari e sconcertanti, perché negli esperimenti si ha più controllo del sistema e questo permette di rispondere al perché avviene quello che si è osservato. Nella quarta lezione ritorna sull’argomento aggiungendo un altro punto di vista:

*“Studiando da vicino le scintille delle scariche artificiali possiamo trovare **certe particolarità che difficilmente si potrebbero inventare in un’osservazione diretta.** [...]*

*Lo studio fotografico delle scintille permette di risolvere certe **questioni che sembrerebbero a prima vista insuperabili a risolvere:** per esempio misurare la dimensione trasversale delle folgori o delle scintille. Questo si può fare sapendo il rapporto fra la grandezza dell’immagine e la grandezza effettiva della scintilla e calcolare le dimensioni con gran precisione.”¹¹*

Dal testo si evince come l’esperimento sia ciò che ti permette di comprendere ciò che vedi, e quindi la connessione con le scariche elettriche dà la possibilità di guardare al fenomeno naturale da molto vicino e notare particolarità di esso che sfuggirebbero facilmente nell’osservazione diretta. Inoltre potendo fotografare le scintille in un ambiente controllato si ha la possibilità di eseguire misure quantitative che sarebbero impossibili da fare con il fenomeno atmosferico. Ancora avanti, all’ottava lezione, Righi dà però un’avvertenza:

¹⁰Corso libero - lezione 2

¹¹Corso libero - lezione 4

*“Ed anche qui seguiremo la solita norma del confronto dei fenomeni che si possono produrre per mezzo della macchina elettrica e quelli prodotti dalla scarica atmosferica mantenendo le debite proporzioni **onde non cadere in esagerazioni** né in più né in meno in quanto all’entità dei fenomeni stessi.”*¹²

Sebbene sia chiara la relazione tra i fenomeni naturali e quelli prodotti dalle macchine elettriche, Righi avverte che bisogna tenere a mente che esistono delle differenze da tenere in conto nel momento in cui si usa i secondi per spiegare i primi.

In sostanza, un ultimo possibile obiettivo del Professore era quello di fornire ai propri studenti quello sguardo critico alla realtà e agli esperimenti che contraddistingueva i suoi studi, sia con l’esempio durante le dimostrazioni, sia esplicitandolo come negli esempi visti sopra.

3.1.2 Strumentazione utilizzata

Gli esperimenti compiuti durante il corso riguardano sempre qualche tipo di scarica elettrica ed è quindi naturale che alcuni strumenti siano sempre gli stessi. Essi sono: la macchina elettrostatica, il sistema di condensatori, le resistenze, il commutatore o inversore, gli spinterometri e gli eccitatori . Gli altri apparecchi presentati sono invece specifici per le determinate esperienze che vedremo nella prossima sezione.

Nelle tre lezioni del corso incompleto si trovano molti disegni schematici degli apparecchi che verranno descritti in questa sezione. Un’altra fonte di informazioni è costituita dagli articoli di Righi stesso, poiché molti degli esperimenti più importanti del corso sono una riproposizione di studi sperimentali compiuti dal Professore.

Spinterometri ed eccitatori

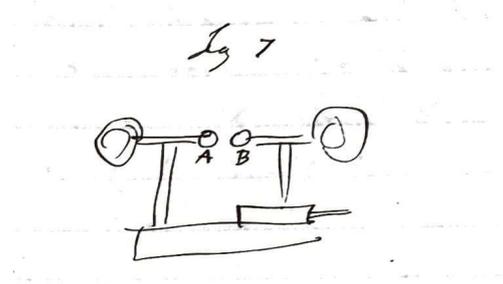
Gli spinterometri e gli eccitatori (immagine 3.6) sono, tra quelli elencati, gli apparecchi più semplici. Tra loro hanno una struttura e un’utilità molto simile.

I primi hanno una base di legno su cui sono poste due aste di materiale isolante parallele tra loro. Ad esse sono fissate due barre conduttrici alle cui estremità interne ci sono due elettrodi che possono essere variati: ad esempio si può avere una punta e una

¹²Appunti del corso, Ottava lezione



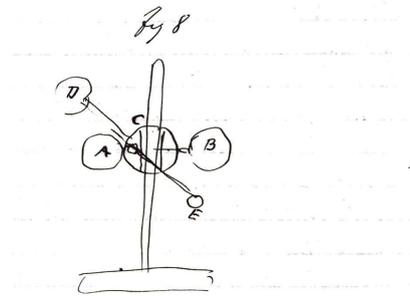
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.6: (a) Immagine di uno spinterometro. Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna. (b) Schema di uno spinterometro tratto dal manoscritto incompleto del corso libero "Fenomeni fisici dell'atmosfera". (c) Immagine di un eccitatore, dalla Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna. (d) Schema di un eccitatore tratto dal manoscritto incompleto del corso libero "Fenomeni fisici dell'atmosfera"

piastra come nell'immagine 3.6.a o due sfere come nell'immagine 3.6.b. L'altro capo può avere dei manici di materiale isolante come in (a) oppure due cerchi metallici come nello schema in (b). Gli eccitatori sono invece indipendenti tra loro. Ognuno è costituito da una colonna di ebanite lungo il quale c'è il sistema AB che con una vite fissa la sfera C a qualsiasi altezza desiderata. C funge da perno per l'asta DE che quindi può essere inclinata a piacere. Le sfere A , B , C e D sono di legno, mentre E è metallica e funge da elettrodo. Per entrambi gli strumenti le barre conduttrici (o gli anelli) sono poi collegati al circuito in modo che, azionando la macchina elettrica, tra i due elettrodi si vada a formare la scintilla.

Bottiglie di Leida

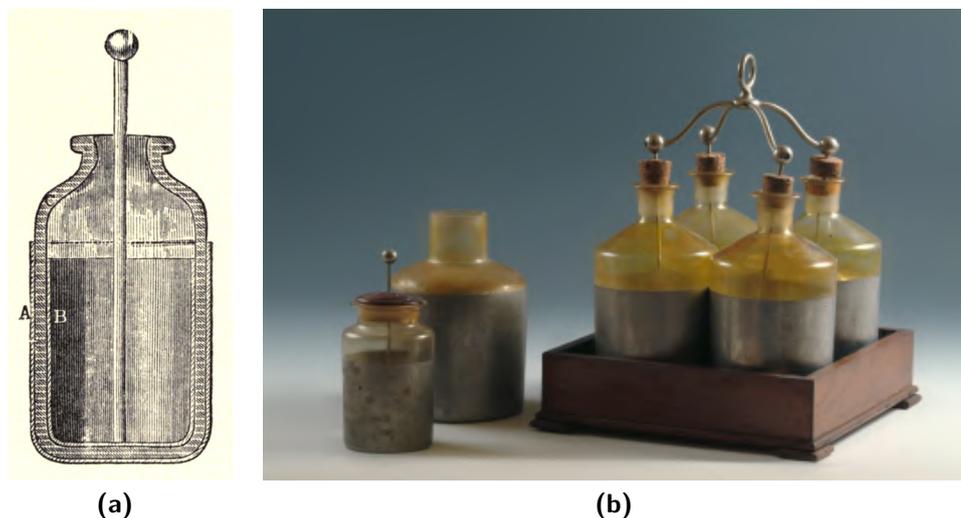


Figura 3.7: (a) Schema di una bottiglia di Leida tratto dal libro “*Electricity for Public Schools and Colleges*” di Walter Larden (1903), Longmans Green & Co., New York, p.86 (b) Batteria di quattro bottiglie di Leida, immagine tratta dal museo online NEMO (Network Educational Museum Online)

Nel 1745 il fisico olandese Pieter van Musschenbroek (1692-1761) inventò i primi condensatori. Questi furono chiamati bottiglie di Leida a nome della città dello scienziato, e sono conosciuti anche come vasi o bicchieri di Leida per la loro caratteristica forma. Come si vede dallo schema dell’immagine 3.7.a questo condensatore era molto semplice: le armature erano due fogli di stagnola all’interno ed all’esterno di un cilindro di vetro, che funge da dielettrico. La parte scoperta della bottiglia è rivestita di un materiale isolante per evitare che si formino delle scintille sulla superficie. Infine l’asticella che termina con la sfera serve a arrivare facilmente all’armatura interna.

I condensatori utilizzati da Righi nel corso delle lezioni erano alti 50cm, di diametro di 16cm e uno spessore del vetro di circa 1mm. Le armature coprivano metà dell’altezza del vaso ed erano due fogli di stagnola¹³. La capacità di queste bottiglie non viene specificata all’interno delle lezioni, ma facendo le dovute approssimazioni, si può ricavare che avevano probabilmente una capacità intorno a 7pF.

¹³Appunti parziali - lezione 1

In nessuno degli esperimenti viene utilizzata una bottiglia singolarmente, non tanto perché necessitasse di capacità molto elevate, ma perché, per i potenziali utilizzati, era facile che la scarica avvenisse all'interno del condensatore rompendolo.

Per evitarlo Righi utilizza un sistema di 108 vasi, solitamente nella configurazione schematizzata nell'immagine 3.8. Questi erano divisi in sei batterie da 18 bottiglie messe in parallelo tra loro (i piani delle due "torri" nell'immagine 3.8.a). Come mostra più chiaramente lo schema moderno, le batterie erano poi in serie, con le due superiori che si collegavano alla macchina elettrica.

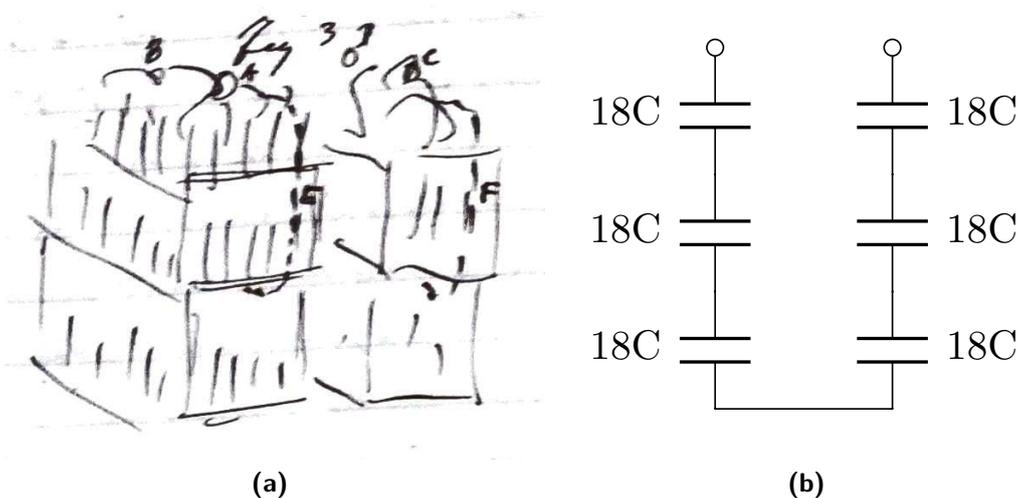


Figura 3.8: (a) Schema del sistema di condensatori tratto dal manoscritto incompleto del corso "Fenomeni fisici dell'atmosfera". (b) Schema del sistema di condensatori e capacità equivalente.

In questo modo la capacità totale è equivalente a tre sole bottiglie. Come spiega egli stesso nel corso, questa soluzione è concettualmente identica ad avere tre vasi di Leida di spessore sei volte maggiore. Però da un punto di vista sperimentale è estremamente diverso per due ragioni. La prima è che più il vetro è spesso più è difficile evitare che le armature si scarichino facendo scoccare una scintilla sulla superficie del vetro. La soluzione sarebbe di aumentare la parte lasciata libera dalle armature, ma così facendo ci si ritroverebbe con bottiglie molto alte e quindi poco maneggevoli. Inoltre, spiega Righi, si potrebbe aver bisogno di una capacità superiore, e con il sistema di condensatori descritto basta cambiare leggermente la configurazione. All'interno di questa parte del

corso Righi modifica questo sistema una volta, come si vede nell'immagine 3.9. Inserendo i collegamenti esterni E ed F e modificando quelli interni come nell'immagine, passa da sei batterie da 18 vasi, a due da 54, ottenendo una capacità totale equivalente a 27 bottiglie.

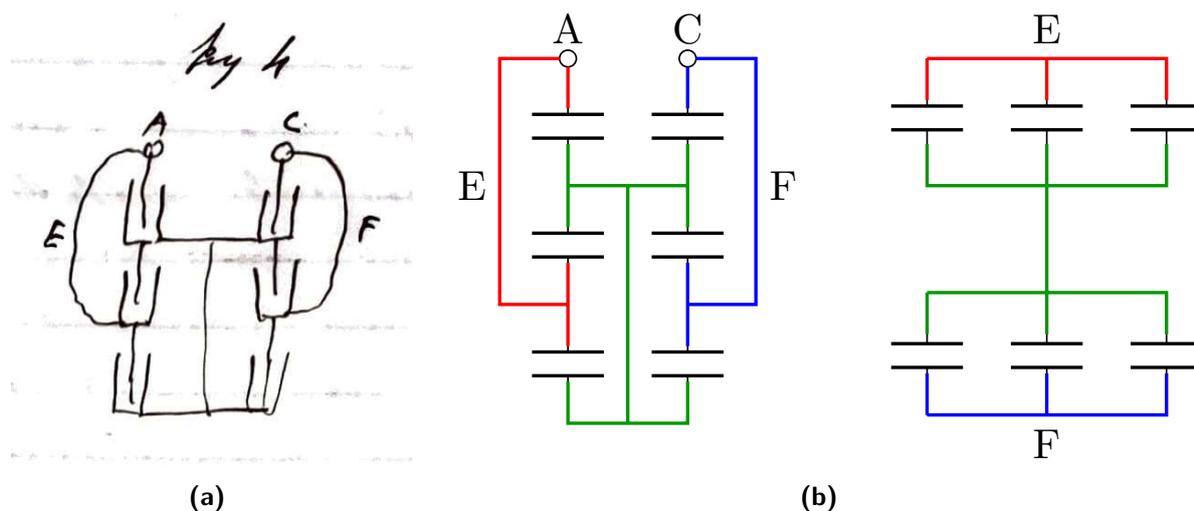


Figura 3.9: (a) Schema dei collegamenti per la seconda configurazione, tratto dai manoscritti incompleti del corso “Fenomeni fisici dell’atmosfera”. (b) Schema della seconda configurazione

Macchina elettrostatica

Il generatore del circuito per le esperienze era una macchina elettrostatica. Dei diversi tipi che esistevano all’epoca, nella collezione del dipartimento se ne trovano due: la macchina di Wimshurst (immagine 3.10.a) e quella di Holtz (immagine 3.10.b).

