

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITY OF BOLOGNA

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

**Scienza, Arte e Progresso: l'Ottocento visto
attraverso gli strumenti del Gabinetto di Fisica
dell'Università di Bologna**

Supervisor:
Prof. Eugenio Bertozzi

Submitted by:
Laura Rigotti

Co-supervisors:
Dr. Paolo Brenni
Dr. Anna Giatti

Academic Year 2020/2021

ABSTRACT

La tesi si colloca nell'ambito della ricerca in Storia della Fisica e, in particolare, all'interno della ricerca in ambito museale circa la storia e il funzionamento degli apparati strumentali della fisica dell'Ottocento.

Oggetto dell'elaborato è lo studio degli strumenti ottocenteschi della Collezione di Fisica del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna, conservata presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "A. Righi", sede di via Irnerio 46; tale studio è principalmente finalizzato alla ricostruzione storica, contestualizzazione e comprensione degli apparati del Gabinetto ottocentesco di Fisica dell'Ateneo bolognese. Come si mostrerà, lo studio di questi strumenti permetterà di rintracciare il processo che, nel corso dell'Ottocento, ha portato la fisica a strutturarsi in varie aree di ricerca, a stabilizzarsi come disciplina di insegnamento presso le Università e a costruirsi quell'immagine di disciplina fondamentale e modello di riferimento per le altre scienze che perdurerà per gran parte del Novecento.

La parte principale della ricerca si è svolta presso la sede del Dipartimento. È stato fatto l'inventario di tutti gli strumenti ottocenteschi della collezione, gli apparati sono stati fotografati, riordinati e divisi per sezione, poi sono stati analizzati singolarmente. Una volta identificati con la supervisione autorevole del Prof. Paolo Brenni, si è scelto di organizzare fotografie e dati raccolti in schede descrittive, utili alla creazione di un discorso storico-scientifico. Il confronto con la letteratura e i documenti storici ha inoltre permesso di raffinare ulteriormente la comprensione, riconoscere errori nelle catalogazioni precedenti e rintracciare rarità inaspettate: è il caso di due microscopi seicenteschi, uno certamente da attribuire al famoso ottico e astronomo Giuseppe Campani, mentre l'altro, apparentemente attribuito a Campani stesso in un Catalogo del 1835, fu invece ideato da Wilhelm Homberg come perfezionamento di un microscopio precedente di un altro costruttore.

Se la parte centrale della tesi consiste nell'analisi e nell'inventariazione degli strumenti della Collezione di Fisica, i primi due capitoli sono invece dedicati alla storiografia scientifica. La prima parte riguarda le collezioni di strumenti di fisica in Dipartimenti e Musei della Scienza italiani ed esteri: si analizzano il significato dei musei e delle collezioni accademiche e il dibattito attualmente in corso a livello internazionale sul concetto di patrimonio culturale, di cui gli strumenti di fisica fanno parte. Ci si focalizza quindi sulle principali collezioni di fisica italiane ed estere, su come siano organizzate, quale sia lo stato attuale delle ricerche e in che modo le direttive europee e nazionali abbiano contribuito alla valorizzazione del patrimonio conservato. La seconda parte riguarda invece la strutturazione della fisica nell'Ottocento, con la suddivisione in diverse aree di

studio e con la nascita dei primi laboratori e Gabinetti. Si analizzano quindi la storia e la costituzione originale del Gabinetto ottocentesco di fisica di Bologna, all'interno dell'Istituto delle Scienze presso Palazzo Poggi, in via Zamboni 33. Per la ricostruzione è stato fondamentale il recupero, presso l'Archivio Storico dell'Università, dei Cataloghi del 1835 e del 1865 e dell'Inventario del 1870.

ABSTRACT

This thesis is written in the context of the field of research in History of Physics and, in particular, within museum research on the history and functioning of the instrumental apparatus of nineteenth-century Physics.

The subject of the research is the study of nineteenth-century instruments from the Collection of Physics Instruments of the University Museum Network of the University of Bologna, kept at the Department of Physics and Astronomy “A. Righi”, located in via Irnerio 46; this study is mainly aimed at the historical reconstruction, contextualization and understanding of the apparatus of the nineteenth-century Physics Cabinet of the University of Bologna. As will be shown, the study of these instruments will allow to trace the process that, during the nineteenth century, led Physics to structure itself in various research areas, to stabilize itself as a teaching discipline at universities and to build that picture of a fundamental discipline and a reference model for the other sciences that lasted for most of the twentieth century.

The main part of the research took place at the headquarters of the Department. An inventory was made of all the nineteenth-century instruments in the collection, the apparatuses were photographed, rearranged and divided by section, then they were analyzed individually. Once identified with the authoritative supervision of Prof. Paolo Brenni, it was decided to organize photographs and data collected in descriptive instruments sheets, useful for the creation of a historical-scientific discourse. The comparison with literature and historical documents also made it possible to further refine the understanding, recognize errors in previous catalogues and trace unexpected rarities: this is the case of two seventeenth-century microscopes, one certainly to be attributed to the famous optician and astronomer Giuseppe Campani while the other, apparently attributed to Campani himself in a Catalogue of 1835, was instead devised by Wilhelm Homberg as a refinement of an earlier microscope from another manufacturer.

If the central part of the thesis consists in the analysis and inventorying of the instruments of the Physics Collection, the first two chapters are instead dedicated to scientific historiography. The first part concerns the collections of Physics instruments in Italian and foreign Departments and Science Museums: the meaning of museums and academic collections and the debate currently underway at an international level on the concept of cultural heritage, of which the instruments of Physics are part, are analyzed. The focus therefore is on the main Italian and foreign Physics collections, on how they are organized, what the current state of research is and how European and national directives have contributed to the enhancement of the preserved heritage. The second part, on the

other hand, concerns the structuring of Physics in the nineteenth century, with the subdivision into different study areas and with the birth of the first laboratories and cabinets. We then analyze the history and the original constitution of the nineteenth-century Physics Cabinet of Bologna, inside the Institute of Sciences at Palazzo Poggi, in via Zamboni 33. For the reconstruction it was fundamental the recovery, at the Historical Archive of the University, of the Catalogues of 1835 and 1865 and of the Inventory of 1870.

Sommario

| | |
|--|-----|
| Capitolo 1: Introduzione..... | 6 |
| 1. Storiografia scientifica e collezioni italiane ed estere | 6 |
| 1.1 <i>Il significato dei musei e delle collezioni accademiche</i> | 6 |
| 1.2 <i>Musei e collezioni come patrimonio culturale</i> | 8 |
| 1.3 <i>Musei e Collezioni di fisica e catalogazione</i> | 11 |
| 1.4 <i>I Gabinetti di fisica</i> | 12 |
| 1.5 <i>I cambiamenti del Novecento e lo stato dell'arte attuale dei Musei e delle Collezioni universitarie in Europa</i> | 13 |
| 1.6 <i>I principali Musei e le Collezioni di Fisica in Italia</i> | 16 |
| Capitolo 2: La strutturazione della fisica nell'Ottocento..... | 27 |
| 1. Tra conservazione dell'energia e Sacro Graal: la fisica come scienza dominante nell'Europa dell'Ottocento | 27 |
| 2. L'insegnamento della fisica nell'Ottocento..... | 33 |
| 3. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Bologna..... | 35 |
| 3.1 <i>Introduzione all'Istituto e all'Accademia delle Scienze</i> | 36 |
| 3.2 <i>Il Gabinetto di Fisica</i> | 39 |
| 3.3 <i>Il Museo dell'Istituto di fisica dell'Università di Bologna</i> | 44 |
| Capitolo 3: Gli strumenti ottocenteschi della Collezione di Fisica dell'Università di Bologna..... | 47 |
| 1. Introduzione..... | 47 |
| 2. Presentazione della collezione nelle aree tematiche | 49 |
| 2.1 <i>L'Ottica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 49 |
| 2.2 <i>La Geodesia ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 65 |
| 2.3 <i>La Fisica Elettrica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 75 |
| 2.4 <i>La Pneumatica e l'Idrostatica ottocentesche e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 87 |
| 2.5 <i>L'Acustica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 96 |
| 2.6 <i>La Meccanica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 106 |
| 2.7 <i>La Termologia e la Termodinamica ottocentesche e gli apparati della Collezione di Fisica</i> | 118 |
| Capitolo 4: Conclusioni | 124 |
| Appendice A..... | 128 |
| Lista di alcuni tra i principali Musei e Collezioni di Fisica esteri | 128 |
| Appendice B | 129 |
| Inventario degli strumenti di fisica della Collezione del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna conservata presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "A. Righi" | 129 |
| Bibliografia..... | 137 |

Capitolo 1: Introduzione

1. Storiografia scientifica e collezioni italiane ed estere

1.1 Il significato dei musei e delle collezioni accademiche

Un problema sollevato recentemente da diversi studiosi nell'ambito della ricerca scientifica museale, riguarda il significato dei musei e delle collezioni universitarie. Lourenço sottolinea come questo sia un dilemma che molti rettori, presidenti e vicerettori si trovano ad affrontare quando si confrontano con raccolte che sembrano essere in contrasto con le agende presenti e future delle loro università (Lourenço, 2005).

Infatti, al momento della loro fondazione, tutte le università europee incorporarono collezioni ed edifici di precedenti Istituti, scuole, accademie. Sin dai loro esordi, esse hanno raccolto più o meno continuativamente beni culturali antichi per ragioni di prestigio e status sociale e in questo senso esse non hanno operato diversamente da altre organizzazioni pubbliche o private, come fondazioni e società. La differenza sostanziale risiede tuttavia nell'importante ruolo di insegnamento e di ricerca che le collezioni universitarie hanno avuto nel corso dei secoli, come costruzione e trasmissione del sapere. Le università hanno pertanto da sempre giocato un ruolo di rilievo nella storia dei musei.

Negli anni le collezioni universitarie sono sempre state riorganizzate, disperse, vendute e perdute ma, mentre in passato ciò avveniva principalmente per ragioni scientifiche, dalla seconda metà del XX secolo i motivi di revisione, riorganizzazione e dispersione sembrano essere diventati in gran parte politici e amministrativi. Le università sono sempre state istituzioni altamente dinamiche e, specialmente dal secolo scorso in poi si sono trovate di fronte a grandi sfide e trasformazioni, a partire dalla necessità di adattare i corsi ai bisogni specifici richiesti dal mercato del lavoro, che le hanno portate a ridefinire il loro scopo in termini più utilitaristici. Ciò implica la razionalizzazione delle risorse, la riorganizzazione e talvolta la fusione di dipartimenti e facoltà. Queste trasformazioni hanno spesso portato ad una diminuzione dell'uso delle collezioni come risorsa per la ricerca e per la didattica, che si è quindi tradotta nella decisione, da parte dei rettori o delle cariche amministrative costretti a far fronte al calo del budget disponibile, di fare dei tagli proprio in questi settori.

Il susseguirsi sempre più rapido di cambiamenti porta a domandarsi quale sia oggi il significato di musei e collezioni, quali sfide e dilemmi si debbano affrontare e perché essi siano considerati così importanti e degni di cure e attenzioni.

Musei e collezioni hanno una triplice missione scientifica, educativa e sociale, dal momento che costituiscono la prova materiale di ciò che nei secoli l'umanità è arrivata a scoprire sulla natura e sull'universo.

Le collezioni rappresentano informazioni sulla realtà oggettiva che i ricercatori studiano, e il processo di indagine dinamico, ripetitivo e meticoloso genera conoscenza. Spesso gli oggetti sono le stesse fonti da cui la conoscenza deriva; in altri casi vengono utilizzati nel processo di indagine per arrivare alle fonti reali. Il processo scientifico di indagine procede attraverso il metodo dell'osservazione e il confronto e il metodo della sperimentazione; questi due processi combinati stanno alla base dello sviluppo epistemologico delle collezioni universitarie. In discipline come la fisica la conoscenza deriva dalla sperimentazione della realtà: gli strumenti non la rappresentano ma la misurano, eseguono calcoli e simulano la realtà. L'attrezzatura scientifica funge da intermediario tra il ricercatore e la realtà.

Molte università sono consapevoli dell'importanza delle loro collezioni ma il problema permane: le raccolte non sembrano rientrare nella vasta agenda politica imposta alle università e manca una conoscenza oggettiva di ciò che esiste e del suo reale potenziale.

A partire dagli anni '80 del secolo scorso qualcosa è iniziato a cambiare e gli sforzi di collaborazione e riflessione hanno cominciato a intensificarsi. Sono stati condotti studi a livello nazionale per esaminare sistematicamente la situazione dei musei e delle collezioni universitarie, spesso supportati da associazioni museali nazionali. A livello internazionale, nel 2000 è stata fondata la rete europea Universeum allo scopo di sostenere la conservazione, lo studio, l'accesso e la promozione di collezioni universitarie, musei, archivi, biblioteche e altre istituzioni culturali; il 16 aprile dello stesso anno è stata emessa e firmata dalle università europee più antiche la Dichiarazione di Halle, per sottolineare l'importanza delle collezioni accademiche e dei musei come "risorse attive per l'insegnamento e la ricerca" e come "documenti storici unici e insostituibili". Durante l'Assemblea Generale di Barcellona nel 2001 è stato creato un Comitato Internazionale per Musei e Collezioni Universitari (UMAC) del Consiglio Internazionale dei Musei (ICOM), che ha fatto sì che per la prima volta l'identità distinta dei musei universitari fosse riconosciuta dalla più importante organizzazione di musei a livello mondiale. Altre organizzazioni internazionali, come l'OCSE e il Consiglio d'Europa (CoE) si sono interessate alla questione dei musei e delle collezioni accademiche, sviluppando progetti sulla loro gestione e sul patrimonio universitario europeo; nel 2004 poi, la rete europea dei musei della scienza e dei centri scientifici (ECSITE) ha tenuto, nel corso di una delle annuali conferenze, una sessione speciale sui musei e sulle collezioni

universitarie. In seguito sono stati organizzati all'interno delle stesse università, diversi convegni dedicati specificatamente al tema delle collezioni universitarie.

Nonostante dunque i musei e le collezioni accademiche stiano attraversando un periodo di grande difficoltà, trovandosi nella situazione di dover convincere le proprie istituzioni del loro valore, allo stesso tempo per la prima volta sono al centro di importanti dibattiti tenuti da organizzazioni nazionali e internazionali (Lourenço, 2005).

1.2 Musei e collezioni come patrimonio culturale

Trattando di collezioni conservate e gestite da enti pubblici e privati – come musei, biblioteche e archivi – va ricordato che essi fanno tutti parte del patrimonio culturale europeo. “Il patrimonio culturale arricchisce la vita delle persone ed è una forza trainante per i settori culturali e creativi, svolgendo un ruolo nella creazione e nel rafforzamento del capitale sociale europeo. È una risorsa importante per la crescita economica, l'occupazione e la coesione sociale; aiuta a rivitalizzare le aree urbane e rurali e a promuovere il turismo sostenibile” (EC, 2018). L'UE pertanto è impegnata nella salvaguardia e valorizzazione del patrimonio culturale europeo; a tal fine, la Commissione europea ha sviluppato una serie di politiche e programmi.

I musei e le collezioni universitarie in Europa forniscono una panoramica completa dello stato attuale delle conoscenze, con dati tratti sia dalla letteratura che dal campo, e contribuiscono alla comprensione del significato dell'insegnamento e della ricerca. I musei scientifici, in particolare, mediano conoscenze storiche, scientifiche e tecnologiche tra la comunità scientifica e il resto della società; ciò è fondamentale per la diffusione dei contenuti scientifici e allo stesso tempo è un aspetto di cui si deve tenere conto nella progettazione e organizzazione dei musei. I musei scientifici sono chiamati a contrastare il diffuso analfabetismo in materia di scienza e a sensibilizzare il grande pubblico sui temi dell'attualità, dalla questione ambientale all'innovazione tecnologica (Canadelli, 2011). Per poter comprendere e valutare la realtà presente di musei e collezioni è fondamentale ricercare la combinazione di fatti e sviluppi storici che hanno portato alla situazione attuale.

Il dibattito attualmente in corso a livello internazionale sul concetto di patrimonio culturale può fornire una riflessione specifica sui musei scientifici. Il patrimonio può assumere molte forme e da qualche anno è oggetto di discussione da parte di ambiti disciplinari diversi: museologia, storia, antropologia e sociologia. Il 2018 è stato l'anno europeo del patrimonio culturale, un'iniziativa

finalizzata ad incoraggiare più persone a scoprire e interagire con il patrimonio culturale, rafforzando il senso di appartenenza a uno spazio europeo comune. Lo slogan dell'anno - “Our heritage: where the past meets the future” – ha messo ben in evidenza come il patrimonio culturale non debba essere considerato come qualcosa di statico o appartenente al passato, piuttosto come qualcosa che evolve attraverso il coinvolgimento di tutti con esso. In occasione dell'evento, la Commissione europea ha promosso diverse iniziative e attività a lungo termine, in collaborazione con il Consiglio d'Europa, l'UNESCO e altri partner; tali attività comprendevano progetti scolastici, ricerca di soluzioni innovative per riutilizzare edifici storici e attività di contrasto al traffico illecito di beni culturali. L'anno europeo del patrimonio culturale 2018 è stato un successo comune a livello europeo, ha visto il coinvolgimento di tutte le istituzioni dell'UE e ha dato un input ulteriore alla gestione, salvaguardia e valorizzazione del patrimonio (Council of the European Union, 2018).

In questo contesto internazionale ha senso domandarsi che ruolo giochino il patrimonio storico-scientifico e i musei scientifici e quali siano le dinamiche di studio e valorizzazione di oggetti e ricerche legati al mondo della scienza. Su un piano storico poi, è importante approfondire i meccanismi che hanno portato alla formazione delle raccolte museali e alle modalità con cui sono state esposte e raccontate al pubblico (Canadelli, 2018).

Il processo che ha portato a identificare musei, raccolte e collezioni scientifiche come beni culturali degni di essere tutelati, conservati, tramandati e condivisi da una comunità che vi si riconosce è storicamente complesso. Nel caso dell'Italia, si è trattato di un processo lungo e non ancora concluso, che vede gli “oggetti di scienza confrontarsi con la tradizione ben più consolidata delle arti e delle antichità”, come è riportato sul numero di dicembre del 2019 dagli Atti del XXVIII Congresso ANMS¹.