Entrambe le macchine nominate funzionavano per induzione elettrostatica in modi leggermente diversi. La macchina di Wimshurst è composta da due dischi di vetro che girano in direzioni opposte e che presentano sui lati esterni un numero pari di sezioni metalliche, in questo modo ogni disco ha un certo numero di coppie opposte. Ognuno dei due dischi ha una piccola asticella con messa a terra ai cui estremi presenta delle spazzole metalliche e le due sono disposte a formare una “X” (nella immagine 3.10.a si vede solo quella anteriore). Ai lati ci sono invece dei pettini che sono a contatto con i bordi esterni dei due piatti e sono collegati alle due bottiglie di Leida. Supponendo ci sia una



Figura 3.10: (a) Immagine della Macchina elettrica di Wimshurst. Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna. (b) Immagine della Macchina elettrica di Holtz. Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna.

piccola carica su uno dei settori del disco anteriore, quelli del disco posteriore, passandoci vicino, sentiranno la sua influenza. Quando il conduttore carico passa in corrispondenza della spazzola posteriore, essa permetterà alle cariche negative del settore opposto di spostarsi. In questo modo si ottengono, nel piatto posteriore, due nuovi settori carichi (uno positivamente e l'altro negativamente). Il sistema si ripete tutte le volte che una sezione carica passa nella zona di una spazzola del disco opposto. I due pettini a lato raccolgono le cariche che si sono formate e le immagazzinano nelle bottiglie di Leida.

Quella utilizzata per gli esperimenti del corso è però quella di Holtz, infatti nel blocco incompleto di appunti manoscritti si legge la sua descrizione:

“Per questa, come per tutte le esperienze che dovrò in seguito mostrare, farò uso di questa macchina elettrica ad influenza del sistema Holtz e a conduttore diametrico, che comprende due dischi di vetro giranti e due altri fissi di circa 80 centimetri di diametro. Questi dischi, come pure i conduttori della macchina, li vedete racchiusi in una cassa formata con lastre di cristallo, entro la quale si trova anche la piccola macchina elettrica a strofinamento che serve a fornire la carica originale ad una delle armature di carta dei dischi fissi. In quattro larghi piatti piani di cloruro di calcio fuso che vedete entro la cassa mantengono sana l'aria che circonda i dischi, senza di che, come ben sapete, la macchina non potrebbe agire in un ambiente come questo reso

saturo d'umidità dall'affollato uditorio."¹⁴

Il funzionamento è simile, ma, invece dei tanti settori di metallo, ce ne sono solo due di carta. Inoltre in questo caso lo strumento è comprensivo di una piccola macchina a strofinamento, la quale fornisce una piccola carica (mettiamo il caso sia negativa) ad una armatura di carta. Tramite il fenomeno dell'influenza questa attirerà delle cariche positive dal pettine antistante e queste verranno trasmesse al disco in rotazione. Girando insieme a quest'ultimo le cariche verranno depositate sul secondo settore di carta attraverso una piccola linguetta. A sua volta questa armatura attirerà delle cariche negative dall'altro pettine e così via finché il condensatore integrato non sarà completamente carico. Oltre alla macchina elettrica per strofinamento, Righi accenna anche alla presenza di due piatti di cloruro di calcio, che servono ad abbassare l'umidità all'interno della cassa contenente lo strumento, infatti se si inumidissero le armature di carta non funzionerebbe più il meccanismo.

Entrambe le macchine hanno poi due aste che terminano con due sfere a formare uno spinterometro. In una delle prime esperienze Righi utilizza la sola macchina elettrica per far vedere la relazione tra le scintille e la capacità del circuito. Azionando il generatore si verificherà una scarica tra gli elettrodi dello spinterometro, che cambierà nel momento in cui si scollegano le due bottiglie di Leida integrate con la macchina. A parte per questa piccola dimostrazione lo spinterometro è collegato al sistema di condensatori della scorsa sezione.

Resistenza

La comunicazione tra il sistema di condensatori e la macchina elettrica non è banale. Perché, ancora più grave dell'avere la scarica all'interno delle bottiglie, è lo scoccare della scintilla all'interno della macchina elettrica. Per evitarlo Righi rende i collegamenti molto resistivi attraverso delle speciali resistenze che utilizza successivamente anche per alcuni esperimenti.

Come si intuisce nel disegno (immagine 3.11) la resistenza è composta da una colonna di acqua distillata contenuta in un tubo di vetro con i bordi chiusi da dei conduttori metallici. Quindi la corrente è costretta a passare per l'acqua distillata che è un cattivo conduttore.

¹⁴Appunti parziali del corso - lezione 1

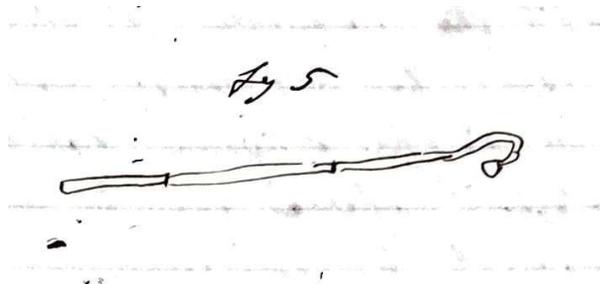


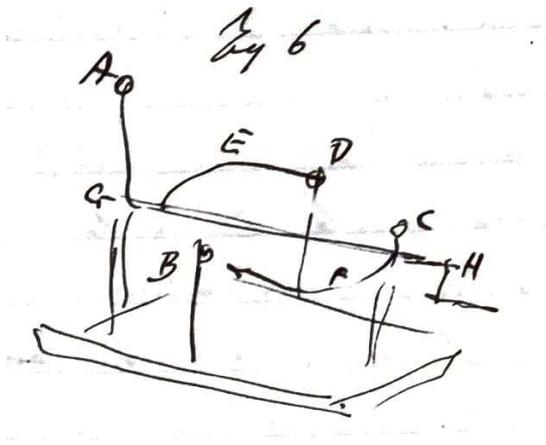
Figura 3.11: *Schema di una resistenza tratto dai manoscritti incompleti del corso libero “Fenomeni fisici dell’atmosfera”. Archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’Università di Bologna.*

Come già accennato, queste resistenze da lui ideate le utilizza anche in diverse altre occasioni in cui ha bisogno di rendere più resistivo il circuito. Come per la capacità del condensatore non viene specificato il valore della resistenza, neppure all’interno degli articoli da cui prende le esperienze, viene solamente spiegato come tubi più lunghi o con minore spessore trasversale offrono una resistenza più alta.

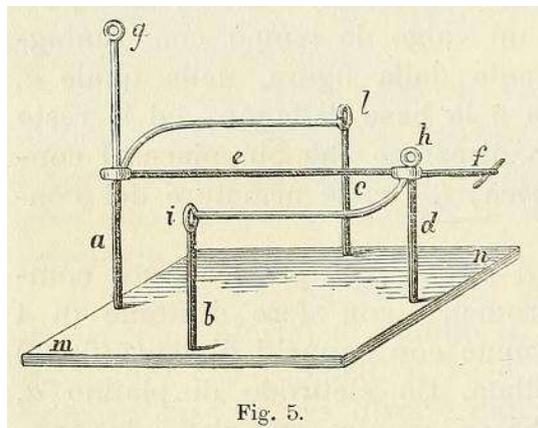
Commutatore o inversore

In alcuni degli esperimenti il verso della corrente cambia il fenomeno che si ottiene, e per poterlo variare facilmente si utilizza un commutatore.

Lo strumento descritto da Righi è particolare e molto diverso dai commutatori che si trovano nelle collezioni museali. Purtroppo anche nella Collezione del dipartimento di fisica non si è trovato lo strumento in questione, per cui bisogna limitarsi alla descrizione e allo schema in figura 3.12. Facendo riferimento allo schema a destra: a , b , c , d , e ed f sono cilindri di ebanite, m , n è una base di legno e il resto è in ottone. I conduttori g e h comunicano con il circuito di scarica, mentre i ed l con le armature del condensatore. I due archi metallici (E ed F nello schema a sinistra) sono sempre collegati con g e h , e nel disegno sono sistemati in modo da connettere g con l e h con i . Girando f gli archi si spostano e le due connessioni possono essere invertite, oppure si può interrompere il collegamento posizionando gli archi in modo da non toccare né i né l .



(a)



(b)

Figura 3.12: (a) Schema del commutatore tratto dai manoscritti incompleti del corso libero “*Fenomeni fisici dell’atmosfera*, Archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’Università di Bologna. (b) Schema del commutatore tratto dalla memoria di Augusto Righi: “*Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto*”[36]

Tubi di Geissler

Questo strumento fu inventato nel 1857 dal fisico tedesco Heinrich Geissler e aveva lo scopo di misurare la conduzione del gas che veniva posto al suo interno. Le caratteristiche principali dei tubi di Geissler sono tre: sono di vetro, contengono gas rarefatto e presentano due o più elettrodi. A partire da questo possono variare grandemente per forma e dimensione del contenitore, gas all’interno, rarefazione del gas, numero e forma degli elettrodi.

Mancando di una dettagliata descrizione dei tubi utilizzati durante il corso non è dato a sapere esattamente se sono fra quelli presenti nella collezione del dipartimento. Quello mostrato nell’immagine 3.13 è stato scelto perché, tra quelli presenti nelle teche del dipartimento, mostrava chiaramente le caratteristiche generali di un tubo di Geissler.

All’interno dello stesso gruppo di esperienze Righi utilizza anche un *Tubo di Gassiot*. Esso era probabilmente molto simile ai tubi di Geissler, la differenza rispetto ai primi, almeno all’interno dell’esperienza presentata dal Professore, sta nel fatto che il gas interno è ancor più rarefatto.

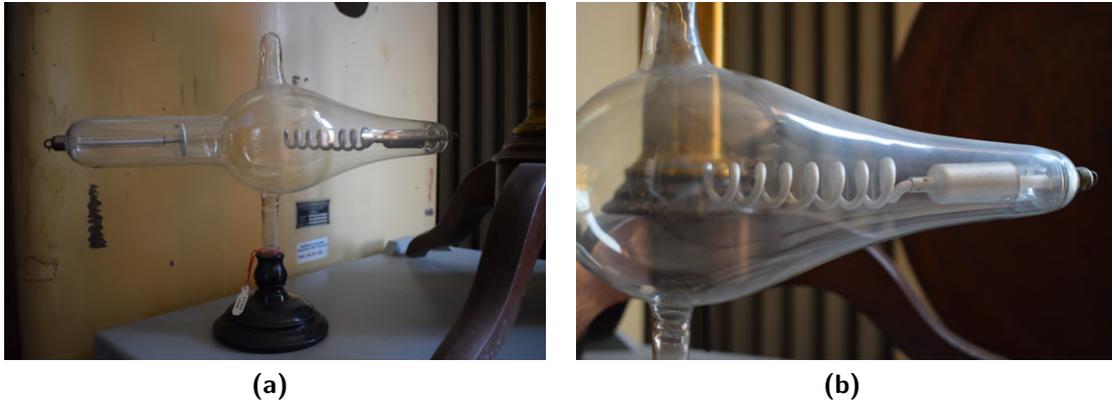


Figura 3.13: (a) Immagine di un tubo di Geissler. Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna. (b) Dettaglio del tubo di Geissler.

Tubo di Newton

Il tubo di Newton era utilizzato per le dimostrazioni sperimentali della caduta dei gravi in assenza di attrito. È un cilindro chiuso in alto da un tappo dotato di un uncino in modo da poter essere appeso, e in basso da una valvola che veniva collegata ad una macchina pneumatica, così da poter diminuire la pressione interna e di conseguenza l'attrito.

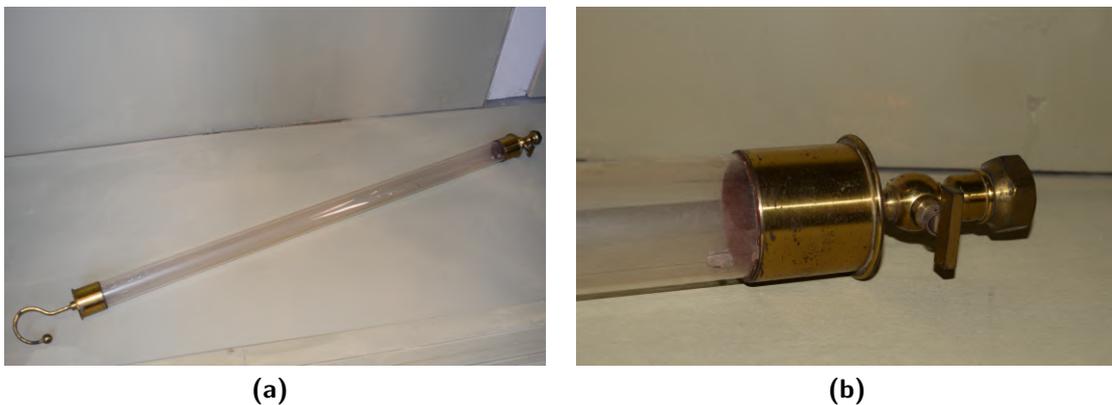


Figura 3.14: (a) Immagine del tubo di Newton. Collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna. (b) Dettaglio del tubo di Newton.

All'interno del corso lo strumento non viene utilizzato per il suo scopo originale, ma è un esempio di come Righi trovasse modo di utilizzare in modo efficace oggetti che sembrano essere inutili per il tema affrontato.

Quadro scintillante

Anche chiamati quadri magici, i quadri scintillanti solitamente sono delle lastre di vetro su cui è posta una striscia di carta stagnola, o materiali simili. Questa striscia non è continua, ma ha delle piccole interruzioni nel suo percorso cosicché, quando collegata ad una macchina elettrostatica, in esse si formano delle piccole scintille. Distribuendo in modo oculato le separazioni venivano a formarsi dei disegni o delle parole. Come si può capire da questa descrizione lo scopo di questi quadri non era tanto scientifico, quanto teatrale perché venivano utilizzate per suscitare meraviglia nel pubblico.

Nelle sue lezioni Righi, più che utilizzare un vero e proprio quadro scintillante, ne sfrutta la struttura e ne costruisce uno che faccia al caso suo. Purtroppo, come per il commutatore, anche di questo strumento rimane solo lo schema e la sua descrizione.

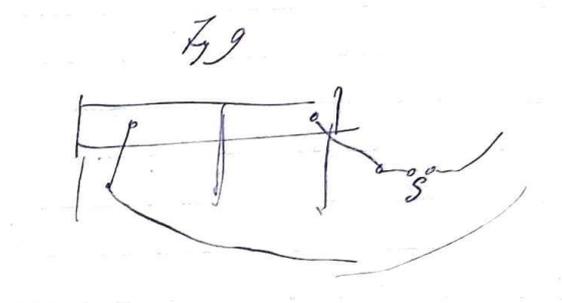


Figura 3.15: Schema del quadro scintillante, tratto dai manoscritti incompleti del corso libero “Fenomeni fisici dell’atmosfera”. Archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’Università di Bologna.

Il quadro è formato da due lastre di vetro comunicanti, a formarne una lunga più di quattro metri. Questa è sorretta da tre bastoni di ebanite ed è spalmata con una soluzione di gomma su cui è stata fatta cadere una pioggia di limatura di zinco. Queste schegge di metallo fanno la funzione della striscia di carta stagnola della configurazione comune, quindi in questo caso le piccole scintille si formano tra le limature e in maniera disordinata su tutta la superficie della lastra.

Le due aste visibili nel disegno sono in comunicazione con le armature del sistema di condensatori, in quella di destra questo collegamento è interrotto da una *scintilla addizionale*. Questa piccola scintilla è fondamentale per la riuscita dell’esperimento. Infatti minore è la grandezza degli elettrodi, minore è il potenziale necessario perché scocchi una scintilla tra loro. Nel caso del quadro magico, questo potenziale è molto piccolo e

per gli scopi di Righi è necessario che la scintilla scocchi a potenziale più alto. Per far ciò si inserisce la scintilla addizionale. Perché la scarica arrivi al quadro è necessario che si formi una scintilla nel piccolo spinterometro aggiuntivo, quindi modificando quest'ultimo si può fissare il potenziale al livello desiderato.

Tubo di scarica

Questo strumento è inserito nell'esperienza più lunga di questa metà del corso, che occupa la quasi totalità di tre lezioni. Una descrizione molto ben dettagliata è presente nell'articolo da cui è tratta: *Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto*, pubblicata nelle Memorie della Reale Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna del 1891 [37]. Da esso provengono anche le immagini 3.16. Purtroppo anche in questo caso non si sono trovate corrispondenze tra gli apparecchi presenti nella Collezione del Dipartimento.

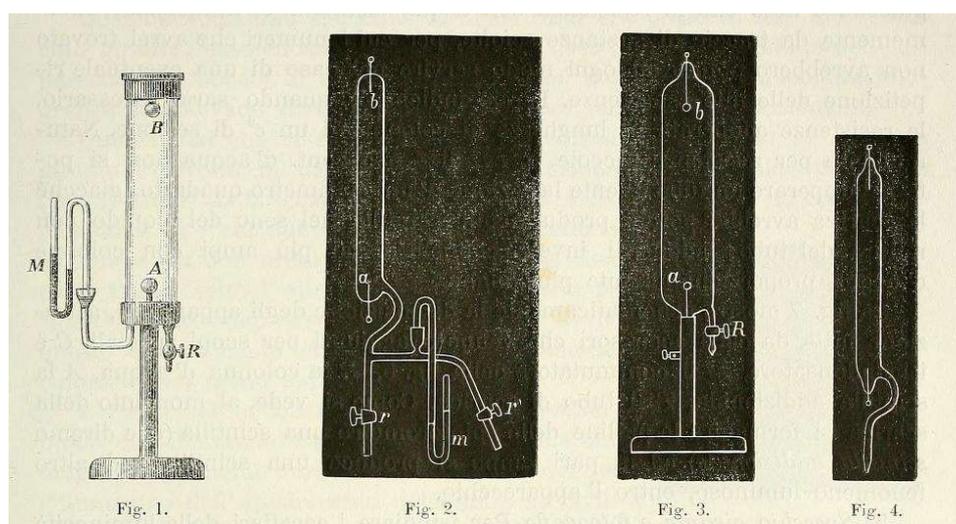


Figura 3.16: Schema degli “Apparecchi di scarica”, tratto dalla memoria di Augusto Righi: *“Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto”*[36]

Con riferimento all'immagine 3.16: il primo è un tubo di 11 cm di diametro e lunghezza di 45 cm, gli elettrodi possono essere facilmente sostituiti o può essere variata la loro distanza relativa ed è corredato di un rubinetto R per variare la pressione interna e di un manometro M ; del secondo tipo ce ne sono due di diverso spessore (1 cm e 4 cm), sono fatti totalmente di vetro, hanno gli elettrodi filiformi di platino a , b che sono saldati

alla parete e sono muniti di due rubinetti r , r' e di un manometro m ; il terzo è simile, ma ha un diametro di 11 cm, gli elettrodi a, b sono di alluminio dorato e terminano in palline di circa 1 cm di diametro e la distanza tra queste è 30 cm.

Come suggerisce la forma e il nome di questi strumenti, in essi avverrà la scarica, per questo nell'interno degli apparecchi è incollata una striscia di seta nera in modo da rendere più visibile la scintilla ed evitare i riflessi del vetro.

3.1.3 Dimostrazioni sperimentali

Le esperienze effettuate da Righi nel corso delle quindici lezioni sono più di trenta, è quindi stato necessario fare una selezione. Le dimostrazioni scelte sono quelle più significative per quanto riguarda le caratteristiche della didattica di Righi riassunte nella sezione dedicata alle modalità didattiche.

Differenze e somiglianze tra folgori e scintille: tubi di Geissler, di Gassiot e di Newton

Una delle premesse su cui si basa tutto il corso è il fatto che le scintille e le folgori abbiano la stessa natura, perché altrimenti non sarebbe possibile studiare il fenomeno naturale attraverso le scariche delle macchine elettriche. Già dalla prima lezione - di carattere storico - Righi imposta una relazione tra scintille e fulmini. Ma per studiare le prime e ricavarne informazioni sulle seconde è necessario andare più a fondo della relazione che intuitivamente si vede. Il primo passo è elencare tutte le differenze apparenti tra fulmini e scintille e di volta in volta capire l'origine della diversità riscontrata.

Le caratteristiche prese in esame da Righi sono la non simultaneità tra lampo e tuono, la durata del tuono, le variazioni di intensità del tuono e le dimensioni del fulmine. I primi due temi sono spiegati in modo "teorico", cioè senza sfruttare gli esperimenti. Il primo caso è facilmente esplicabile con la differenza tra la velocità del suono e della luce. Per quando riguarda il fatto che il rumore del fulmine si protrae nel tempo, a differenza dello scoppio della scintilla, Righi dà una spiegazione quasi geometrica. Disegna lo schema in figura 3.17 e fa un ragionamento con le distanze tra i diversi punti del fulmine (B , C , p , m ed n) e l'osservatore (A).

Con questo schema Righi introduce anche l'argomento su cui andrà a concentrarsi più approfonditamente: la grande lunghezza del fulmine. Infatti spiega come si era fatta

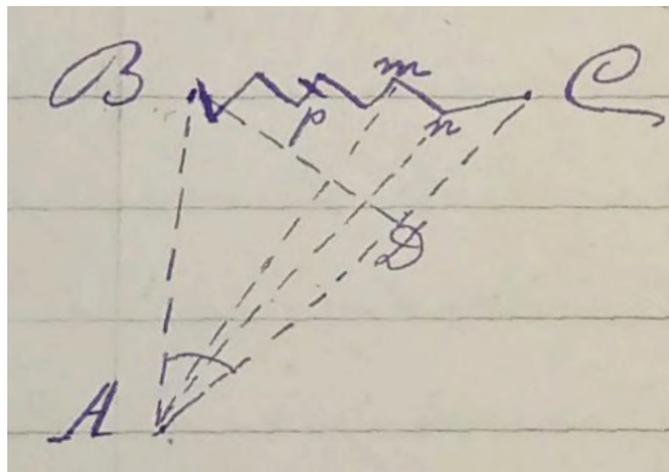


Figura 3.17: *Schema di una folgore BC, tratto dai manoscritti completi del corso libero “Fenomeni fisici dell’atmosfera”. Archivio del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’Università di Bologna.*

la stima delle grandezze delle folgori: ipotizzando di poter a fissare i punti del cielo in cui inizia e finisce il fulmine (B e C), si ha l’angolo in A , e misurando il tempo tra quando si vede il lampo e si sente il tuono, si può calcolare la distanza AB . Con questi due dati è possibile, quindi, calcolare la distanza BD , cioè la “*proiezione d’essa* [la lunghezza del fulmine] *sopra un piano perpendicolare alla visuale dell’osservatore*”. Da notare che, più che accennare al fatto che sono stati utilizzati i “*metodi insegnati dalla trigonometria*” non sono esplicitati i passaggi matematici. In ogni caso spiega come i risultati trovati sono superiori ai 12 km, e quindi il problema da affrontare è capire come è possibile che vengano create scintille tanto grandi, senza dover ammettere che le nubi contengano una carica eccessiva.

La spiegazione sta nelle caratteristiche del gas attraversato dalla scarica. In particolare guarda alla rarefazione e alla non omogeneità dell’aria. Di questa seconda caratteristica parleremo nel capitoletto successivo. Per dimostrare che in aria rarefatta le scintille sono più lunghe fa tre esperienze che sfruttano tutte la disposizione a “scarica biforcata”, cioè costruisce l’esperimento in modo che la corrente abbia due punti dove possa formare la scintilla: essa si formerà nel punto in cui avverte meno resistenza.

La prima esperienza presentata utilizza i tubi di Geissler: una possibile via di scarica è formata da una fila lunga più di due metri di tubi collegati fra loro, l’altra è uno spinterometro con le sfere a pochi centimetri di distanza. Azionando la macchina si

trova che la scarica avviene all'interno dei tubi di Geissler. Inoltre coglie questa occasione per far notare come la luce provocata dia luogo ai fenomeni della fosforescenza e della fluorescenza.

Per la seconda esperienza utilizza un tubo di Gassiot, che, a differenza dei tubi utilizzati sopra, contiene un gas ancor più rarefatto. In questo caso il risultato è opposto: nonostante all'interno gli elettrodi siano a qualche millimetro di distanza, la scarica avviene tra le sfere dello spinterometro nell'aria a pressione ordinaria. Nel corso di questi due esperimenti Righi fa attenzione a utilizzare solo i termini scarica e luce. Questo perché il fenomeno interno ai tubi di Geissler e Gassiot non è una scintilla. Però sono stati utili a mostrare come la conduzione dell'aria aumenta con la diminuzione della pressione fino ad un certo livello di rarefazione, per poi diminuire drasticamente.

Nel terzo esperimento, invece, Righi vuole mostrare effettivamente come, in aria rarefatta, si possono creare scintille più lunghe. Per farlo utilizza uno strumento che solitamente non ha niente a che fare con l'elettrostatica: il tubo di Newton. Come specificato nel capitolo dedicato alla descrizione dello strumento, questo lungo tubo era utilizzato per dimostrare la caduta dei gravi in assenza di attrito. Ma, semplicemente inserendo due elettrodi all'interno dei due tappi metallici e collegando questi ultimi al circuito di scarica, Righi lo reinventa per essere utile ai suoi scopi. La macchina, che nella disposizione usuale fa ottenere scintille lunghe al massimo trenta centimetri, all'interno del tubo riesce a far scoccare una scintilla di più di un metro.

Differenze e somiglianze tra folgori e scintille: Quadro scintillante

L'altra caratteristica dell'aria che Righi prende in esame è la sua non omogeneità. Infatti, in particolare quando avvengono i fulmini, l'aria è piena di goccioline d'acqua (pioggia o parte delle nubi). Questa precisazione serve a due scopi: dare un'ulteriore motivazione della lunghezza delle folgori e introdurre l'esperimento che *“imita alla perfezione le folgori”*.

L'esperienza in questione è quella che sfrutta il quadro scintillante. Come per il tubo di Newton, anche in questa esperienza Righi reinventa un apparecchio utilizzato per altri scopi. Anzi, mentre nel caso precedente il Professore parte da uno strumento e applica una lieve modifica, in questo caso prende un oggetto che non era costruito per dimostrare

un particolare fenomeno fisico, ma solo per suscitare meraviglia, e, pur mantenendone la struttura di fondo, riesce a reinventarlo perché abbia una grande potenza comunicativa.

Attivando la macchina elettrica inizialmente si formano scariche parziali che partono dai due elettrodi esterni. Queste due scariche si allungano passando in modo tortuoso tra la limatura di zinco fino a che non si congiungono. A questo punto si forma una lunga scintilla che ha tutte le caratteristiche della scintilla normale: luce sensibilmente istantanea, brillante e accompagnata da uno scoppio.

In questo modo, quindi, Righi riesce ad ottenere una scintilla dalla forma molto simile ai fulmini che si vedono usualmente durante un temporale. E inoltre questa ha una lunghezza di circa quattro metri, sebbene sia stata ottenuta con la stessa configurazione di macchina e condensatori che porta ad avere scintille di massimo trenta centimetri.

“Quando si sarà fatto l’esperienza si rimarrà persuasi che le folgori hanno luogo fra un numero grandissimo di conduttori che sono le gocce d’acqua e ciò anche per rendere conto della grande lunghezza delle folgori stesse.”¹⁵

Secondo quanto riportato nella sezione 3.1.2 dedicata alla descrizione del quadro scintillante, di esso non si trovano tracce nella collezione del Dipartimento di Fisica e Astronomia di Bologna. Tuttavia una delle più belle fotografie di Righi (immagine 3.18) presenta una dimostrazione sperimentale che assomiglia molto all’esperimento con il quadro scintillante qui descritto: lo strumento è molto simile allo schema del quadro scintillante (immagine 3.15), sulla destra c’è un condensatore che, da quanto si può vedere, è il sistema di bottiglie di Leida utilizzato durante le lezioni e anche la scintilla nella fotografia ha la lunghezza e la forma riportate da Righi nelle sue lezioni. Inoltre la didascalia dell’articolo da cui è tratta recita: **“Il prof. Righi mentre è intento a preparare una lezione sull’elettricità atmosferica. Egli sta regolando la distanza delle sfere d’un eccitatore per provocare la scarica d’una grande batteria, che produce una scintilla di quasi quattro metri di lunghezza alla superficie d’una lastra fissata in alto. L’immagine di questa enorme scintilla si è chiaramente riprodotta nella fotografia”** [38].