Negli anni antecedenti alla Prima Guerra Mondiale il giurista Umberto Borsi operava sul *Digesto italiano*, nell'articolo *I Musei nella legislazione amministrativa italiana*, una distinzione tra i musei veri e propri, autonomi e aperti al pubblico, e musei solo in senso lato, collegati a istituti, scuole e università. Gran parte dei musei scientifici italiani rientravano in questa seconda categoria ed era difficile riconoscere formalmente il valore e la portata come patrimonio dei beni collezionati in tali contesti, i quali venivano utilizzati principalmente come sussidi alla didattica. Le prime leggi per la tutela del patrimonio storico-artistico italiano, varate all'inizio del '900, riguardavano la conservazione dei monumenti e degli oggetti di antichità e d'arte, senza menzionare beni d'interesse

¹ L'Associazione Nazionale Musei Scientifici è nata nel 1972 “come strumento di diffusione della museologia scientifica in Italia e di collegamento fra le Istituzioni e gli operatori interessati”.

scientifico. Il patrimonio scientifico acquistato dallo Stato italiano era in realtà già all'epoca consistente ed eterogeneo, con strumenti, oggetti, collezioni naturalistiche disseminati su tutto il territorio: nei licei, nelle università, negli ospedali, negli istituti religiosi, nei gabinetti di storia naturale, negli osservatori astronomici, presso collezionisti privati. Solo negli anni successivi si assistette alla nascita di musei di storia della scienza e della tecnica volti espressamente alla conservazione e valorizzazione di tali beni. Nel 1923 si costituì a Firenze il Gruppo per la tutela del patrimonio scientifico nazionale; negli anni '50 il fondatore del Museo Leonardo da Vinci di Milano, Guido Ucelli, promosse un censimento nazionale dei "materiali interessanti la storia della scienza e della tecnica".

Nel 1985 un comitato coordinato dal professore Giorgio Dragoni svolse una ricognizione sul patrimonio strumentale conservato negli Istituti e Dipartimenti di Fisica, e venne proposto al CNR un progetto finalizzato. Dopo alcuni incontri con il presidente del CNR Luigi Rossi Bernardi, alcune sedi ottennero finanziamenti tra il 1986 e il 1987. Nel 1986 si svolse un incontro a Firenze che diede luogo ad una cooperazione con l'Istituto e Museo di Storia della Scienza, e tra il 1989 e il 1990 si svolsero convegni sul patrimonio storico scientifico italiano a Milano, Bologna, Pavia. In tutte queste vicende, va ricordato il ruolo di particolare rilievo che svolse Paolo Brenni (Bevilacqua, Esposito, 2021).

Venne poi costituito un Comitato specifico del CNR, per aprire un nuovo canale di finanziamento per le unità che si dedicavano alle attività museali. Alcune unità stimolarono il comitato a non considerare solo il contributo della scienza e della tecnologia alla salvaguardia del patrimonio artistico, ma a considerare i beni scientifici come beni culturali. La legge "Ruberti" del 1991 (poi Legge 6/2000) sulla diffusione della cultura scientifica e valorizzazione del patrimonio tecnico-scientifico di interesse storico conservato in Italia, contribuì a promuovere le attività degli storici della scienza, a riorganizzare e potenziare le istituzioni impegnate nel settore e a diffondere e divulgare i risultati degli storici della fisica (Legge 28 marzo 1991, n.113, "Iniziativa per la diffusione della cultura scientifica", (1991) (Italia)).

Nel 1992 partì il progetto strategico e finalizzato sui beni culturali, con il pieno riconoscimento dei beni scientifici come beni culturali e con la piena partecipazione di alcune unità, che ricevettero finanziamenti.

Nel 1999 venne dedicata una commissione della Conferenza dei Rettori delle Università Italiane (CRUI) al coordinamento dei musei scientifici universitari, e le collezioni scientifiche cominciarono ad essere inquadrare in sistemi museali di ateneo. Oggi i musei universitari sono considerati a tutti gli effetti beni culturali da conservare e valorizzare, non più sussidi alla didattica.

1.3 Musei e Collezioni di fisica e catalogazione

Un altro problema importante relativo alle collezioni universitarie riguarda il fatto che fino ad ora non sia mai stato effettuato un censimento completo delle stesse e dei musei a livello europeo, aspetto che preclude la reale conoscenza della portata del patrimonio scientifico, artistico e culturale delle università europee. Le collezioni sono in questo senso definibili come “la materia oscura” delle università (Lourenço, 2005).

La costituzione di musei di fisica in Italia e all'estero ha contribuito a mettere in luce parte di questo oscuro patrimonio, rendendone però ancora incompleta la fruibilità.

Un punto di partenza potrebbe essere quello di definire a livello nazionale prima ed europeo poi, dei criteri unici e semplici di catalogazione degli strumenti scientifici e, più in generale, degli oggetti conservati nelle collezioni scientifiche. Una scheda rappresenta un elemento di riconoscimento locale e internazionale, consente di presentare e sostenere l'importanza delle collezioni e può essere uno strumento di ricerca, nonché di tutela e gestione dei beni.

In Italia il lavoro di ricerca per la definizione di una scheda catalografica per strumenti scientifici inizia negli anni '80 del Novecento. Nel 1985 fu inizialmente elaborata una scheda cartacea che forniva una sorta di carta d'identità di questo materiale; la scheda fu successivamente modificata e informatizzata per rispondere alla crescita delle competenze e delle conoscenze e al progresso della tecnologia (Miniati, 2004).

Il Ministero per i beni e le attività culturali (MiBAC) ha in seguito creato un ente, l'ICCD (Istituto centrale per il catalogo e la documentazione) che in accordo con le amministrazioni regionali, ha il compito di elaborare metodologie e procedure standard per la catalogazione del patrimonio archeologico, architettonico, storico, artistico, etnoantropologico, scientifico e tecnologico. Tale istituto gestisce i dati relativi a milioni di oggetti conservati in musei e collezioni di tutta Italia. Questo sistema presenta tuttavia delle criticità: per quanto riguarda i beni scientifico-tecnologici ad esempio, i criteri catalografici selezionati per la compilazione delle schede appaiono complessi e poco intuitivi, motivo per cui non tutti i sistemi museali li hanno adottati, preferendo piuttosto utilizzare criteri propri. Si riscontrano inoltre problemi terminologici, per cui mancano criteri univoci in italiano per lo scambio di informazioni sui materiali.

Per quanto riguarda la situazione a livello internazionale, esistono dei progetti che prevedono la creazione di banche dati europee derivanti dalle schede catalografiche, atte a uniformare le informazioni e a svolgere una ricerca di linguaggi comuni e criteri uniformi. Un esempio nel settore degli strumenti è ISIN (International Scientific Instrument Number), progetto promosso dal Museum of the History of Science di Oxford che mette a disposizione degli utenti in

rete la catalogazione portata avanti dai singoli enti. Nelle schede quindi si aggiunge ai numeri previsti per l'inventario un numero di codice che ha valore internazionale e che permette di inserire strumenti e materiale tecnico in un contesto internazionale.

È auspicabile che, qualora si riesca ad adottare un criterio unico di catalogazione dei beni scientifico-tecnologici a livello europeo, vengano definiti standard catalografici semplici e riconoscibili, che possano servire come strumenti di identità, confronto e costante accumulo di informazione.

1.4 I Gabinetti di Fisica

Un tipo specifico di collezione è il Gabinetto di Fisica (o di Filosofia Naturale). Questo era comune nelle università europee del XVIII e XIX secolo e consisteva in una raccolta di strumenti assemblati a scopo didattico e di ricerca spesso in un unico luogo, definito "armadio". Nell'Europa del Settecento erano ad esempio noti il Gabinetto di Filosofia Naturale dell'Università di Padova, istituito da Giovanni Poleni nel 1739, il Gabinetto di Fisica dell'Università di Pavia voluto da Alessandro Volta (1778) e il Gabinetto di Fisica al Colégio dos Nobres di Lisbona, nato nel 1766 per volere di Giovanni Dalla Bella e successivamente trasferito presso l'Università di Coimbra. Precedentemente, rispettivamente nel 1675 e 1706, si erano già costituiti il Gabinetto Universitario di Leiden e il Gabinetto di fisica di Utrecht.

Un esempio particolarmente notevole è fornito dal Gabinetto di Fisica dell'Istituto Tecnico Toscano di Firenze, sopravvissuto quasi intatto e comprendente circa 3000 pezzi. Il Gabinetto è stato affidato alla Fondazione Scienza e Tecnica, che l'ha restaurato e trasformato in una esposizione permanente.

Queste collezioni includevano spesso sia strumenti acquistati da produttori commerciali, sia strumenti costruiti nei laboratori universitari. Giovanni Dalla Bella ad esempio aveva acquistato parte dei suoi strumenti da produttori in Inghilterra, ma la maggioranza degli strumenti che il Gabinetto comprendeva era stata costruita dal costruttore portoghese Joachim Josè dos Reis, artigiano al Colégio dos Nobres. Il ruolo che tali costruttori ricoprivano era fondamentale, sebbene molti di essi rimanessero anonimi dal momento che non firmavano gli strumenti: si occupavano della progettazione e costruzione degli strumenti, dell'adattamento o realizzazione di repliche di strumenti acquistati da produttori commerciali e spesso anche dell'ideazione degli esperimenti e in seguito l'assistenza ai professori durante le loro dimostrazioni (Lourenço, 2005). Talvolta gli strumenti erano progettati, realizzati e migliorati dagli stessi professori. Un esempio è fornito dal

Gabinetto di Leiden, i cui strumenti sono stati interamente costruiti dai professori dell'Università di Leiden, i più conosciuti dei quali furono Willem Jacob's Gravesande e Peter van Musschenbroek.