¹⁵Corso libero - lezione 4

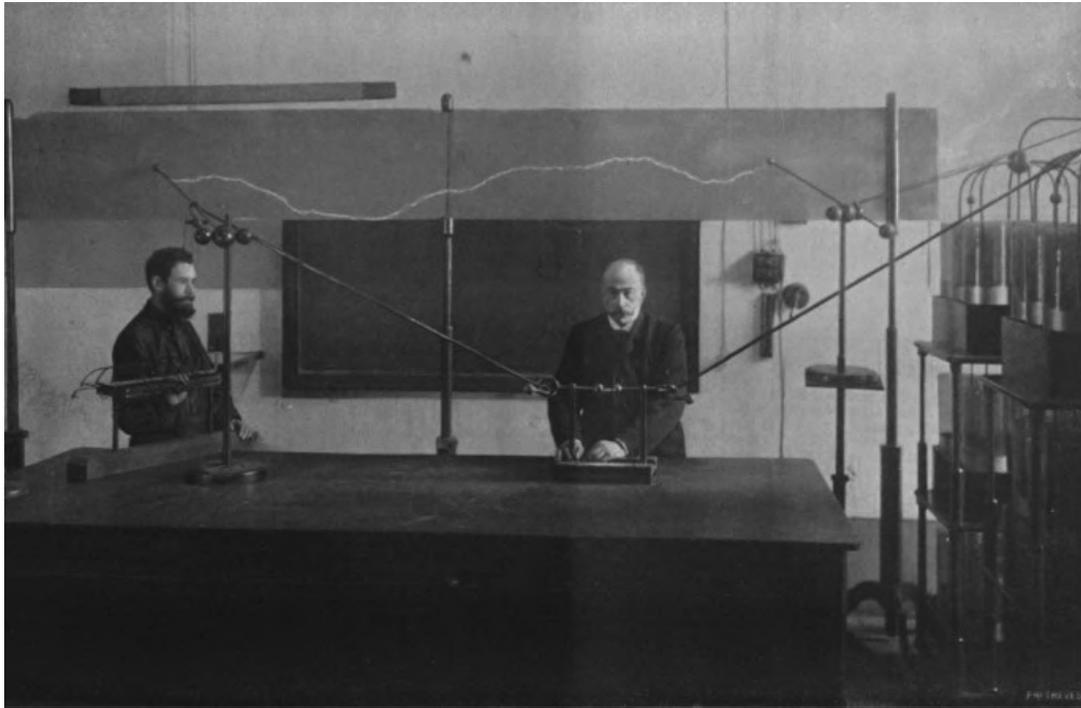


Figura 3.18: *Augusto Righi al centro con Bernardo Dessau (a sinistra) nel laboratorio di Righi all'Università di Bologna. [38]*

Le scintille elettriche: studio fotografico

Dopo aver chiarito le ultime differenze tra le scintille e i fulmini più comuni, Righi introduce il secondo tema: la riproduzione in laboratorio di tutti i fenomeni elettrici dell'atmosfera.

L'introduzione offre la presentazione di tutte le manifestazioni, dalle più comuni alle più particolari, che si possono vedere durante un temporale. La trattazione vera e propria, invece, parte sempre dallo studio delle scintille elettriche. Infatti, mentre compie le dimostrazioni sperimentali di queste, Righi richiama le caratteristiche dei fenomeni presentati precedentemente e mostra come l'esperienza appena compiuta imita l'evento naturale. Inoltre, come abbiamo visto ad inizio del capitolo, tramite questo punto di vista mostra come queste esperienze diano possibilità di studiare le folgori in modo ancora più approfondito. Uno strumento fondamentale per questo studio è la fotografia scientifica. Le immagini che utilizza provengono da alcuni suoi studi pubblicati in due articoli del *Nuovo Cimento* nel 1876 e nel 1877 [35, 39]. Nelle lezioni non nomina esplicitamente

gli articoli o le tavole annesse, ma, confrontando alcuni brani delle lezioni con le tavole e il testo degli articoli, si intuisce che essi sono le fonti. Ad esempio:

*“Quelle cinque scintille furono ottenute assolutamente nelle stesse condizioni inquanto alla parte elettrica dell’apparecchio, ma per le diverse immagini **si modificò il diametro** delle aperture del diaframma applicato all’obiettivo fotografico. Tanto più piccolo era il diaframma tanto più sottile era la scintilla riprodotta.”*¹⁶

Si riferisce all’immagine 10 della figura 3.19, infatti nell’articolo si legge:

*“Nella fig. 10 tav. IV, si hanno cinque immagini di scintille ottenute successivamente in identiche condizioni, ma **con diaframmi ad apertura gradatamente minori**; questa immagini sono di grossezza ed intensità di più in più piccole.”*[35]

oppure:

*“Queste tre si ottennero scambiando la **capacità dei condensatori** e tanto più grosse si ebbero le scintille quanto più capace era il condensatore.”*¹⁷

Si riferisce all’immagine 8 della figura 3.19, infatti nell’articolo scrive:

*“La **capacità del condensatore** ha un’influenza preponderante. **Le tre scintille della figura 8** furono ottenuto rispettivamente con 3, 2, 1 bottiglie di Leida, delle dimensioni indicate nella mia precedente Memoria. Le molte misure fatte mi condurrebbero a credere che l’area della sezione trasversale dello scintille cresce un po’ meno rapidamente della capacità del condensatore.”*[35]

Nell’articolo citato Righi utilizza la fotografia per analizzare tutte le principali caratteristiche delle scintille: le componenti (aureola e parte centrale), la trasparenza della loro luce, la forma e lo spessore trasversale, la loro dipendenza da vari fattori tra cui la resistenza, la formazione di scintille in una corrente d’aria, sull’acqua e all’interno di un liquido. Tutti i fattori nominati, e la gran parte degli altri presenti negli articoli, vengono riportati anche nelle lezioni, sia mostrando le immagini che riproponendo, quando possibile, l’esperimento stesso.

¹⁶Corso libero - lezione 4

¹⁷Corso libero - lezione 4

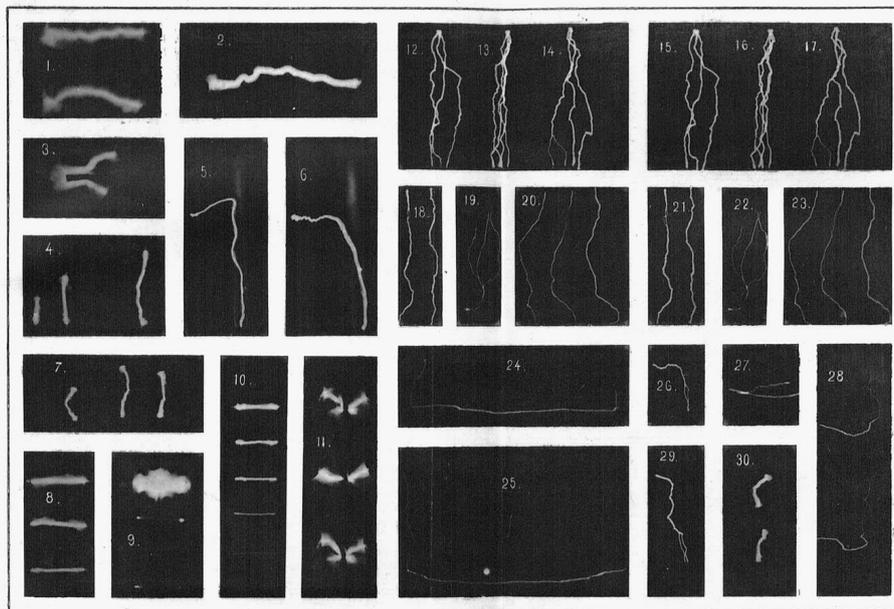


Figura 3.19: *Tavola IV della memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi”[35]*

Scariche oscillanti, continue e intermittenti

Sulla natura delle scariche elettriche Righi spiega che:

“Quando avviene la scarica d’un condensatore l’elettricità positiva e la negativa che sono nelle armature dei condensatori si neutralizzano costituendo una corrente elettrica istantanea.”¹⁸

A partire da questa definizione divide le scariche in tre: oscillanti, continue e intermittenti. Nel primo caso si ha prima una scarica semplice che non neutralizza del tutto gli elettrodi e scambia la carica delle due armature. Quindi si ha una seconda scarica in direzione opposta, e così di seguito fino al completo esaurimento del condensatore. Il numero delle oscillazioni è inversamente proporzionale alla resistenza del circuito, fino

¹⁸Corso libero - lezione 5

ad arrivare alla scarica singola, che è quella chiamata continua. Aumentando ancora la resistenza del circuito la scarica diventa intermittente, cioè avviene una prima scarica, e dopo un intervallo di tempo una seconda e poi una terza, e così via.

La dipendenza delle scintille dalla resistenza del circuito è particolarmente importante anche per quanto riguarda il tema della riproduzione dei fenomeni naturali in laboratorio, è quindi interessante andare a vedere l'esperienza proposta.

L'apparato è lo schema 3 della figura 3.20 ed è semplicemente formato da un sistema macchina elettrica e condensatore, uno spinterometro e una resistenza. Al crescere della resistenza la scintilla gradatamente assume aspetti diversi che si possono distinguere in quattro tipi principali:

- 1° scintilla ordinaria
- 2° scintilla gialla
- 3° scintilla composta rossa
- 4° scintilla composta bianca o violetta

Purtroppo aggiungendo già la minima resistenza le scintille si fanno troppo poco luminose per essere utile fotografarle, un esempio è la immagine 9 nella figura 3.19. Nell'articolo da cui è presa l'esperienza, Righi fa variare la resistenza in modo graduale; poiché in questo modo la dimostrazione avrebbe occupato un tempo troppo lungo, per le lezioni, egli prepara in anticipo le resistenze per i tre stadi superiori al primo.

Introducendo la prima resistenza l'aureola diventa gialla, si allarga e si distingue meglio dalla parte centrale, la quale rimane di colore bianco. *“Queste scariche gialle corrispondono probabilmente al finire delle scariche oscillanti per essere divenute scariche continue.”* Un esempio è mostrato nella immagine 1 della figura 3.21. Utilizzando un getto d'aria si può accentuare la distinzione tra parte centrale e aureola, perché quest'ultima viene spostata, mentre la prima non subisce grossi cambiamenti (immagine 9 della tavola 3.21).

Aumentando la resistenza incominciano ad apparire delle piccole scintille rosse ai due poli (immagine 2 figura 3.21) fino ad avere una scintilla completamente rossa, senza aureola e formata da un gran numero di piccole scintille (immagini 3, 4 e 5 figura 3.21).

Aumentando per l'ultima volta la resistenza la scarica ritorna di colore bianco, però rimane composta da molte scintille (immagine 7 figura 3.21).

In questi ultimi due casi le immagini mostrano come le scintillette si dispongono su un piano verticale. Questo dimostra che la scarica è intermittente. Infatti si avrà una prima scintilla che scalda l'aria nel tratto da lei attraversato. Nel momento di pausa tra una scintilletta e l'altra, l'aria calda si alzerà leggermente e la seconda, che scocca più facilmente nei gas meno densi, si formerà in questo straterello e quindi al di sopra della prima. Lo stesso vale per la terza e la quarta eccetera.

“Questa stessa esperienza si può modificare e rendere evidente adoperando questo apparecchio che ho improvvisato.”¹⁹

Con “questo apparecchio” Righi si riferisce allo strumento schematizzato nell'immagine 6 della figura 3.20. Esso è un tubo con due aste metalliche che fungono da elettrodi e delle aperture nei tappi per poter immettere una corrente d'aria. Inserendolo nel circuito al posto dello spinterometro si viene a formare l'immagine 13 della figura 3.21. Cioè le scintille si dispongono per tutta la lunghezza degli elettrodi.

Queste esperienze, in particolare quelle che sfruttano una corrente d'aria, nelle lezioni sono ancora più particolareggiate e approfondite, ma ciò che più è interessante è ciò che dice Righi a conclusione:

*“Ritornando ora al nostro argomento cioè quello delle folgori di prima classe dirò che **può darsi benissimo che in certe circostanze sul cammino della scarica atmosferica si trovino delle grandi resistenze specialmente se si tratta di scarica fra nube ed un oggetto terrestre.** [...] Come già dissi questo fenomeno potrebbe servire a rendere conto di quelle fiamme che furono osservate da vari osservatori durante temporali in luoghi chiusi. Infatti quelle fiamme gialle e rosse possono simulare pel loro contegno sino ad un certo punto delle vere fiamme ed il vento stesso che casualmente può agire su d'esse può modificarle in modo da aiutare l'illusione di crederle vere fiamme. **Dunque questi fatti che abbiamo passato in rassegna e le modificazioni delle scintille per opera della resistenza possono avvenire anche nei fenomeni elettrici dell'atmosfera.**”²⁰*

¹⁹ Corso libero - lezione 6

²⁰ Corso libero - lezione 6

Con queste parole viene esplicitata quella modalità di studio che si ritrova nel corso delle lezioni. Infatti, dimostrando la corrispondenza tra folgori e scintille, si può supporre che ciò che influisce su queste ultime abbia lo stesso effetto sul fenomeno naturale. Per cui potrebbe succedere che la scarica del fulmine debba attraversare dei cattivi conduttori e vengano a formarsi quelle manifestazioni simili a fiamme, che fino a quel momento sembravano inspiegabili.

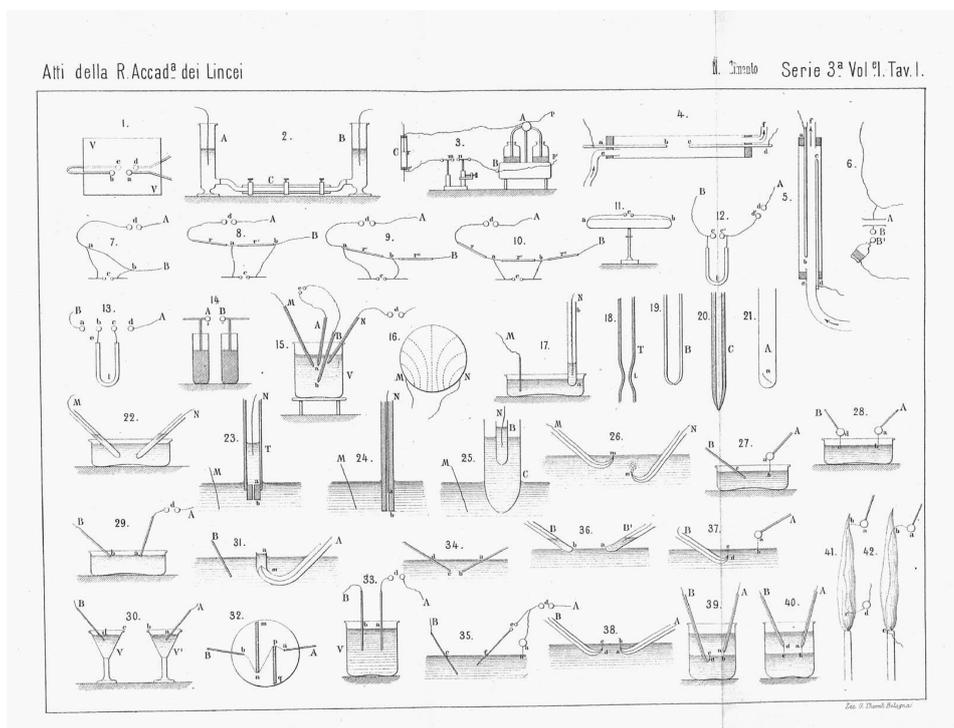


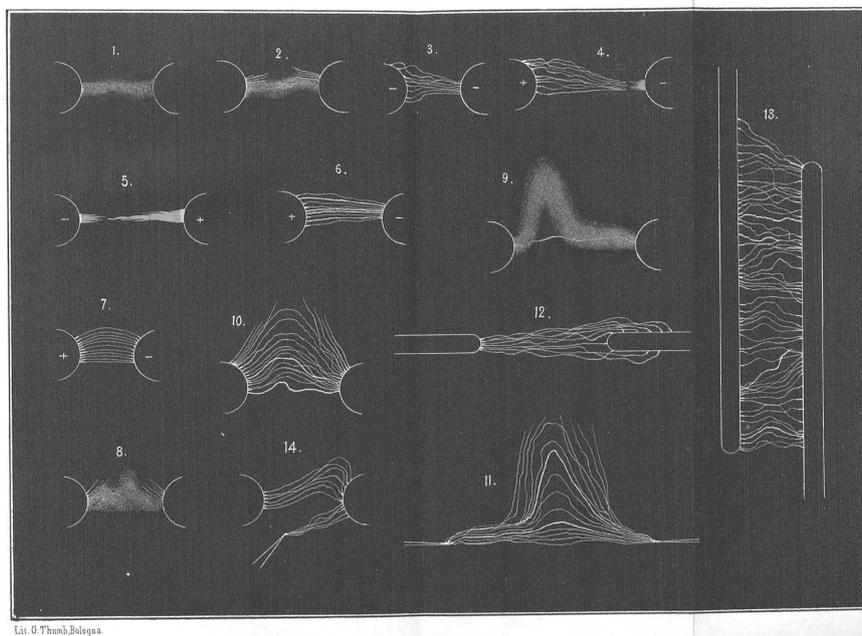
Figura 3.20: *Tavola I della memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi”[35]*

Scintille globulari, a rosario e progressive

“Lo scopo propostomi fu quello di cercare d’ottenere colle esperienze una scintilla elettrica che rassomigliasse alle scariche progressive che alcuni osservatori dichiarano di aver veduto e che altri negano.”²¹

Come suggerisce il nome, gli osservatori di questa particolare folgore dichiarano di aver visto crearsi una luce in uno dei due poli (che sia il suolo o la nube) che poi si

²¹Corso libero - lezione 6



Lit. O. Thumh, Bologna

Figura 3.21: *Tavola II della memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi”[35]*

distende verso l'altro, appunto come se il fulmine si formasse in modo progressivo invece che tutto in una volta. L'imitazione di queste folgori particolari è il tema principale di questo esperimento, ma non è l'unico. Infatti porta a considerare anche il caso delle folgori “a rosario” e globulari.

La scarica “a rosario” (dalla denominazione francese *eclair en chapelet*) è una folgore che invece di essere continua appare formata da globi luminosi posti uno vicino all'altro, appunto come un rosario.

Le folgori globulari sono molto più rare e sono tra i fenomeni atmosferici più particolari e meno conosciuti, tanto che ancora adesso non c'è una spiegazione esaustiva di cosa siano e come si formino. Come suggerisce il nome, sono dei globi luminosi che si formano durante i temporali. Si possono spostare, anche a grande velocità, e in alcuni casi scoppiano causando parecchi danni. Per la rarità di questo fenomeno ancora adesso non si trovano molte fotografie o video. Righi le descrive illustrando i racconti, raccolti dal fisico francese François Arago (1786-1853), di “*osservatori degni della massima fiducia*”. Inoltre al tempo diversi scienziati non credevano alla loro esistenza, come Éleuthère

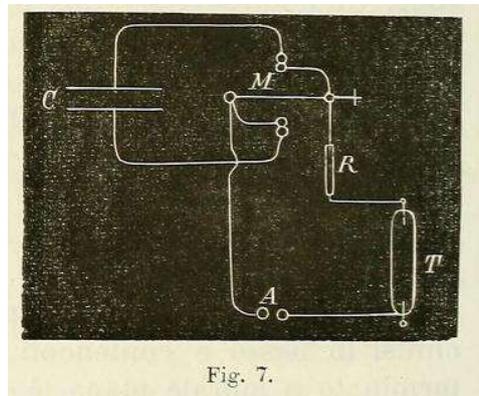


Figura 3.22: *Schema del circuito di scarica per le scintille progressive, tratto dalla memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto”[36]*

Mascart (1837-1908): egli sosteneva che il fenomeno non era altro che un effetto ottico. Righi smonta questa teoria utilizzando uno dei racconti di Arago, il quale non può essere spiegato se non ammettendo l’esistenza delle folgori globulari.

Di tutti questi tre fenomeni parla presentando un suo studio sulle scariche progressive pubblicato nella raccolta di memorie dell’Accademia delle Scienze di Bologna del 1891 [35, 39]. Leggendo le lezioni e l’articolo di Righi si nota come la struttura di presentazione dell’esperienza è molto simile. Si è quindi deciso di dividere il capitolo nelle sezioni individuate dalla memoria.

Gli apparecchi adoperati Il circuito di scarica (immagine 3.22) è composto da un condensatore C , il commutatore M , una resistenza R , una scintilla addizionale A e il tubo di scarica T ²². Per questa esperienza il condensatore è quasi sempre nella seconda configurazione, con le due batterie di 54 bottiglie messe in serie, così da avere una capacità equivalente a 27 bottiglie. Perché i vasi di Leida non si rompano la differenza di potenziale non può essere molto elevata, ma questa limitazione non risulta un problema lavorando in aria rarefatta. Per studiare la scarica progressiva è necessario osservarla attraverso uno specchio rotante. Questo non è descritto all’interno delle lezioni, ma leggendo la memoria si trova che era uno specchio piano alto 41 cm e largo 53 cm, mantenuto in rotazione costante intorno ad un asse verticale.

²²Per una descrizione accurata degli strumenti utilizzati si rimanda alle sezioni di riferimento.

Attraverso lo specchio, però, il fenomeno è visibile da pochi osservatori alla volta. Per questo nelle dimostrazioni durante le lezioni Righi utilizza i tubi di scarica più piccoli che possono essere fatti girare. Da notare il fatto che questa eventualità è considerata all'interno dello stesso articolo:

“Per esperienze di lezione è preferibile assai non adoperare specchio girante, ma far girare lo stesso apparecchio intorno ad un asse parallelo che vada da un elettrodo all'altro, giacché in tal modo il fenomeno è visibile da tutti gli uditori simultaneamente.”[36]

Un'altra componente fondamentale dello studio è la fotografia. Infatti permette di fare delle misure che sarebbero impossibili altrimenti e tutte le conclusioni sono tratte da ciò che si vede durante l'esperimento; è quindi importante il loro utilizzo all'interno dell'articolo. Inoltre Righi le utilizza nella sua didattica similmente a come abbiamo visto nelle scorse sezioni.

Aspetto generale del fenomeno Nell'articolo così come a lezione, Righi considera innanzitutto il fenomeno visto direttamente. Impostando in modo corretto tutte le caratteristiche del circuito (la resistenza, la distanza tra gli elettrodi, la pressione del gas, la distanza esplosiva della scintilla addizionale eccetera) si ottiene una scintilla di colore rosso che non si produce simultaneamente in tutta la lunghezza, ma parte dall'elettrodo negativo e si distende verso quello positivo. *“Essa è dunque una imitazione delle folgori progressive”*[39]. Ma, fa notare Righi nelle lezioni, *“non bisogna fidarsi in questo caso della testimonianza dei sensi ma bisogna dimostrare che succede realmente quanto sembra accadere”*. Per questa ragione bisogna guardare il fenomeno attraverso lo specchio rotante, oppure mentre il tubo stesso gira. Allora si possono fare delle ipotesi sul cosa si vedrebbe a seconda dei casi:

- scintilla istantanea: nello specchio si vedrebbe una linea luminosa di direzione orizzontale
- scintilla progressiva come un flusso continuo: si vedrebbe una superficie luminosa
- regione luminosa che si crea ad un polo e che poi va a spostarsi verso l'altro elettrodo: si vedrebbe una riga inclinata.

Tra le tre possibilità, come possiamo vedere dalle fotografie riprodotte nelle tavole, quella che si realizza è la terza. Da notare come solo durante il corso Righi faccia questa precisazione e successivamente guidi i suoi studenti alla comprensione del motivo per cui si possa dire che la scintilla è fatta in questo modo.

La figura I della tavola 3.23 ha, come caratteristica principale, l'impostazione della scintilla addizionale al minimo valore possibile. In essa c'è un'unica "*massa luminosa*"²³ che si forma dall'elettrodo positivo e va verso quello negativo, fermandosi e spegnendosi prima di raggiungerlo. Se si aumenta la scintilla addizionale, o si diminuisce la resistenza del circuito, o si varia la pressione dell'aria o le dimensioni dell'apparecchio ecc, si ottiene l'emissione di molte più masse luminose dall'elettrodo positivo. Nel primo caso si parla di *scarica semplice* e nel secondo caso di *scarica composta*.

All'interno dell'articolo vengono poi spiegate esaurientemente le misure che si possono trarre dalle fotografie, mentre nelle lezioni viene solo accennata alla possibilità di ricavare la dimensione delle scariche e velocità media delle masse luminose.

Circostanze che influiscono sul numero delle masse luminose costituenti ogni scarica e sulle loro velocità. L'immagine I della tavola 3.23 è l'esempio più pulito di scintilla semplice ottenuto da Righi, per questo lo prende come punto di partenza. A partire da essa modifica di volta in volta gli elementi del circuito per studiare come ognuno vada ad influenzare la scintilla. Delle casistiche analizzate nell'articolo, nelle lezioni c'è solo la variazione della pressione interna.

Alle pressioni più basse la scintilla diventa meno definita (ad esempio l'immagine IX della tavola 3.23 presenta una scarica semplice con pressione pari a 12 mmHg) e la velocità è più elevata rispetto a quella a pressione maggiore. Se invece esistono le condizioni per avere una scarica composta (come nel caso dell'immagine X della tavola 3.23 che ha una pressione di 10 mmHg) si verificano delle masse luminose che si arrestano o retrocedono.

Questo percorrere una parte della distanza più velocemente per poi fermarsi è tipico delle scariche ottenute a bassa pressione. Un'immagine particolarmente chiara di questo tipo di scintille è la XXIII della tavola 3.24, infatti per questa è stato fotografato anche un secondo specchio fermo, così da catturare anche la visione diretta. In essa si distinguono

²³Termine utilizzato da Righi, con la precisazione che viene utilizzato solo per semplicità di linguaggio.

piuttosto bene le masse luminose, proprio per questa caratteristica di rimanere ferma per la quasi totalità della durata della scarica.

Andando invece a pressioni molto superiori la velocità delle masse è pure maggiore, ma le traiettorie delle masse e la loro forma si fanno sempre più irregolari. Questo si vede nel confronto tra la figura II (pressione di 40 mmHg), la figura XII (pressione di 80 mmHg) e la figura XIII (pressione di 120 mmHg). A questo corrisponde una forma più irregolare anche delle scintille viste direttamente, come si vede dalle immagini XIV (pressione di 20 mmHg) e XV (pressione di 80 mmHg).

Nelle lezioni non ci sono espliciti riferimenti a queste immagini, però in molti casi la descrizione data e il confronto con quanto scritto nella memoria suggeriscono quale diapositiva stia mostrando. Ad esempio:

*“Intanto la massa luminosa non si muove più in linea quasi retta ma prende un cammino tortuoso e poi cambia forma. Adesso vedremo la fotografia di questo risultato. Ecco l’effetto ottenuto con la **pressione dell’aria ad 8 centimetri** [di mercurio]. Invece di vedere la riga luminosa a contorni netti si hanno figure irregolarissime e **qui a fianco si ha la fotografia della scarica diretta**. Aumentando in questo senso la modificazione.”²⁴*

In questo paragrafo il Professore si sta riferendo, probabilmente, all’immagine XV. Ecco un altro esempio in cui fa probabilmente riferimento all’immagine XXIII:

“In questa fotografia ciascuna delle tre scintille si è fermata a diverse altezze; la prima in alto, la seconda più in basso e la terza più in basso ancora. La figura che accanto si vede è la figura della scarica presa direttamente e non vista dentro lo specchio girante, vedesi dunque una linea costituita da masse tondeggianti separate una dall’altra”

La resistenza del circuito, la distanza tra gli elettrodi e la dimensione della scintilla addizionale non vengono approfondite all’interno delle lezioni, però sono nominate perché insieme alla pressione danno effetti che possono compensarsi. Ad esempio per ottenere lo stesso effetto aumentando la pressione si possono avvicinare gli elettrodi. Questo è particolarmente importante per il tema del corso in quanto, se queste scintille progressive imitano effettivamente le folgori, deve essere possibile arrivare ad avere questo effetto alla pressione ordinaria.

²⁴Corso libero - lezione 7

Forma delle masse luminose. Guardando direttamente il fenomeno luminoso è possibile avere un'idea della forma di queste scintille, ma per studiarla è necessario fare in modo che la macchina fotografia veda la scarica per un tempo estremamente breve. Per ottenerlo Righi inserisce davanti all'obbiettivo della macchina un disco di cartone che giri molto rapidamente e abbia in un punto una finestrella. Per la velocità del disco è chiaro che la fessura passerà più volte davanti all'obbiettivo nel tempo di scarica, per cui si ottengono delle istantanee della scintilla a momenti diversi. Perché queste immagini non si sovrappongano si fa sempre uso dello specchio girante. Guardando alle immagini ottenute (che si trovano nella figura 3.25) si può capire la loro evoluzione: quando inizia la scarica si forma sull'elettrodo positivo una specie di fiammella luminosa, la quale si allunga prendendo la forma di una goccia, cioè tondeggiante in alto (lontano dall'elettrodo) e affilata in basso; dopo poco questa si stacca e diventa un globo un po' allungato. Per come si formano Righi stesso sostiene che si sarebbero potute chiamare "scariche a goccia", ma per la forma che assumono successivamente e per la lontana somiglianza con le folgori globulari, lo scienziato decise di chiamarle "scariche globulari".

Esperienze in gas diversi dall'aria Il primo tentativo con gas diversi dall'aria è stato fatto con l'azoto e l'ossigeno. Questo per vedere se il fenomeno che avveniva nell'aria poteva essere ottenuto nei componenti della stessa. Con l'ossigeno non è possibile replicare il fenomeno, ma nell'azoto si ottiene una scarica globulare ancora più intensa che nell'aria. Un altro gas utilizzato da Righi per le esperienze è l'idrogeno, che però dà una scarica meno luminosa e, invece che rosso, di colore bianco azzurro. Anche la forma delle singole masse luminose sembra diversa, ma di questo Righi dice di non poter essere sicuro, perché è più difficile ottenere un'immagine nitida. In questo caso, invece di far vedere molte fotografie, Righi mostra direttamente l'esperimento tramite due tubi di scarica preparati con azoto e idrogeno, senza approfondire ulteriormente.