I grandi cambiamenti nelle scienze o nelle procedure di insegnamento ebbero un forte impatto sui Gabinetti di Fisica. Nelle prime decadi del XIX secolo la fisica inizia ad essere suddivisa in Meccanica e Gravitazione, Idrostatica, Idrodinamica e Pneumatica, Acustica, Termologia e Meteorologia, Ottica, Magnetismo, Elettricità – spesso ulteriormente divisa in Elettrostatica, Elettrodinamica ed Elettromagnetismo. All'interno dei Gabinetti gli strumenti scientifici vengono quindi organizzati in questi stessi settori (Brenni, 2010). Nel corso del XIX secolo, essendosi l'insegnamento della fisica evoluto da un approccio prevalentemente teorico a uno più pratico, il ruolo del laboratorio e del costruttore acquisiscono maggiore importanza. In concomitanza con lo sviluppo dei sistemi di istruzione, la fondazione di scuole e collegi e istituzione di nuove università, si assiste ad un aumento notevole di strumenti didattici. Le università più antiche vengono rinnovate e le collezioni scientifiche si arricchiscono di molti strumenti.

Gran parte dei Gabinetti di Fisica sopravvissuti, sono stati organizzati nel '900 in musei universitari. I Gabinetti di Coimbra, Padova, Pavia e Utrecht sono rimasti – come Musei di Fisica o di Storia della Fisica - nelle loro università; il Gabinetto dell'Università di Leiden fa parte attualmente del Museo di Storia della Scienza e della Medicina, conosciuto come Museo Boerhaave.

1.5 I cambiamenti del Novecento e lo stato dell'arte attuale dei Musei e delle Collezioni universitarie in Europa

Nel corso del XX secolo, epoca di rivoluzione sociale, scientifica, tecnologica e culturale, le collezioni universitarie e i musei hanno acquisito elementi di maggiore complessità, sia fisicamente nell'aumento delle dimensioni e del numero degli oggetti, sia nel cambiamento della loro portata e del target a cui erano rivolti. Nella prima metà del '900 le università hanno investito sulle collezioni universitarie di prima generazione, che venivano utilizzate per l'insegnamento e per la ricerca. Nella seconda metà del XX secolo i cambiamenti nel sistema di istruzione superiore e gli sviluppi tecnologici, con conseguenti cambiamenti in ambito di ricerca scientifica e didattica, hanno inciso profondamente sul settore del museo e delle collezioni universitarie. La legislazione museale è stata riformata, sono aumentate le riviste, la formazione del personale è migliorata e si è evoluta gradualmente nelle molte specialità che ci sono oggi. Allo stesso tempo tuttavia, la diminuzione del

coinvolgimento dello Stato nelle università in favore di una loro maggiore autonomia ha portato ad una riduzione dei finanziamenti statali; di conseguenza il problema della gestione dello spazio e del personale ha messo in dubbio l'importanza delle collezioni. Per trovare una soluzione sono nate diverse associazioni nazionali per la tutela di musei e collezioni universitarie. A livello internazionale la creazione di Universeum, UMAC e l'intervento del Consiglio d'Europa sono state le tre più importanti iniziative.

A partire dagli anni 2000 quindi, molti Paesi europei hanno adottato diversi approcci per affrontare le problematiche e le sfide poste dai musei e dalle collezioni universitarie.

Nel Regno Unito è stata fondamentale la collaborazione strategica delle università, i gruppi dei musei universitari UMG e UMiS, le autorità museali nazionali e locali e la Museum Association, l'associazione inglese dei musei e dei professionisti dei musei. Inoltre, dagli anni '80 fino ai primi del XXI secolo è stata intrapresa una ricognizione dei musei e delle collezioni universitarie, a cui è seguito un investimento strategico, a partire dalla catalogazione delle collezioni e dalla valutazione della loro accessibilità. Dal 2004 i musei universitari hanno ottenuto l'esenzione dall'IVA. Le più importanti collezioni di fisica nel Regno Unito sono conservate presso il Whipple Museum di Cambridge e il Museum of the History of Science di Oxford.

I Paesi Bassi possiedono un patrimonio accademico ricco e secolare e, per la loro legislazione musei e università sono regolamentati e finanziati dallo stesso ministero. Il divario tra cultura e scienza tuttavia persiste. La fondazione Stichting Academisch Erfgoed (SAE) ha coordinato dei progetti nazionali finalizzati ad aumentare l'accessibilità delle collezioni universitarie sia per i ricercatori che per il pubblico, e a promuovere nuove modalità di cooperazione nel campo del patrimonio universale. Tra le collezioni più importanti si ricordano: il Techniek Museum di Delft presso la TU Delft (Università tecnica), l'Universiteitsmuseum "De Agnietenkapel" presso l'Università di Amsterdam e l'Università di Groningen, la cui collezione annovera anche strumenti di fisica come microscopi e strumenti astronomici.

In Francia lo studio e la cura delle collezioni sono esplicitamente menzionati nella legge sull'istruzione superiore (Legge del 26 gennaio 1984 sull'Istruzione Superiore, n. 84-52, 1984) ed esiste una struttura permanente all'interno del Ministero dell'istruzione – il Bureau Musées - dedicata al coordinamento, al rilevamento, alla supervisione e al finanziamento di musei universitari e collezioni. Tra le collezioni universitarie scientifiche francesi si ricordano quelle di strumenti scientifici dell'École Polytechnique, della vecchia università *Louis Pasteur* a Strasburgo (dal 2009

unita all'Università di Strasburgo insieme all'Université Marc Bloch e all'Université Robert Schuman) e l'École Normale Supérieure de Lyon. I problemi rilevati riguardano sempre la mancanza di fondi e personale, di un'identità chiara e di un ruolo specifico all'interno dell'università. Al fine di promuovere, studiare e tutelare questo patrimonio sono nati alcuni progetti di collaborazione interuniversitaria, come il MuseUM e il Patrimoine Scientifique et Technique Contemporain. Presso la *Louis Pasteur* di Strasburgo si è costituito il progetto Jardin des Sciences, che comprende diverse collezioni tra cui quelle di storia della fisica e astronomia dell'Università. Con un programma di dibattiti, conferenze, mostre e pubblicazioni, il progetto propone di stabilire un ponte tra le ricerche passate e contemporanee.

L'università italiana custodisce un patrimonio di grande importanza internazionale, unico da un punto di vista scientifico, ma anche architettonico e artistico. Nel 1972 si è costituita l'Associazione nazionale dei musei scientifici (ANMS), che tutt'ora offre un terreno comune di confronto tra i diversi centri museali italiani grazie alla promozione di convegni e a una propria rivista. Dalla creazione della Commissione Musei nel 1999 la promozione del patrimonio universitario è compito della CRUI, che sviluppa programmi strategici strutturali; in un documento del 2000 è stata riconosciuta alle collezioni la rappresentanza di gran parte del patrimonio universitario italiano e si è proposto un migliore coordinamento e una collaborazione tra le università. Da qui la creazione della Rete Nazionale di Sistemi Museali di Ateneo, che punta a politiche e pratiche più coerenti ed omogenee e incoraggia le università italiane a creare propri sistemi di musei. Attualmente la sfida principale per il patrimonio universitario italiano rimane quella di tradurre in misure concrete le riflessioni e le indagini degli anni passati.

In Germania, come per gli altri Paesi il patrimonio accademico, pur immenso, è poco conosciuto al di fuori delle università. Nel 2004 le università hanno subito forti tagli e di questo hanno naturalmente risentito anche le collezioni e i musei, specialmente in ambito umanistico. In altre aree disciplinari le collezioni tedesche sono invece utilizzate attivamente per l'insegnamento e la ricerca, e allo stesso tempo mantengono un legame con il pubblico; un esempio è la collezione di 300 modelli matematici presso il Dipartimento di Matematica e Scienze Informatiche dell'Università Martin-Luther di Halle-Wittenberg. Trattandosi di uno stato federale, in Germania non esiste una giurisdizione centralizzata sul sistema di istruzione superiore e le università sono amministrate e finanziate dai diversi Länder; non esiste inoltre una associazione di musei e collezioni universitarie. A partire dal 2001 tuttavia, su iniziativa dell'Helmholtz Zentrum für

Kulturtechnik si sono raccolti dati in questo settore e sono nati progetti di ricerca sulla storia delle collezioni universitarie tedesche.

Per quanto concerne gli altri Paesi europei, i problemi rilevati sono gli stessi ma le iniziative a livello nazionale sono state minori. In alcuni casi sono state create associazioni nazionali di collezioni universitarie (Spagna e Grecia), o sviluppati progetti collaborativi per aumentare l'accesso alle collezioni. Dall'Europa orientale è pervenuto poco materiale in inglese sulle collezioni universitarie; l'Estonia fa eccezione con collezioni e musei di grande interesse conservati presso l'Università di Tartu. Tra questi si ricorda l'Osservatorio Astronomico con relativa collezione di strumenti.

Si riporta in Appendice A, una lista dei principali musei e collezioni di fisica esteri, universitari e non.

1.6 I principali Musei e le Collezioni di Fisica in Italia

“La storia dei musei scientifici in Italia restituisce l'immagine di uno Stato caratterizzato da un radicato policentrismo collezionistico, con alle spalle un'eredità gloriosa e ingombrante allo stesso tempo, e da un ritardo, anche legislativo, del riconoscimento del valore culturale del patrimonio scientifico” (Canadelli, 2011).