Congetture sul modo in cui si produce il fenomeno

*"E per completare quest'argomento resta a dare cenno della spiegazione probabile di questo fenomeno. Per dare questa spiegazione mancano dati sicuri: non c'è che qualche congettura e fra quelle possibili sceglierei la più verosimile"*²⁵

²⁵Corso libero - lezione 8

La spiegazione più probabile ha origine nella dispersione, cioè il trasferimento dell'elettricità ("nulla di più incerto che la specie dell'elettricità") al gas. Righi spiega come questa dispersione diventa sempre maggiore man mano che si caricano gli elettrodi. Succederà in un dato momento che la differenza di potenziale tra un elettrodo e il gas diventa abbastanza forte da dare luogo ad una scarica. L'effetto di quest'ultima è quello di trasportare nel gas una grande quantità di elettricità positiva e rendere lo strato gassoso il nuovo elettrodo. A questo punto si formerà una seconda scarica tra il primo strato e quello successivo e via dicendo. Nella memoria stessa Righi definisce questa spiegazione come grossolana e incompleta, ma ancora non era possibile comprendere fino in fondo la natura dei fenomeni delle scariche elettriche.

Per ritornare al tema principale delle folgori, questa esperienza viene principalmente presentata da Righi per la relazione con il fenomeno della folgore progressiva, ma non solo. Infatti, quando viene trattato il fenomeno a bassa pressione, si trovano quelle manifestazioni in cui si hanno alcune masse luminose ferme ad altezze diverse, e queste forme ricordano la folgore "a rosario". Per ultimo c'è il lontano collegamento con le folgori globulari:

*"Questo è qualche cosa che rassomiglia alle folgori globulari. Con questo però non asserisco avere ottenuta un'imitazione delle folgori globulari ma ad ogni modo questo è il primo caso in cui s'abbia una scarica sferica che ha qualche analogia colle folgori suddette."*²⁶

Questa esperienza è l'esempio più chiaro, all'interno di questo corso, di quanto si era detto nella sezione 3.1.1 a proposito di una delle possibili motivazioni per introdurre i fulmini attraverso le scintille. Infatti, soprattutto le folgori globulari, ma anche quelle progressive e a rosario, sono tra i fenomeni più "meravigliosi" tra quelli trattati. Sono tanto rari e particolari che addirittura alcuni dubitano della loro esistenza. Invece con questa esperienza la loro comprensione non appare più così irraggiungibile e questo vale anche per la folgore globulare, nonostante si sia trovata solo una lontana somiglianza.

Modello di funzionamento del parafulmine di Lodge

È importante presentare anche l'esperienza relativa al funzionamento dei parafulmini, innanzitutto perché essi sono l'argomento centrale intorno a cui si sviluppano le ultime

²⁶Corso libero - lezione 7

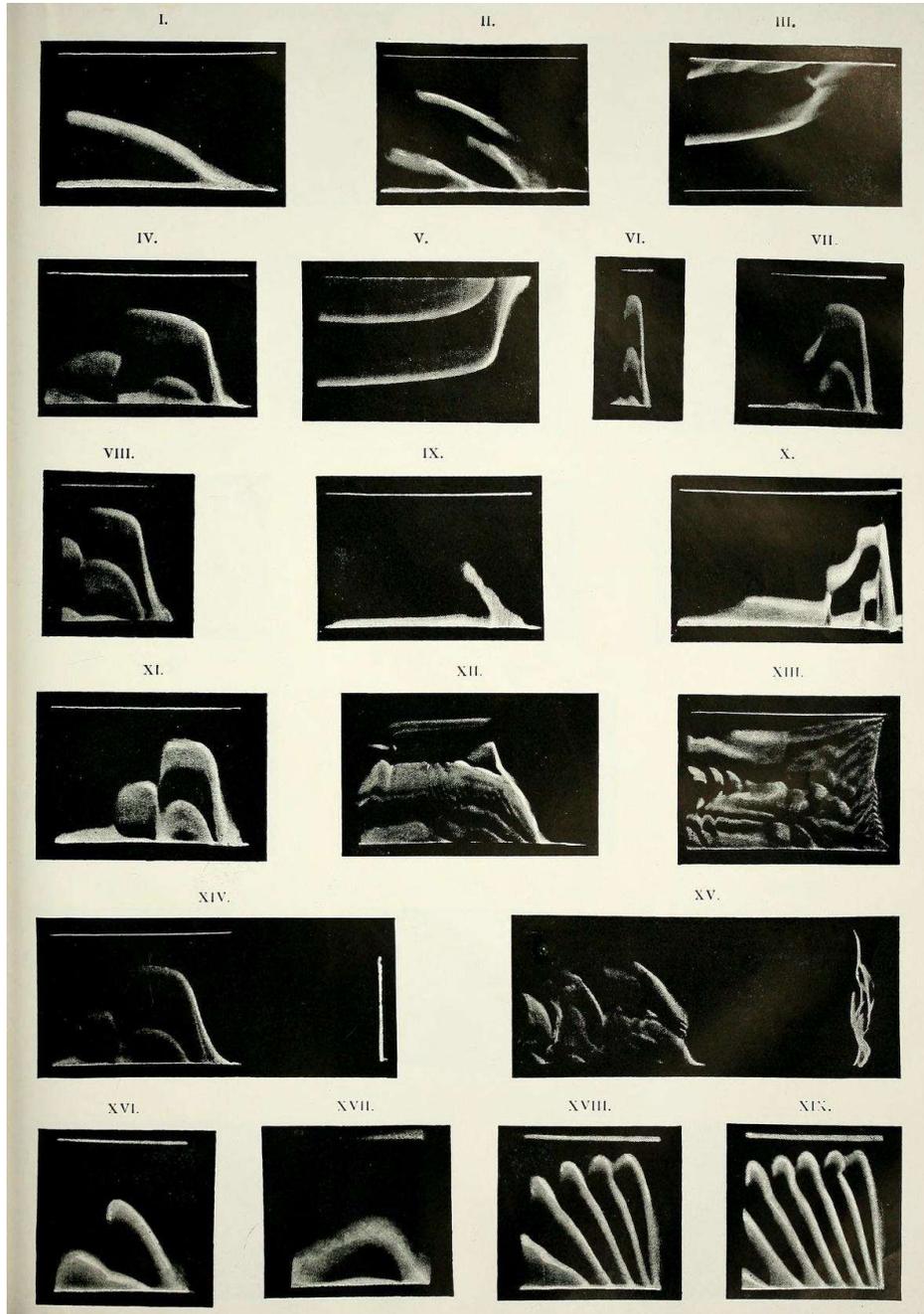


Figura 3.23: *Tavola I della Memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto” [36]*

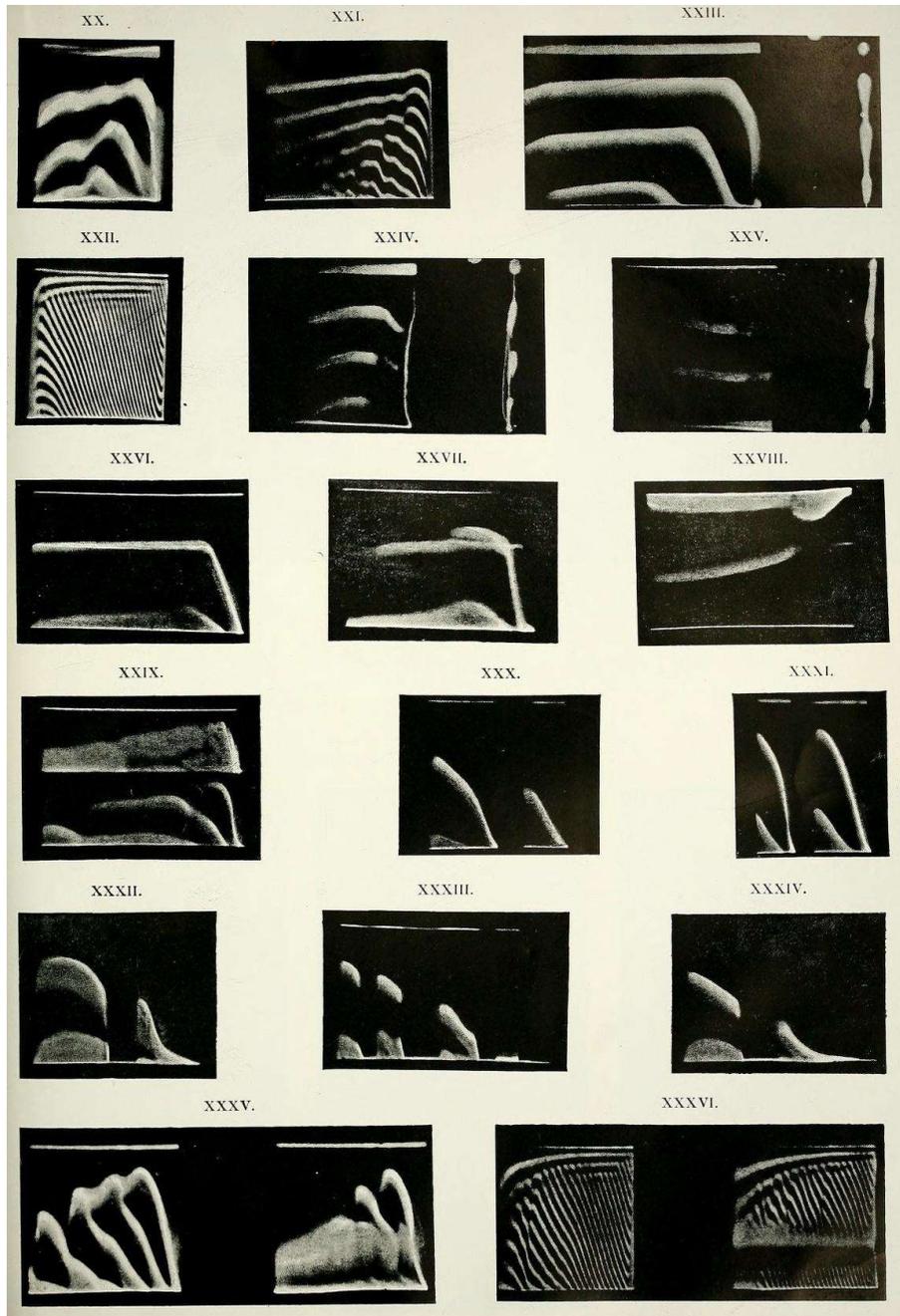


Figura 3.24: *Tavola II della Memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto” [36]*

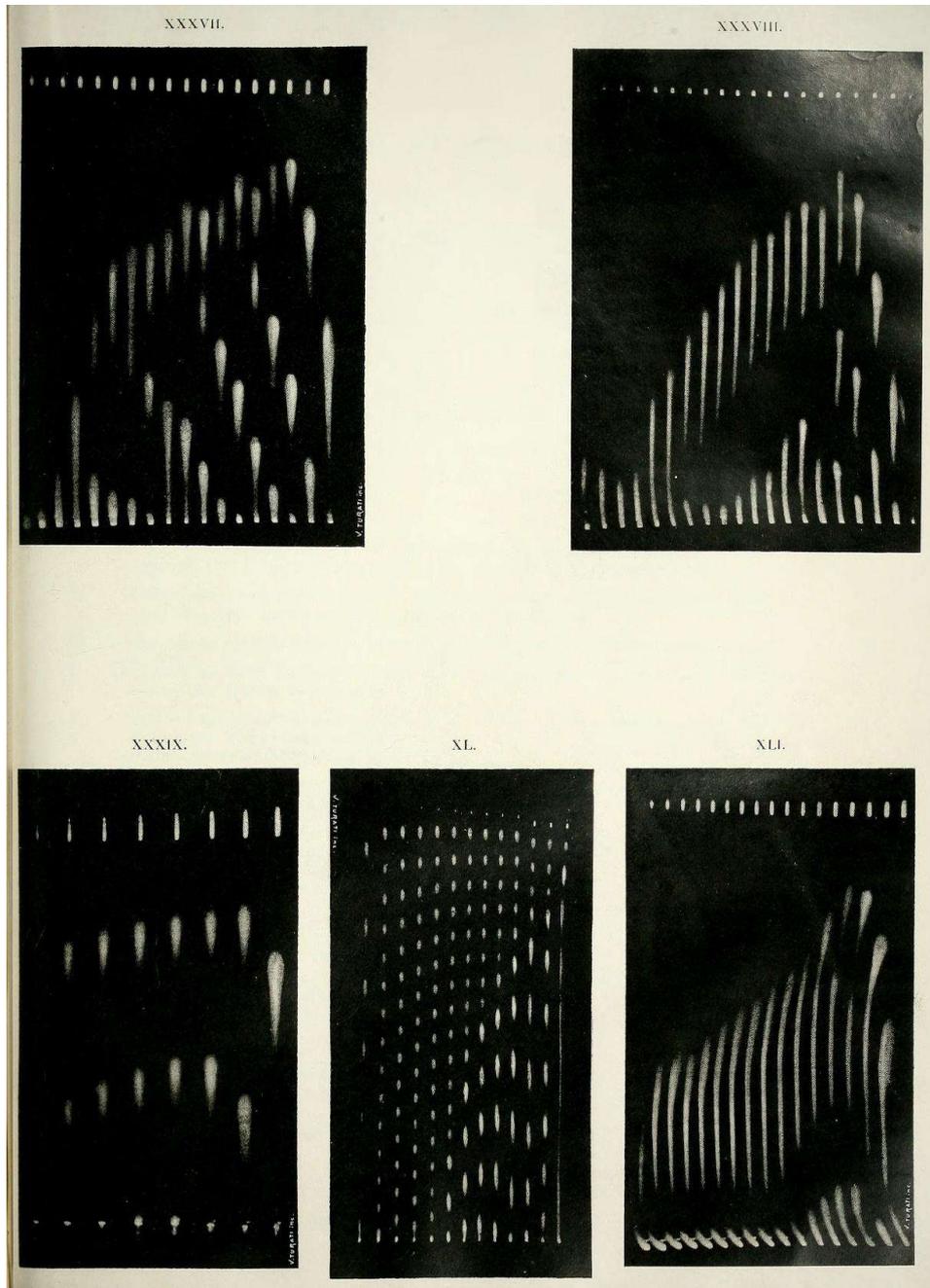


Figura 3.25: *Tavola III della Memoria di Augusto Righi “Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto” [36]*

lezioni. Inoltre, tra le molte esperienze che vengono eseguite dal Professore, questa è particolarmente interessante perché è la modellizzazione di quello che potrebbe accadere con la presenza di un parafulmine.

Prima di vedere l'esperienza è necessario però fare qualche premessa. La prima nota non riguarda direttamente l'argomento, ma è una precisazione di carattere storiografico. All'interno delle dispense, come già anticipato all'inizio del capitolo, non si trova "Lodge", ma "Leutch". Che lo scienziato nominato sia il fisico britannico Oliver Lodge (1851-1940) è però suggerito da tre fattori: innanzitutto il fatto che non è possibile trovare alcun riferimento ad uno studioso chiamato Leutch, motivo per cui è probabile che il nome non sia stato scritto correttamente; in secondo luogo il fatto che in tedesco il dittongo "eu" si pronuncia "oi"; in terzo luogo il testo di Lodge intitolato "*Lightning conductors and lightning guards*" [40] al cui interno si trova l'esperimento proposto anche da Righi e altre considerazioni sull'argomento che si ritrovano anche nelle sue lezioni.

La seconda premessa è legata alle funzionalità dei parafulmini. Infatti essi possono avere due azioni: preventiva e difensiva. Franklin, che per primo pensò ai parafulmini, partì dal primo aspetto, cioè rendere difficile lo scoppio del fulmine. La ragione di questo effetto si trova nel fenomeno dell'influenza, infatti l'elettricità atmosferica attira sulla punta una carica del segno opposto, ma essendo il parafulmine a punta questa si disperde nell'aria. Questo è di ostacolo alla formazione della differenza di potenziale necessaria per lo scoppio del fulmine. D'altra parte il parafulmine è solitamente più in alto e costituisce un conduttore molto migliore degli oggetti che gli stanno intorno, quindi, anche nell'eventualità dello scoppio di un fulmine, la scarica non passerà per quegli oggetti ma per il parafulmine, e questa è l'azione difensiva.

L'ultima nota riguarda i fattori che facilitano il formarsi di una scintilla (e di conseguenza di una folgore). Nelle lezioni questo argomento è corredato da molte dimostrazioni sperimentali dalla struttura simile: al sistema della macchina elettrica e del condensatore si collegano due spinterometri, così da sfruttare il metodo della biforcazione della scarica; i due spinterometri si distinguono solo per una caratteristica (ad esempio uno dei due presenta un elettrodo a punta), mostrando quindi come questa va a facilitare la scarica rispetto alla situazione normale. Particolarmente interessante tra questi esempi è l'accenno all'effetto fotoelettrico, infatti l'illuminazione dell'elettrodo negativo di luce ultravioletta è uno dei fattori considerati. Nel corso della lezione accenna per sommi capi ai principali studi del fenomeno, partendo dalle prime esperienze di Hertz e citando

il lavori di Eilhard Wiedemann (1852-1928) e Hermann Ebert (1861-1913).

Il culmine di questo insieme di esperienze è la dimostrazione che nella scarica elettrica, e quindi nella folgore, rientrano un gran numero di fattori, non solo la differenza di potenziale, ma anche il valore assoluto dello stesso, la curvatura e la natura dei corpi e anche la radiazione ultravioletta. Conoscendo questi aspetti ed osservando con attenzione le circostanze in cui avviene la formazione di un fulmine, si possono comprendere alcune delle anomalie che si riscontrano in talune circostanze.

“Immaginiamo per esempio che una nube sia molto carica e ad una certa altezza dal suolo, essa agisce per influenza su tutti i corpi che sono sul suolo ed al disotto di esso. Ammettiamo che sul suolo vi siano alberi, edifici ed ammettiamo anche che vi sia un parafulmine su di un edificio, cioè un’asta in comunicazione col suolo e che termina in alto con una punta. Se uno si propone di esaminare ciò che dovrà accadere bisogna che prima si fissi in mente quali sono le circostanze nelle quali la scarica richiede piccola differenza di potenziale, perché sarà in questa circostanza che la scarica verrà a prodursi. [...] Chi ci dice dunque che la scarica non avvenga fra la nube e l’edificio che si voleva salvare piuttosto che sul parafulmine? Or bene bisogna ricorrere all’esperienza per esaminare la possibilità di questo fatto che sarebbe gravissimo giacché renderebbe illusoria la fiducia che s’ha dei parafulmini.”²⁷

Sebbene Righi non utilizzi la parola “modello”, l’esperienza che propone è la modellizzazione delle condizioni immaginate: al posto della nube carica si può utilizzare un disco metallico, e davanti ad esso si pongono conduttori di diversa forma, a imitazione degli alberi, degli edifici e del parafulmine. Questa è la forma delle esperienze fatte da Lodge, mentre Righi semplifica ancora il sistema mettendo davanti al disco metallico solo una sfera e una punta, come modello di una casa e di un parafulmine. Il disco è collegato ad una armatura del sistema di condensatori, la sfera e la punta all’altra, perché quello che importa è la differenza di potenziale tra il disco e gli altri conduttori, non il valore assoluto; le connessioni sono fatte tramite il commutatore per poter invertire facilmente la polarizzazione. I casi che analizza sono tre: il disco con una carica costante, la “nu-

²⁷Corso libero - lezione 12

be” che cambia carica improvvisamente, e uno in cui il collegamento a terra della punta risulta imperfetto.

Caso 1: Nella terza premessa, riguardante la formazione delle scintille, si trova che maggiore è la curvatura dell’elettrodo più la scarica è facilitata. Quindi, a meno che la punta non si trovi notevolmente più distante dal disco rispetto alla sfera, la scarica non avverrà su quest’ultima. Inoltre si non si ottiene la formazione di una scintilla tra il disco e la punta, ma i fenomeni della stelletta, o del fiocco elettrico,²⁸ a seconda della polarizzazione della “nube”. Questo è quindi anche un esempio dell’azione preventiva del parafulmine. Se nella connessione tra la punta e la terra (o in questo caso con l’armatura del condensatore) c’è un’interruzione, allora la carica della punta può andare a terra solo a intervalli. Per cui può succedere che la sfera arrivi a caricarsi abbastanza perché si formi una scintilla tra essa e il disco. Anche questa eventualità, però, non avviene sempre, ma solo nel caso in cui il disco è carico positivamente e la punta e la sfera negativamente; perché altrimenti la maggior curvatura della punta porta la scintilla a formarsi sempre su di essa, anche se la sfera è più in alto. E questo è il caso in cui si ha l’azione difensiva del parafulmine.

Caso 2: Può succedere che la carica di una nuvola aumenti improvvisamente, ad esempio se c’è una folgore tra due nubi. In questo caso, visto che l’influenza sugli oggetti terrestri è improvvisa, la folgore scocca quasi sempre dove la distanza è minore senza che ci sia una chiara dipendenza dalla curvatura dei conduttori. Per mostrare il fenomeno nel modello si utilizza il commutatore: tenendo i bracci dell’invertitore in modo che non ci sia collegamento tra il sistema (disco, punta e sfera) e il condensatore, quest’ultimo avrà una carica molto maggiore. Quando poi si girano i bracci a formare il collegamento si avrà una scintilla tra il disco e il conduttore più vicino, che esso sia la sfera oppure la punta. Una piccola differenza si vede nel caso in cui il disco è negativo e la sfera è solo leggermente più vicina ad esso. In questo caso ogni tanto la scintilla scocca comunque sulla punta. Con questo esempio si spiega quindi perché, anche avendo parafulmini costruiti perfettamente, ci possano essere ancora casi in cui la difesa non è efficace.

²⁸Con questi termini, che hanno origine dagli studi di Giovanni Battista Beccaria (1716-1781) e che non risultano più utilizzati dal Novecento in poi, si fa riferimento al fenomeno della Corona elettrica.

Caso 3: L'ultima eventualità considerata è quella in cui il collegamento con la terra ha una resistenza troppo alta, ad esempio perché esso è fatto di un materiale che non è un buon conduttore, oppure presenta una comunicazione imperfetta. Nel modello questo si traduce con l'aggiunta di una resistenza nella connessione della punta con l'armatura del condensatore. In questo caso, se la nube si carica improvvisamente, la scarica avverrà sempre tra il disco e la sfera, anche se la punta è a una distanza minore. Con quest'ultima eventualità Righi vuole sottolineare che, quando si vanno a analizzare le cause della poca efficacia di un parafulmine, non bisogna fermarsi solo all'altezza, ma va considerata anche la connessione con la terra.

3.1.4 Conclusione

Gli esperimenti presentati sono solo sei dei più di trenta che Righi ha svolto durante il suo corso, essi sono però ben rappresentativi delle caratteristiche della didattica di Righi.

Le prime esperienze esposte riguardavano il tema delle differenze tra folgori e scintille elettriche, in particolare la questione della lunghezza dei fulmini. Uno dei motivi che spiega le dimensioni delle folgori è il fatto che in aria rarefatta si ottengono scariche più lunghe. Questa è l'ipotesi iniziale, che Righi dimostra utilizzando gli esperimenti dei tubi di Geissler e Newton. Nel primo caso non si ottiene una scintilla, motivo per cui è necessaria anche l'esperienza con il tubo di Newton. Da un punto di vista della didattica, lo scopo più evidente di questi esperimenti è di carattere dimostrativo, cioè mostrare la correttezza dell'ipotesi.

L'esperienza del quadro scintillante riguarda lo stesso tema, ma ha un punto di partenza diverso. Invece di cominciare da una caratteristica delle scintille, Righi parte dall'osservazione della natura, cioè dal fatto che le folgori scoccano in un gas saturo di gocce d'acqua. Da questa considerazione ipotizza che la lunghezza dei fulmini sia dovuta anche a questa particolarità dell'aria. L'esperienza ha uno scopo dimostrativo perché mostra la veridicità dell'osservazione, ma non solo: il quadro scintillante è anche una rappresentazione del fulmine. Righi infatti, nell'introdurre l'esperimento, sostiene che "*imita alla perfezione le folgori*". L'altra particolarità di questo esperimento consiste nel fatto che i quadri magici erano costruiti e utilizzati unicamente per meravigliare il pubblico, senza avere un profondo significato scientifico. Il quadro scintillante costruito

da Righi per le lezioni, pur mantenendo la stessa struttura di base, presenta le opportune modifiche perché sia utile agli scopi.

La terza sezione riguarda il primo blocco di esperimenti in cui Righi utilizza la fotografia scientifica. Queste esperienze sono interessanti per tre motivi: uno relativo ai contenuti e due di natura metodologica. Per quanto riguarda il tema del corso, Righi sfrutta l'aver dimostrato la corrispondenza tra folgori e scintille per indagare le caratteristiche dei fulmini attraverso le scariche delle macchine elettriche. Il fatto che queste ultime si possono fotografare permette a Righi di fare misure quantitative che sarebbero impossibili ad occhio nudo. Da un punto di vista didattico queste esperienze sono interessanti perché l'uso delle fotografie permette a Righi di mostrare i dati quantitativi, ma anche di chiarire rapidamente i risultati di alcune esperienze che altrimenti avrebbero richiesto troppo tempo. L'ultimo motivo per cui questo esempio è interessante riguarda il fatto che le fotografie mostrate da Righi provengono da alcune sue memorie pubblicate sul *Nuovo Cimento*. All'interno del corso non ci sono riferimenti espliciti, ma attraverso il confronto con gli articoli si trova una chiara corrispondenza.

L'esperimento relativo alle scariche oscillanti, continue e intermittenti ha caratteristiche molto simili a quello precedente: è tratto da un lavoro di Righi pubblicato sul *Nuovo Cimento* e vengono sfruttate le immagini prodotte nel corso di quello studio. La novità di questa esperienza risiede nel fatto che Righi fa notare come alcune delle scintille ottenute imitano delle strane fiamme che ogni tanto si possono vedere durante i temporali. Tramite questo esperimento Righi fornisce una spiegazione di tale fenomeno naturale, supponendo che abbia la stessa origine delle scintille della macchina elettrica.

Un esempio ancora più completo di questa tipologia di dimostrazioni sperimentali è dato dall'esperienza sulle scariche progressive. L'esperimento è tratto da una memoria di Righi pubblicata all'Accademia delle Scienze di Bologna nel 1891: le fotografie mostrate in classe e brevemente descritte si possono fare risalire alle immagini delle tavole dell'articolo e l'ordine con cui vengono affrontati gli argomenti ricalca abbastanza fedelmente la struttura della memoria. Inoltre si trovano riferimenti alle lezioni anche all'interno della dissertazione: vengono fornite indicazioni su come modificare l'apparato in modo che le scintille siano viste in contemporanea da una platea. Il tema principale del lavoro è la scarica progressiva, che si può direttamente collegare alle folgori progressive, ma in alcune configurazioni dell'esperimento si ritrovano apparenze molto simili alla folgore *a rosario* e globulare, anche se in questo ultimo caso Righi specifica che si tratta di una

lontana somiglianza. Le spiegazioni del fenomeno sono solo ipotesi, in quanto era un argomento molto aperto, ma anche ai giorni nostri non ci sono spiegazioni esaustive della natura del fulmine globulare.

L'ultimo esperimento scelto non riguarda direttamente le folgori, ma un argomento strettamente collegato: i parafulmini. L'esperienza è sempre tratta da un lavoro di ricerca, ma in questo caso dal libro *Lightning conductors and lightning guards* del fisico inglese Oliver Lodge. Dall'esperimento del quadro scintillante tutte le esperienze sono modelli della natura, in quanto imitazione in piccolo del fenomeno temporalesco. In questo caso, tuttavia, la modellizzazione è più profonda ed evidente: la nube viene rappresentata da un disco metallico, la casa da una sfera conduttrice e il parafulmine da una punta. Righi non esplicita che le evidenti differenze tra un disco e una nuvola, oppure tra una casa e una sfera, non hanno importanza per i fini dell'esperimento, limitandosi a asserire che impostando in quel modo l'esperienza si ottiene una situazione simile al caso reale:

“Immaginiamo per esempio che una nube sia molto carica e ad una certa altezza dal suolo, essa agisce per influenza su tutti i corpi che sono sul suolo ed al disotto di esso. Ammettiamo che sul suolo vi siano alberi, edifici ed ammettiamo anche che vi sia un parafulmine su di un edificio, cioè un'asta in comunicazione col suolo e che termina in alto con una punta. [...] Si può disporre un'esperienza che rassomigli molto alle condizioni immaginate. Cioè nella quale s'abbia un largo conduttore che sarà questo disco di metallo e davanti altri conduttori che saranno o sfere metalliche o punte acute, e vedere sperimentalmente in quale maniera s'effettuerà la scarica.”²⁹

²⁹Corso libero - lezione 12

Capitolo 4

Conclusioni

L'insegnamento della fisica di fine Ottocento ha alcuni caratteri ben definiti e diffusi abbastanza omogeneamente in tutta Europa. L'elemento più evidente è l'approccio empirico e il fatto che esso si traduca in dimostrazioni sperimentali alla cattedra. Questo emerge dall'analisi dei libri di testo, che dedicano una larga parte alla descrizione degli esperimenti, degli apparati e dei risultati. Oltre ai manuali, nel capitolo 2 sono stati illustrati anche altri esempi come la descrizione della modalità didattica classica da parte di Warner o le indicazioni nazionali date in Italia.

Come visto nell'analisi del corso libero *Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*, analizzato in questa tesi, l'uso della dimostrazione sperimentale è evidente anche nelle lezioni di Righi. Egli infatti introduce e dimostra ogni argomento attraverso un esperimento, tanto che le esperienze, tra quelle svolte e quelle solo descritte, superano la trentina. Andando nel dettaglio delle stesse emerge l'abilità di Righi nell'utilizzo di questa modalità didattica: innanzitutto nella scelta delle stesse; in secondo luogo nell'acume evidente nella modifica di strumenti in modo che abbiano un profondo significato fisico, come si è visto per il quadro scintillante; infine nella destrezza con cui svolgeva gli esperimenti. Difatti, leggendo gli appunti si ha la falsa percezione che siano esercizi semplici da compiere, quando invece non era affatto facile ottenere il risultato desiderato e a dimostrazione di questo si trovano anche diverse parentesi in cui Righi mette in guardia gli studenti rispetto a possibili errori.