Un aspetto da considerare nella tradizione museale italiana, come per gli altri Paesi, è l'egemonia culturale delle università: gran parte delle raccolte e collezioni appartengono ad atenei universitari e i musei nati ex novo in epoca post-unitaria cercarono uno spazio alternativo, proponendosi come istituti di ricerca, istruzione e formazione diversi dalle università, incentrati sulle collezioni e destinati agli studiosi del settore a cui è dedicato il museo. I musei erano concepiti come luoghi di conservazione e studio ma anche di celebrazione di un patrimonio storico-scientifico che contribuiva a dare lustro e valore al neonato Stato italiano.

Oltre al Regio Museo di fisica dell'Università di Bologna, la cui storia e le cui vicende verranno approfondite nel prossimo capitolo, e la cui collezione di strumenti è oggetto di studio della presente tesi, sono diverse le istituzioni tra scuole e università che posseggono delle collezioni di strumenti di fisica. I musei scientifici degli Atenei italiani hanno storie diverse ma sono accomunate dallo stretto legame tra attività di ricerca e didattica; nascono infatti come Gabinetti scientifici in cui era svolta un'efficace didattica universitaria. Di seguito è riportato un elenco dei principali musei e delle più importanti collezioni di fisica allo scopo di evidenziare la situazione attuale. Molte di queste istituzioni posseggono dei cataloghi virtuali – integrali o parziali – degli strumenti di fisica

conservati, che sono stati consultati durante il lavoro di ricerca di questa tesi, per l'identificazione e la comprensione degli strumenti della Collezione di Fisica del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna, conservata presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "A. Righi", che ha sede in via Irnerio 46.

Collezione di strumenti di Fisica dell'Università di Torino

Nei Dipartimenti di Fisica dell'Università di Torino sono conservati circa 500 strumenti, molti dei quali in buono stato e funzionanti. Gli strumenti più antichi provengono dal Gabinetto di Fisica torinese che, grazie all'intervento del professore Domenico Botto nel 1829 acquisì nuovi strumenti, raggiungendo il livello dei migliori laboratori europei. In collaborazione con Amedeo Avogadro, Botto diede un notevole impulso allo studio sperimentale della fisica.

Nel 1998 alcuni docenti e il bibliotecario dott. Michele Ceriana Mayneri diedero vita ad un progetto di recupero e catalogazione in collaborazione con il Settore Beni Culturali della Regione Piemonte. Gli strumenti catalogati secondo le norme ICCD sono circa 200; è stato scritto un programma interattivo per compilare e memorizzare in un database le schede con le relative informazioni e fotografie e si è cercato di riordinare gli strumenti in modo tale da renderli anche didatticamente fruibili (Galante, Marino, Marzari Chiesa, 2004).

Museo di fisica del Liceo Volta a Como

Gli strumenti conservati presso il museo provengono dal Gabinetto di Fisica voluto da Alessandro Volta, che fu docente e reggente del Liceo dal 1775 al 1778.

La collezione comprende sezioni di acustica, astronomia, calorimetria, elettricità, fluidodinamica, magnetismo, meccanica e ottica. Il museo è stato pensato come museo della didattica e presenta l'evoluzione della fisica sperimentale sotto forma di un percorso storico.

Gabinetto di Fisica del Liceo Classico Paolo Sarpi di Bergamo

Negli anni '70 il Museo di Scienze Naturali Enrico Caffi di Bergamo acquisì una serie di strumenti didattici databili per la maggior parte intorno alla metà dell'Ottocento dal Liceo Classico Paolo Sarpi, proveniente dal Collegio Mariano seicentesco. Il Gabinetto di Fisica fu istituito alla fine del XVIII secolo per volere del docente di Filosofia Naturale Lorenzo Mascheroni, in carica presso il Collegio dal 1773 al 1786. A partire dal 1783 e nel corso dell'Ottocento il Gabinetto fu

costantemente arricchito con nuovi strumenti, come testimoniano gli inventari; si contano attualmente circa 450 strumenti, la maggior parte di elettromagnetismo, ma anche di meccanica, termologia, ottica e astronomia. Alcuni di questi strumenti hanno elevato valore scientifico, dal momento che rappresentano esempi unici di apparati usati per la didattica della Fisica nel XIX secolo. Il Museo di Scienze Naturali ha dato vita ad un progetto in collaborazione con l'Ateneo di Scienze Lettere ed Arti di Bergamo e con la Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze per valorizzare la collezione e in particolare il contributo dell'insegnamento delle scienze sperimentali per lo sviluppo della cultura scientifica bergamasca (Brenni, Giatti, Serra, Valle, 2017). Il progetto prevedeva la catalogazione scientifica di tutti gli strumenti, il restauro di quelli più significativi e la pulitura degli apparecchi integri, la fotografia degli oggetti e l'esposizione permanente di una selezione degli strumenti. Il restauro è stato effettuato presso la Fondazione Scienza e Tecnica, a cura di Paolo Brenni e Anna Giatti; per ogni strumento è stata condotta un'indagine riguardo al contesto scientifico in cui è stato ideato, il meccanismo di funzionamento e la manifattura di provenienza.

Museo per la storia dell'università di Pavia

Il Museo per la Storia dell'Università, fondato nel 1936, ospita diverse collezioni - tra cui quella di strumenti di fisica - molte delle quali risalenti al XVIII secolo e legate all'operato di Alessandro Volta, Antonio Scarpa e Lazzaro Spallanzani. Negli ultimi decenni del Settecento Pavia vide infatti la fondazione di musei, biblioteche, gabinetti e laboratori pensati come supporto per l'insegnamento e per la ricerca.

Il Gabinetto di Fisica sperimentale fu costituito nel 1778 sotto la direzione di Volta; comprende strumenti di elettricità, termologia, ottica, acustica, magnetismo e pneumatica. Nel 2005 si è costituito il Sistema Museale per il coordinamento di tutti i musei e le collezioni di Ateneo e per promuovere e valorizzarne il patrimonio: tra le attività organizzate si è avviata la catalogazione del materiale museale utilizzando il programma lombardo SIRBeC e sono state realizzate diverse mostre temporanee.

Di recente sono state condotte delle ricerche su nuovi possibili approcci per rendere maggiormente coinvolgente la visita al Museo, considerando l'ampliamento e il cambiamento del pubblico (Bernarduzzi, Bernardi, Garbarino, Cusella, 2019). È stata quindi implementata un'App di realtà aumentata che permette di sovrapporre elementi digitali a elementi reali, consentendo al visitatore di vedere contemporaneamente la realtà fisica e le informazioni aggiuntive digitali attraverso l'attivazione dell'App e l'inquadramento dei marker AR posti sulle teche del museo. La prima

sezione su cui si è lavorato è stata quella di Fisica, in particolare il Gabinetto di Alessandro Volta, che comprende circa 150 strumenti. Tramite l'App museale è possibile accedere a contenuti multimediali di approfondimento per ciascuno strumento: descrizione delle particolarità dello strumento, galleria iconografica con dettagli, schemi e immagini tratti da cataloghi antichi, filmati che mostrano lo strumento in azione. Si è cercato inoltre di coinvolgere direttamente il pubblico inserendo la visita all'interno dei corsi di Comunicazione digitale e multimediale e di Tecnologie della comunicazione scientifica; gli studenti sono stati stimolati alla produzione di video di storytelling che forniscano nuove letture delle collezioni.

Museo di fisica Anton Maria Traversi a Venezia

La collezione di fisica del museo di Venezia comprende circa 370 strumenti didattici e di ricerca appartenenti principalmente ai settori di meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo. Il museo è stato inaugurato nel 2003 a seguito di un progetto di recupero e valorizzazione del patrimonio strumentale del Vecchio Gabinetto di Fisica del Liceo Marco Foscarini. Sul sito del museo è disponibile una sezione virtuale con note di fisica e descrizioni degli apparati conservati.

Museo della fisica "Giovanni Poleni" a Padova

Il museo è situato presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei" dell'Università degli Studi di Padova.

Gli strumenti più antichi della collezione del museo "G. Poleni" provengono originariamente dal Gabinetto di Fisica avviato nel 1739 da Giovanni Poleni, allora titolare della cattedra di filosofia sperimentale, per proporre lezioni basate su esperimenti e dimostrazioni. La raccolta venne poi costantemente arricchita in base agli sviluppi della scienza, in modo da risultare sempre adeguata sia per le attività didattiche sia per quelle di ricerca.

Dopo il periodo buio degli anni della guerra, a partire dagli anni '70 del XX secolo la collezione venne riscoperta e studiata: emerse così il valore storico della raccolta, che ad oggi conta circa 700 elementi. Il Museo "G. Poleni" è stato inaugurato nell'estate del 2021 con una esposizione raffinata e coinvolgente, pensata per mettere in luce, anche tramite esperimenti interattivi e simulazioni multimediali le vicende legate agli strumenti ma anche l'estetica e la bellezza degli oggetti in sé.

Museo Storico Belzoni a Padova

Il museo Belzoni è un museo-laboratorio che raccoglie oltre 400 strumenti databili a partire dalla seconda metà del '700. Al suo interno sono visibili le strumentazioni dell'antico Gabinetto di Fisica; il museo non è pensato solo per la conservazione e l'esposizione degli strumenti, ma anche come luogo di sperimentazione: i visitatori, studenti e non, possono approfondire la ricerca e la comprensione della raccolta scientifica anche tramite l'utilizzo della strumentazione presente presso i laboratori didattici dell'istituto e la consultazione di testi antichi e moderni conservati presso la biblioteca.

Museo di fisica "G. Boato" a Genova

Il museo "Giovanni Boato" è stato fondato nel 1991. La collezione è divisa in due sezioni, una di fisica classica comprendente 276 strumenti sette/ottocenteschi provenienti dall'Antico Gabinetto di Fisica, e una di fisica moderna, con 266 strumenti dell'Istituto di Fisica. Gli strumenti appartengono ai settori di meccanica, ottica, acustica, elettromagnetismo e termodinamica. Dal 1997 il museo partecipa al progetto di salvaguardia, recupero e valorizzazione della strumentazione storico-scientifica esistente presso scuole, osservatori e altre istituzioni culturali del territorio ligure.

Museo Scientifico dell'Antico Gabinetto di Fisica del Liceo Classico "G. D. Cassini" di Sanremo e Museo Scientifico "Leonardini-Sanguineti" presso il Seminario Vescovile di Chiavari

Un censimento nazionale del patrimonio storico-scientifico di Università, Scuole e Osservatori della Liguria, promosso dal CNR a partire dal 1986, ha portato all'individuazione di un patrimonio ingente distribuito su tutto il territorio ligure. In particolare, sono notevoli le collezioni scoperte presso il Liceo Classico Cassini di Sanremo e presso il Seminario Vescovile di Chiavari (Leone, Paoletti, Robotti, 2004).

Le ricerche storiche e le operazioni di recupero e restauro hanno portato all'istituzione di due musei scientifici. Gli strumenti del Gabinetto di Fisica del Liceo di Sanremo - circa 280 esposti - risalgono al XIX secolo e testimoniano l'importante ruolo attribuito alle attività didattico-sperimentali nell'istituto. Il museo è stato inaugurato nel 2004 all'interno della scuola.

Il Museo "Leonardini-Sanguineti" è stato inaugurato nel 2001 e comprende circa 300 strumenti sette/ottocenteschi provenienti dall'antico Gabinetto di Fisica del Seminario e dall'Osservatorio

Meteo-Sismico. L'esistenza del Gabinetto è documentata dal 1828 e gli strumenti portano il nome sia di costruttori noti ottocenteschi, sia di costruttori locali come Caranza, Ugobono e Isler; l'Osservatorio iniziò ad operare nel 1883 per volere di Padre Andrea Bianchi. Il restauro è stato curato dai tecnici dell'ARASS – Brera (Associazione per il Restauro degli Antichi Strumenti Scientifici) con la consulenza scientifica del Museo di Fisica del Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova.

Museo di fisica e scienze della Terra a Parma

Istituito nel 2013, il museo raccoglie quattro collezioni, di cui quella di strumenti scientifici "M. Melloni". Gli apparati, provenienti dal Gabinetto di Fisica di cui Macedonio Melloni fu direttore dal 1827, sono oltre 120. La maggior parte degli strumenti fu ideata e utilizzata da Macedonio Melloni per progettare ed eseguire gli esperimenti sul calore e sulla luce.

Museo della strumentazione storica del Liceo Galvani a Bologna

Il museo raccoglie strumenti e materiali dello storico Gabinetto di fisica e di scienze naturali del Regio Liceo Galvani, fondato nel 1860. Gli strumenti conservati, per la maggior parte di elettricità e magnetismo e tra i quali si distinguono diversi apparecchi che erano utilizzati come sussidi didattici, risalgono ai secoli XVIII e XIX. Il museo è stato aperto al pubblico nel 1999 in un ampio spazio nell'ala più antica del palazzo costruito dai Gesuiti a fianco della ex Chiesa di Santa Lucia, oggi sede del Liceo.

Gabinetto di storia naturale del Liceo Machiavelli a Lucca

Il Liceo Machiavelli ospita un'importante collezione di strumenti scientifici dei secoli XVIII e XIX firmati dai più celebri costruttori europei. Il Gabinetto di Fisica fu affiancato all'università nel Palazzo Lucchesini – attuale sede del Liceo - nel 1819. Con l'annessione di Lucca al Granducato di Toscana, la città perse il diritto ad avere un'università autonoma ma la collezione si arricchì ugualmente per volere di Leopoldo II. L'istituto divenne poi definitivamente un Liceo dopo che il Granducato fu unito al Regno d'Italia.

Gli strumenti del Gabinetto, circa 600 contando anche le ultime acquisizioni del 1930, sono stati restaurati nel 2003 e gli apparati più significativi sono stati esposti in una mostra presso l'Aula

Magna dell'Istituto. È stato poi pubblicato dall'associazione culturale "Amici del Machiavelli" un catalogo del nucleo più antico degli strumenti.

Museo della Fondazione Scienza e Tecnica a Firenze

Istituita nel 1987, la Fondazione Scienza e Tecnica si è occupata di riordinare e valorizzare il patrimonio scientifico di interesse storico dell'Istituto Tecnico di Firenze, allo scopo di contribuire alla diffusione della cultura scientifica. Tale patrimonio è pervenuto quasi del tutto integro, conservato nei locali e negli arredi originali ed è una testimonianza di ciò che era la dotazione didattica di un grande istituto educativo nell'Ottocento (Brenni, Giatti, Serra, Valle, 2017). La collezione di Fisica comprende circa 3000 strumenti databili nel periodo tra il 1880 e il 1920 e provenienti dalle migliori manifatture ottocentesche nell'ambito dell'industria di precisione europea; rappresenta una delle raccolte italiane più ricche e più complete nel suo genere; comprende sezioni di meccanica applicata, idraulica, ottica, acustica, meccanica fisica, idrostatica, pneumatica, termologia, meteorologia, elettrostatica, elettrodinamica ed elettromagnetismo. La Fondazione si è dedicata allo studio, alla catalogazione, al restauro e alla conservazione della collezione. Fra gli anni '80 e '90 del '900 è stato istituito un apposito laboratorio di restauro in uno dei locali annessi al Gabinetto che ha consentito di rimettere in funzione la maggior parte degli strumenti: questi sono stati sistematicamente smontati, ripuliti, restaurati e rimontati. Nel 2007 il Gabinetto di Fisica è stato aperto al pubblico, assumendo un ruolo espositivo che prima non aveva, essendo stato pensato per uso esclusivamente didattico. Nel 2013 è nato il Museo FirST Firenze Scienza e Tecnica per "meglio raccogliere e coordinare le attività di conservazione e valorizzazione delle raccolte storiche con le altre attività di divulgazione scientifica portate avanti presso la sede della Fondazione Scienza e Tecnica" (Giatti, 2013). Dal 2009 sono stati realizzati dei video, poi caricati su You Tube e consultabili liberamente, per mostrare il funzionamento di una selezione di strumenti e la riproduzione di tecniche di manipolazione ed esperienze dell'epoca, a cura di Paolo Brenni e Anna Giatti, curatori anche del restauro degli strumenti medesimi. Tali video costituiscono un'importante risorsa per l'esposizione della collezione ma anche in generale per la didattica, potendo sostituirsi a dimostrazioni sperimentali che difficilmente potrebbero essere eseguite in classe. Inoltre, permettono di condividere il lavoro di studio e l'esperienza che sono stati portati avanti negli anni precedenti.

Museo degli strumenti per il calcolo a Pisa

Il museo conserva le collezioni del Dipartimento di Fisica e una collezione di calcolatori; nacque nel 1989 quando fu creato un centro per la Conservazione e lo Studio degli Strumenti Scientifici, allo scopo di valorizzare le collezioni di strumenti del Gabinetto di Fisica Sperimentale dell'Università di Pisa. Gli strumenti del Gabinetto sono circa 600 tra quelli di elettromagnetismo, astronomia, ottica e meccanica e sono databili tra il XVIII secolo e la fine del XX.

Il museo fa parte del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Pisa ed è co-gestito dalla Fondazione Galileo Galilei.

Collezione di fisica e Osservatorio astronomico a Siena

Il Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'ambiente di Siena ospita una ricca collezione di strumenti di fisica, circa 400 apparati prevalentemente risalenti al XIX secolo.

La Collezione di Strumenti di Fisica fa parte, insieme all'Osservatorio astronomico, del Sistema Museale Universitario Senese (SIMUS), che è stato istituito nel 2007. Grazie al progetto ESCAC (Educazione Scientifica per una Cittadinanza Attiva e Consapevole) del SIMUS la collezione di fisica è oggetto di percorsi educativi pensati per diverse tipologie di pubblico, allo scopo di coinvolgere ed educare un target sempre più ampio, al mondo delle scienze, favorendo allo stesso tempo la valorizzazione dei beni conservati.

Museo del Gabinetto di fisica dell'università di Urbino

Il museo fa parte del Gabinetto di Fisica, che venne inaugurato nel 1832.

La collezione di fisica comprende oltre 600 strumenti databili tra la seconda metà del XVIII secolo e i primi del XX. Negli ultimi anni sono state fatte ricerche d'archivio e studi storico-scientifici finalizzati a identificare il ruolo sperimentale locale degli strumenti più significativi della collezione e a contestualizzarli storicamente in ambito nazionale e internazionale.