A riguardo dell'aspetto sperimentale della didattica di fine Ottocento, si è trattato anche l'argomento dello sviluppo della metodologia laboratoriale. Per la natura del corso

trattato, non si possono ricavare molti indizi sulle possibilità date agli studenti di fare pratica in laboratorio. Tuttavia, i numerosi cenni riguardanti aspetti cruciali dello svolgimento di un esperimento possono fare intuire che gli studenti venissero formati anche all'attività laboratoriale. Ad esempio, mentre spiega l'esperienza del tubo di Newton, avverte:

*“Quando farò delle esperienze procederò con una certa lentezza e cautela allo scopo di evitare imprevisti incidenti. Eviterò di toccare con mano i conduttori quando la macchina è carica ed eviterò di toccarli anche dopo che è avvenuta la scarica inquantoché succede sempre il fenomeno della scarica residuale in virtù della quale la macchina si ricarica da se.”*¹

Inoltre per la stessa esperienza spiega come l'inserimento di tubi d'acqua che fungono da resistenze evita che avvenga la scarica all'interno della macchina elettrica.

Una seconda caratteristica dell'insegnamento della fisica dell'Ottocento è il limitato utilizzo della formalizzazione matematica. Questo in particolare a livello di scuola superiore, ma, come mostra il lavoro della Olesko sull'avvento della fisica teorica in Germania [27], pure nei corsi universitari l'approccio matematico era probabilmente molto limitato. Il corso libero analizzato nel presente lavoro pare confermare questa tendenza: come abbiamo visto all'inizio del paragrafo 3.1.3, talvolta la spiegazione sembra essere più teorica, ma i passaggi matematici sono sempre solo accennati, ad esempio:

*“molti osservatori [...] hanno ricorso ai calcoli, ai metodi insegnati dalla trigonometria, e sono pervenuti concordemente a dei risultati assai singolari.”*²

Anche quando vengono richiamate delle leggi fisiche solitamente viene presentata una versione non formalizzata. Ad esempio, nella seconda lezione, Righi presenta la legge di Coulomb in questo modo:

*“Fu Coulomb che scoprì la legge che «l'attrazione e la repulsione elettrica è in ragione inversa del quadrato delle distanze»*³

¹Corso libero - terza lezione

²Corso libero - seconda lezione

³ibidem

Questo non significa che gli studenti non conoscessero la matematica, anzi tutti i percorsi della facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali prevedevano corsi avanzati di matematica. Quello che invece si può intuire dalla lettura di questo corso è il fatto che i passaggi non venissero esplicitati, come nell'esempio in cui veniva citata la trigonometria, oppure che il linguaggio utilizzato non fosse quello matematico, come per la legge di Coulomb.

Un ultimo attributo dell'insegnamento della fisica dell'Ottocento è la scarsa considerazione delle ipotesi teoriche che non siano state verificate sperimentalmente. Questo aspetto lo si era visto in particolare nei paragrafi dedicati alla situazione inglese e francese, quando si è discusso dello studio di Simon sui manuali di Adolphe Ganot. In particolare, si era notato come si fosse mantenuta la trattazione dell'elettricità da un punto di vista di fluidi imponderabili, nonostante nella comunità dei fisici fosse ormai condivisa la narrazione attraverso la conservazione dell'energia. Le ragioni di questa reticenza a cambiare sono due: da una parte si tratta di sostituire un'ipotesi con un'altra, dall'altra la spiegazione attraverso i fluidi imponderabili è molto efficace. Come accennato nell'introduzione, Righi spicca nel panorama scientifico nazionale anche perché le sue ricerche non sono puramente sperimentali, ma presentano delle considerazioni teoriche. Nonostante questo all'interno delle lezioni dimostra la stessa attenzione nel momento di presentare ipotesi non verificate sperimentalmente, ad esempio:

*“Non mi resta dunque che quest'ultima questione sull'origine dell'elettricità atmosferica. Sarò breve perché qui **non c'è nulla di positivo da dire su tale argomento, e bisogna limitarsi ad enumerare le ipotesi.**”⁴*

Inoltre ad inizio del corso nomina l'ipotesi dei fluidi imponderabili per spiegare la natura dell'elettricità e, nonostante sostenga che non sono corrette, commenta come il frasario sia rimasto quello delle teorie settecentesche.

Avendo trovato queste caratteristiche comuni tra la pratica del tempo e la didattica di Righi, è dunque possibile un altro punto di vista. Come fece Righi stesso con le scintille e le folgori, è possibile partire dall'analisi degli appunti per studiare più in profondità le modalità didattiche che venivano utilizzate nell'insegnamento della fisica dell'epoca.

Un aspetto della didattica di Righi emerso dall'analisi degli appunti, è l'uso della propria attività di ricerca. La quasi totalità degli esperimenti svolti da Righi durante

⁴Corso libero - quindicesima lezione

il corso, infatti, la si può ritrovare all'interno delle sue pubblicazioni. Il fatto che Righi attinga alle sue memorie è esplicitato più volte all'interno delle lezioni, ad esempio nella prima esperienza con le fotografie: *“Io stesso nel 1878 mi occupai di questa ricerca ed ora esporrò alcuni risultati”*; oppure introducendo l'esperimento delle scariche progressive: *“Passo quindi a trattare una serie di esperienze che io ho intrapreso ed a mostrare i principali risultati ottenuti. Lo scopo propostomi fu quello di cercare d'ottenere colle esperienze una scintilla elettrica che rassomigliasse alle scariche progressive”*. Nonostante non venga specificato l'articolo al quale si fa riferimento, non è difficile trovarlo dall'esperimento stesso. I vantaggi didattici dell'utilizzare questi lavori di ricerca sono stati accennati nelle scorse sezioni, in particolare lo sfruttamento delle fotografie scientifiche. Questa caratteristica delle lezioni è importante anche nell'analisi degli appunti perché la lettura della memoria ha portato a una migliore comprensione della spiegazione trovata negli appunti. Di particolare importanza è stata la possibilità, data dal confronto tra i due testi, di vedere le fotografie e le immagini degli strumenti che Righi utilizzava durante le lezioni. Perché, facendo riferimento ad un oggetto presente in aula, la descrizione del professore sorvola su alcune caratteristiche visibili, rendendo più complicato comprendere la situazione dalla sola lettura degli appunti.

In conclusione, l'analisi degli appunti del corso libero *Fenomeni fisici dell'atmosfera e fenomeni fisici del corpo umano*, per quanto parziale, dato che le dispense non sono complete, permette di ricavare un quadro piuttosto solido riguardo l'insegnamento del Professor Righi. Una didattica che presenta i caratteri dell'insegnamento della fisica di quel periodo ma che, tuttavia, mostra delle peculiarità: esse sono relative non solo all'ingegno sperimentale che contraddistingue anche la sua attività di ricerca, ma anche l'utilizzo di mezzi e modalità didattiche specifiche, come le foto scientifiche o l'analogia tra potenziale elettrico, temperatura e pressione.

Bibliografia

- [1] Giorgio Dragoni. Augusto righi: Fisico e matematico — una rilettura biografica. *Quaderni di storia della fisica*, 19(1):47–71, 2017.
- [2] Pietro Cardani. In memoria di Augusto Righi. *Il Nuovo Cimento*, 21:19–26, 1921.
- [3] Nadia Robotti Matteo Leone. *I fisici senatori 1848-1943*. SIF Edizioni Scientifiche, 2019.
- [4] Ugo Besson. *Didattica della fisica*. Carocci editore, 2017.
- [5] Augusto Righi. Sulle basi sperimentali della teoria della relatività. *Nuovo Cimento*, 19(1):142–162, 1920.
- [6] Wilhelm Hallwachs. Osservazioni ad una affermazione di priorità del prof. A. Righi. *Il Nuovo Cimento*, 28(1):59–62, 1890.
- [7] Nadia Robotti Matteo Leone. Accadde quell’anno - Augusto Righi. *Giornale di fisica*, 61(3):337–358, 2020.
- [8] Paolo Cinti Giorgio Dragoni. *Per una storia dell’insegnamento della Fisica nell’Università di Bologna*, pages 368–412. Bononia University Press, 9 2019.
- [9] Miriam Focaccia. *Pietro Blaserna and the Birth of the Institute of Physics in Rome: A Gentleman Scientist at Via Panisperna*. Springer, 01 2019.
- [10] Josep Simon. Writing the discipline: Ganot’s textbook science and the “invention” of physics. *Historical Studies in the Natural Sciences*, 46(3):392–427, 2016.
- [11] Josep Simon. Secondary matters: Textbooks and the making of physics in nineteenth-century France and England. *History of Science*, 50(3):339–374, 2012.

- [12] G. Giuliani. *Il Nuovo Cimento – Novant’anni di fisica in Italia 1855-1944*. La Goliardica Pavese, 2019.
- [13] Paoloantonio Marazzini. Didattica della fisica nella scuola secondaria superiore dal 1870 al 1940: Analisi dei libri di testo. *Giornale di fisica*, 51(1):39–92, 2010.
- [14] Charles F. Warner. Teaching physics. *The Journal of Education*, 47(10 (1169)):150–150, 1898.
- [15] Gelpi E. et al. Western education in the 19th century. In *Education*. Encyclopaedia Britannica, maggio 2021. <https://www.britannica.com/topic/education/Western-education-in-the-19th-century>, visitato il 5 luglio 2021.
- [16] The Editors of Encyclopaedia. Public school, febbraio 2017. <https://www.britannica.com/topic/public-school>, visitato il 5 luglio 2021.
- [17] Graeme Gooday. Precision measurement and the genesis of physics teaching laboratories in victorian britain. *The British Journal for the History of Science*, 23(1):25–51, 1990.
- [18] FamilySearch Wiki. England, history of education 1829 to 1944 (national institute) — familysearch wiki,, 2014. [Online; accessed 20-August-2021].
- [19] Josep Simon. *Communicating Physics*. University of Pittsburgh Press, 1 edition, 2011.
- [20] Daniel Jon Mitchell. From corps to discipline, part one: Charles d’Almeida, Pierre Bertin and french experimental physics, 1840–1880. *The British Journal for the History of Science*, 51(3):333–368, 2018.
- [21] Brenni Paolo. The evolution of teaching instruments and their use between 1800 and 1930. *Science & Education*, 21:191–226, 12 2010.
- [22] Terry Shinn. The french science faculty system, 1808-1914: Institutional change and research potential in mathematics and the physical sciences. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 10:271–332, 1979.

- [23] J. W. Herivel. Aspects of french theoretical physics in the nineteenth century. *The British Journal for the History of Science*, 3(2):109–132, 1966.
- [24] Kathryn M. Olesko. Physics instruction in prussian secondary schools before 1859. *Osiris*, 5:94–120, 1989.
- [25] David Cahan. The institutional revolution in german physics, 1865-1914. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 15(2):1–65, 1985.
- [26] N. Henry Black. Grimsehl’s laboratory. *School Science and Mathematics*, 15(8):670–677, 1915.
- [27] Kathryn Olesko. *The emergence of theoretical physics in Germany : Franz Neumann & the Königsberg school of physics, 1830-1890*. PhD thesis, Cornell University, 1980.
- [28] F. Fiorentino. Raccolta di scritti vari intorno all’istruzione pubblica– del senatore Carlo Matteucci – Prato, 1867. *Nuova Antologia di scienze, lettere ed arti*, 7:174–184, 1868.
- [29] Ariane Dröescher. *Le facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali in Italia (1860-1915)– Repertorio delle cattedre e degli stabilimenti annessi, dei docenti, dei liberi docenti e del personale assistente e tecnico*. CLUEB, 04 2013.
- [30] Stefano Bordoni. Caratteri e stagioni della fisica. In *Storia d’Italia. Scienze e cultura dell’Italia unita*, pages 417–440. Giulio Einaudi editore, Torino, 2011.
- [31] Carlo Matteucci. Sullo stato attuale delle scienze fisiche in Italia e su alcune macchine di fisica, per Pietro Blaserna. *Nuova Antologia di scienze, lettere ed arti*, 7:421–424, 1868.
- [32] Paolo Rossi Giovanni Battimelli, Adele La Rana. Masters and students in italian physics between the 19th and 20th centuries: the Felici-Bartoli-Stracciati-Corbino case. *The European Physical Journal H*, 45, 08 2020.
- [33] *Le Feste giubilari di Augusto Righi per la inaugurazione del nuovo Istituto di fisica: (XII aprile MCMVII)*. Zanichelli, 1907.

- [34] A Bartorelli Augusto Righi. Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari—largo sunto della nota pubblicata nel rendiconto delle sessioni della r. accademia delle scienze dell’ istituto di Bologna. 18 febbraio 1894. *Il Nuovo Cimento*, 35(1):276–280, 1894.
- [35] Augusto Righi. Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi. *Nuovo Cimento*, 22(1):234–268, 1877.
- [36] Augusto Righi. Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto. *Memorie della Reale Accademia delle Scienze dell’Istituto di Bologna, Classe di Scienze Fisiche*, 5(1):679–709, 1891.
- [37] Augusto Righi. Sopra una specie di scintille elettriche nelle quali la luminosità di propaga gradatamente da un elettrodo all’altro. *Memorie della Reale Accademia delle Scienze dell’Istituto di Bologna, Classe di Scienze Fisiche*, 5(1):315–319, 1891.
- [38] Ugo Pesci. Augusto Righi e la telegrafia senza filo. *L’illustrazione italiana*, 30(9):170–172, 1903.
- [39] Augusto Righi. Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche; seconda memoria di A. Righi. *Nuovo Cimento*, 22(2):28–38, 1877.
- [40] Oliver J. Lodge. *Lightning conductors and lightning guards. A treatise on the protection of buildings, of telegraph instruments and submarine cables, and of electric installations generally, from damage by atmospheric discharges*. Chiswick press, 1892.
- [41] Giorgio Valle. La vita e l’opera di Augusto Righi. *Il Nuovo Cimento*, 8(1):19–26, 1951.
- [42] Augusto Occhialini. Il problema dell’insegnamento delle scienze sperimentali. *Il Nuovo Cimento*, 1:74–77, 12 1911.
- [43] Bernardo Dessau Augusto Righi. *La telegrafia senza filo*. Zanichelli, Bologna, 1903.
- [44] Giorgio Valle. Scariche elettriche. In *Enciclopedia italiana*. Treccani, 1932. https://www.treccani.it/enciclopedia/scariche-elettriche_%28Enciclopedia-Italiana%29/, visitato il 5 luglio 2021.