Museo di fisica di Roma

Istituito nel 1857, il museo ha sede nell'edificio Fermi del dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza. Comprende circa 600 strumenti e apparecchi di interesse storico-scientifico risalenti all'Ottocento, suddivisi nelle sezioni di meccanica, acustica, ottica,

spettroscopia, pneumatica, elettricità e magnetismo. Gli strumenti più antichi provengono dal Gabinetto di Fisica istituito al Campidoglio intorno agli anni '20 del XIX secolo dall'abate Feliciano Scarpellini, astronomo e fisico allora titolare della cattedra di Fisica Sacra.

Museo di fisica di Napoli

La Collezione di Fisica del museo nasce come raccolta privata della Casa Borbone: il nucleo più antico – costituito tra gli altri oggetti da “quattro casse di diverse macchine matematiche” - risale al 1734, ma è intorno al 1840 che si organizzò un museo scientifico privato reale presso il Palazzo Reale di Napoli (Schettino, 2004). Con la costituzione dello Stato unitario la collezione pervenne poi all'Università.

Ferdinando II fu responsabile dell'ampliamento della collezione reale e della sua organizzazione secondo i criteri museali proposti nei nascenti musei scientifici europei. Al 1843 erano presenti circa 300 strumenti, divisi per sezione e firmati da noti costruttori quali Dollond e Fraunhofer. Dopo l'Unità le collezioni furono smembrate nei gabinetti scientifici universitari e negli istituti di istruzione della città, dove erano conservati anche strumenti di proprietà di Melloni. Nel 1878 le collezioni vennero nuovamente unificate in un unico Gabinetto di fisica universitario, con una maggiore vocazione verso la ricerca, per volere di Gilberto Govi, professore di fisica sperimentale. Tra il 1983 e il 1987, ad opera di alcuni ricercatori dell'Istituto di Fisica inizia il recupero e lo studio degli strumenti di fisica, con compilazione di cataloghi; si contano circa 700 strumenti di interesse storico. Il Museo di Fisica viene istituito ufficialmente nel 2000 ed entra a far parte del Sistema Museale di Ateneo. Di recente sono nate diverse iniziative allo scopo di aggiornare i criteri espositivi e incoraggiare le visite presso il museo da parte di un pubblico sempre maggiore.

Collezione degli strumenti d'epoca di fisica a Bari

La collezione di fisica appartiene al Dipartimento Interateneo di Fisica dell'Università di Bari. Formatasi dalla fusione di tre collezioni – quella più antica dell'Istituto di Fisica Sperimentale, quella dell'Istituto di Meccanica Razionale e quella dell'Istituto di Fisica -, comprende una raccolta di strumenti di acustica, elettromagnetismo, elettrostatica, elettrochimica, idrostatica, meccanica, ottica e termologia che venivano spesso utilizzati per esperienze dimostrative. La collezione è stata sottoposta ad un'opera di recupero: gli strumenti sono stati ripuliti, schedati, catalogati, fotografati e riordinati nelle teche del dipartimento. Al fine di valorizzare la collezione, alla fine del secolo

scorso è stata inoltre realizzata una banca dati multimediale i cui archivi contengono tutte le informazioni sugli strumenti del Dipartimento di Fisica (Garuccio, Palatella, 1996).

Collezione Storica degli Strumenti di Fisica a Palermo

La Collezione di fisica dell'Università di Palermo è esposta presso il Dipartimento di Fisica e Chimica e comprende più di 500 strumenti scientifici di interesse storico, databili tra l'inizio del XIX secolo e la prima metà del XX. La Collezione nacque per volere dell'abate Domenico Scinà, titolare della cattedra di Fisica Sperimentale dal 1811, che si attivò per fare acquistare all'università diversi strumenti di fisica da utilizzare come sussidi didattico-dimostrativi per le lezioni. In seguito furono aggiunti altri strumenti per le ricerche, in particolare dopo l'assegnazione della cattedra a Pietro Blaserna nel 1863. Sono compresi nella Collezione strumenti di meccanica, acustica, calorimetria, ottica, elettromagnetismo e spettroscopia, molti dei quali provenienti dalle più importanti case costruttrici europee.

La ricerca e l'identificazione degli strumenti della collezione di fisica è iniziata nel 1997 a cura di Giorgia Foderà con la preparazione della tesi di laurea in fisica di Vincenzo Sagone; le attività di catalogazione e valorizzazione sono state poi portate avanti da Aurelio Agliolo Gallitto. Al fine di coordinare le attività di promozione, conservazione, arricchimento e fruizione del patrimonio culturale e scientifico, l'Università di Palermo ha istituito il Sistema Museale di Ateneo, di cui la Collezione Storica degli Strumenti di Fisica fa parte.

Collezione di fisica a Sassari e Museo di Fisica di Monserrato

La collezione comprende circa 150 strumenti di fisica sperimentale e apparecchi didattici, relativi alle sezioni di ottica, elettromagnetismo, meccanica e termologia. Gli strumenti provengono dall'antico Gabinetto di Fisica, ampliato nel 1831 con una donazione del re Carlo Felice.

Giuliano Bellodi, professore presso l'Università di Pavia e studioso di antiche apparecchiature di fisica, si è occupato nel 1989 dello studio e della classificazione della collezione.

Nel 1998 l'allora rettore dell'Università di Sassari Alessandro Maida istituì una commissione con l'incarico di gettare le basi per la costituzione di un museo della scienza e della tecnica e di catalogare il patrimonio storico scientifico di ateneo. Stefania Bagella ha curato l'allestimento di questa struttura, che è stata inaugurata nel 2016 come mUNISS (Museo Scientifico dell'Università) proponendo una selezione ragionata delle raccolte individuando i momenti emblematici della storia della ricerca scientifica svolta presso l'Ateneo.

Il Museo di fisica di Monserrato raccoglie circa 400 strumenti didattici e di ricerca provenienti dal Gabinetto di Fisica della Regia Università e dell'Istituto di Fisica di Monserrato. Gli strumenti sono divisi nelle sezioni di acustica, elettromagnetismo, meccanica, ottica e termologia. Per coinvolgere maggiormente i visitatori, è stato pensato un apposito sistema di esposizione interattivo nella sezione di esperimenti.

Capitolo 2: La strutturazione della fisica nell'Ottocento

1. Tra conservazione dell'energia e Sacro Graal: la fisica come scienza dominante nell'Europa dell'Ottocento

La storia della fisica è cruciale per capire gli sviluppi storici della cultura moderna industriale e consumistica; la fisica non è ai margini della società, ma anzi ha un ruolo centrale nel sostenere il modo in cui si vive oggi. Pertanto, è fondamentale capire come la fisica e le sue istituzioni operino. “La storia fornisce un promemoria della contingenza della moderna comprensione del mondo fisico e delle istituzioni in cui questa comprensione si è forgiata” (Morus, 2005).

Il XIX secolo è un'epoca di grandi cambiamenti sotto diversi punti di vista: l'Europa è reduce dall'effetto dirompente della Rivoluzione Francese, i confini nazionali sono stati ridefiniti, sono stati forgiati nuovi sistemi politici e nuove ideologie e l'industrializzazione e l'urbanizzazione hanno creato nuovi modi di vivere. Il panorama dei saperi si amplia e vengono alla luce nuove teorie che indeboliscono le concezioni meccanicistiche della natura sviluppatesi nei secoli precedenti a partire da Newton. Il passaggio da Illuminismo a Romanticismo nei primi decenni dell'Ottocento porta la visione del mondo intesa come un meccanismo a orologeria (*clockwork*), a decadere in favore di una visione più unitaria, di ambiti del sapere separati ma connessi tra loro come parti che compongono un tutto, che è l'Universo. Ciò è particolarmente evidente in Germania, in cui si sviluppa la corrente *Naturphilosophie*, che cerca di identificare la filosofia naturale con la ricerca di un'unità trascendentale in natura. Si diffonde in questo periodo la volontà di indagare la natura per avere una maggiore consapevolezza di sé attraverso la conoscenza di ciò di cui si è circondati.

Mentre in precedenza era il filosofo naturale a occuparsi delle questioni riguardanti la natura e quindi implicitamente i problemi di fisica, nell'800 si delinea la figura del fisico vero e proprio; nascono la ricerca in ambito fisico e luoghi adibiti appositamente alla ricerca, i laboratori.

Nei secoli XVII e XVIII i filosofi naturali dovettero adattarsi ai continui cambiamenti sociali e politici, lavorando contemporaneamente da un lato alla ricerca di nuovi modi per spiegare il mondo naturale, dall'altro per trovare un posto nella società, impresa assai complessa per il fatto che le scoperte della filosofia naturale finivano per sostenere o per sovvertire l'ordine politico e religioso esistente. Sotto questo costante controllo dunque, tracciare un percorso sicuro richiedeva una certa giustificata circospezione. Per molti la Rivoluzione Francese e le sue conseguenze furono il

risultato, almeno in parte, delle filosofie illuministiche che sfidavano le idee tradizionali sulla natura e sulla società. Allo stesso tempo, i grandi mutamenti politici di fine Settecento furono responsabili dei maggiori cambiamenti nelle strutture istituzionali della filosofia naturale.

La nascita di Accademie in Europa e della Royal Society avrebbe dovuto in teoria estendere la conoscenza e l'investigazione scientifica a tutti coloro che desideravano apprendere e investigare la natura, ma in pratica questi luoghi erano rimasti ambienti di nicchia, e conseguentemente anche le nuove scoperte e i risultati degli esperimenti erano condivisi principalmente da un'élite. Guadagnare una certa credibilità e ricoprire cariche importanti all'interno di Accademie e luoghi di cultura richiedeva lo status del gentiluomo, e tali erano coloro che esponevano le nuove scoperte e invenzioni, ma dietro ad ogni scoperta e studio c'erano naturalmente anche moltissimi artigiani e costruttori che rimanevano nell'ombra. Nel corso del secolo XIX questo cambia: la figura del costruttore acquista un ruolo nuovo, non è più un mero esecutore meccanico ma uno degli attori principali nel complesso intreccio di relazioni tra scienza e tecnologia, teoria e pratica, laboratorio e officina. Le interazioni tra scienziati e costruttori portano alla realizzazione di esperienze o interi programmi di ricerca - esemplare in questo è la collaborazione di Fizeau e Foucault con i costruttori Béguet e Froment nei rispettivi lavori sperimentali relativi alla misura della velocità della luce.

La nascita e diffusione di luoghi come accademie e università nei secoli XVII e XVIII fu di fondamentale importanza per l'ascesa, nell'Ottocento, della fisica come disciplina. Sebbene non si pensasse che le università sarebbero diventate i maggiori centri di ricerca sulla natura del mondo fisico, essendo nate con preciso intento pedagogico, esse divennero con il tempo centri di produzione di nuova conoscenza ed è proprio grazie allo sviluppo istituzionale che la fisica poté poi affermarsi come disciplina a tutti gli effetti. Nel corso del secolo XIX si trovarono risposte a molte domande, quali il rapporto tra il fisico e la natura oggetto della sua indagine; il rapporto tra il fisico e il pubblico, e da chi esso dovesse essere composto; il ruolo e la responsabilità del fisico rispetto alla comunità e allo Stato.

Lo sviluppo scientifico dei primi decenni del XIX secolo è caratterizzato dal contrasto tra una visione del mondo meccanicista e una dinamista, paradigmi in forte disaccordo che si contraddistinguono per le ipotesi di fondo. La prima si fondava infatti su ipotesi microscopiche specifiche, come l'esistenza degli atomi; la seconda si incentrava sulle "forze" considerate come qualità primarie. Il passaggio da una concezione di Universo come *clockwork* a organismo unitario si deve anche ai progressi in campo astronomico, che mettono in luce come l'insieme delle stelle e dei pianeti sia descrivibile in termini di processualità.

Un aspetto che all'inizio del secolo XIX accomuna gli studiosi più critici nei confronti del meccanicismo newtoniano è costituito dalla tendenza a credere che le varie forze agenti nei fenomeni fisici, chimici e biologici siano manifestazioni di un unico agente grazie al quale la natura si comporta come un organismo. Questa controversa corrente di pensiero, denominata *Naturphilosophie*, ebbe origini in Germania e si sviluppò notevolmente grazie all'influenza di Wilhelm Joseph Schelling; questi proponeva in alternativa alla scienza del suo tempo una fisica speculativa, che si concentrasse sui processi grazie ai quali sia possibile cogliere la reale unità di fondo della natura.

I laboratori di tutta Europa sembrano fornire più conferme ai filosofi intenti a ricercare questa unità di fondo: gli sperimentatori trovano sempre più modi per trasformare apparentemente un tipo di forza naturale in un altro. Una conferma delle tesi di Schelling poteva riscontrarsi negli esperimenti che Galvani condusse sulle rane, i quali mostravano come i movimenti dei muscoli degli animali fossero il frutto di impulsi elettrici. Se il movimento cosciente degli organismi viventi risultava essere frutto dell'elettricità naturale prodotta dalla materia, per la *Naturphilosophie* era logico concludere che spirito e materia rispondessero ad un principio unico. Lo stesso principio poteva spiegare il funzionamento della pila di Volta, che sembrava trasformare le forze chimiche in elettricità.

Anche da parte dei meccanicisti vennero fatti dei tentativi di unificazione, ma con approccio differente e che si rivelò fallimentare: si ricercava l'unificazione attraverso la riduzione di tutti i fenomeni all'azione di forze meccaniche a distanza tra le molecole.

È in questo clima che nel 1820 Oersted, aderendo alla *Naturphilosophie*, riporta negli *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticum*, l'osservazione circa lo stretto legame tra elettricità e magnetismo.

La tecnologia per trasformare un tipo di forza in un altro è sempre più diffusa all'inizio del XIX secolo: la macchina a vapore per alcuni filosofi naturali è semplicemente un mezzo per produrre forza meccanica dal calore.

Lungi dall'essere un'unità trascendentale, la natura era sempre stata concepita da molti filosofi naturali come un laboratorio per manipolare e trasformare le forze; al contrario, ciò che la natura fa di per sé può essere riprodotto dallo sperimentatore nel suo laboratorio.

La pratica di laboratorio nei primi decenni del XIX secolo ruota attorno alla ricerca di nuovi modi per far sì che un tipo di forza ne produca un altro; la forza è la protagonista di gran parte dei dibattiti scientifici e dal punto di vista di molti filosofi naturali, in particolare in Gran Bretagna, sta alla base della scienza fisica. William Grove sostiene la correlazione delle forze fisiche, Michael Faraday

parla di mutua conversione delle forze; James Prescott Joule suggerisce che la forza venga conservata da una trasformazione all'altra. Dal loro punto di vista, tutti hanno una comprensione intuitiva di che cosa sia la forza come risultato delle proprie interazioni quotidiane con il mondo che li circonda; fondare la filosofia naturale sul concetto di forza significa anche tenerla ancorata al mondo reale dell'esperienza quotidiana. Affermare che le forze della natura siano tutte collegate significa inoltre sostenere il primato di una filosofia naturale che sia in grado di spiegare questo legame ed è un modo per affermare la continua superiorità di questa disciplina generale di fronte alla tendenza, per molti preoccupante, alla frammentazione e alla specializzazione disciplinare.

Nonostante la somiglianza superficiale nelle loro opinioni sull'unità di natura, la prospettiva dei sostenitori della correlazione o conversione delle forze è molto diversa dalla visione romantica della *Naturphilosophie* di inizio secolo.

Dalla seconda metà del XIX secolo il concetto di energia, non più quello di forza, è destinato a diventare il punto focale su cui si uniscono le scienze fisiche. Il *Treatise on Natural Philosophy* del 1867 di William Thomson e Peter Guthrie Tait, che unifica i vari rami della fisica sotto il principio comune dell'energia, sostituisce i *Principia* di Newton come testo fondamentale di un nuovo tipo di filosofia naturale. Il lavoro di James Clerk Maxwell sull'elettromagnetismo inoltre, che culmina nel 1863 nel *Treatise on Electricity and Magnetism*, è un ottimo esempio di versatilità della nuova scienza: la sintesi di elettricità e magnetismo mostra come l'energia possa essere il nuovo principio unificatore della filosofia naturale.

Nella scienza dell'energia non c'è nulla di trascendentale; in questa nuova visione del mondo l'energia era contenuta nell'etere, una sostanza che pervade tutto lo spazio e opera secondo i principi della meccanica. L'esistenza dell'etere, concepito come mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche, diventa un punto fermo della fisica dell'800, condiviso da tutta la comunità scientifica. Tutte le teorie elaborate nella seconda metà del secolo fanno riferimento all'etere e per alcuni sperimentatori, come ad esempio Oliver Lodge, comprendere la meccanica dell'etere diventa il Sacro Graal della ricerca fisica.

Nel corso di tutto l'Ottocento si coglie uno stretto legame tra il modo in cui la fisica viene organizzata come disciplina e il modo in cui organizza il mondo. Per i filosofi naturali romantici di inizio secolo, la comprensione delle unità nascoste della natura richiedeva qualcuno con innata capacità di vedere oltre le apparenze dei fenomeni, un individuo ispirato che potesse cogliere la realtà trascendentale sottostante. Gli scienziati sperimentali di metà secolo come Grove suggerivano

che il filosofo naturale dovesse essere qualcuno educato a guardare oltre i limiti delle particolari questioni relative alle diverse discipline, per vedere il più ampio quadro della correlazione delle forze. Verso la fine dell'Ottocento, i sostenitori della fisica dell'energia ritenevano che solo chi era profondamente addestrato nelle complessità della fisica matematica, potesse addentrarsi nella reale comprensione del mondo e del sottile funzionamento dell'etere.

La fisica diventa la scienza dominante - nonostante nella prima metà del secolo la chimica o l'astronomia sembrassero candidate migliori -, il modello rispetto a cui tutte le altre discipline devono misurarsi. La conservazione dell'energia in particolare si rivela lo strumento ideale per creare una nuova disciplina che varca i confini tra laboratori, fabbriche e aule universitarie. La sua affiliazione con il mondo matematico rende il lavoro di laboratorio rispettabile per i figli dei gentiluomini, mentre le sue connessioni con il mondo dei cavi telegrafici, dell'energia elettrica e dei motori delle fabbriche ne fanno un'occupazione pratica per l'industria e l'economia (Morus, 2005).

La Rivoluzione Industriale in Gran Bretagna e Scozia e lo sviluppo della macchina a vapore portano la società e la comunità scientifica a domandarsi da dove provenga il lavoro e come sia possibile rendere le macchine più efficienti. Anche in questo caso la fisica fornisce delle risposte: nasce la termodinamica, la nuova teoria meccanica del calore elaborata da William Thomson e Rudolf Clausius e che vede il coinvolgimento di tanti altri fisici di grande rilievo, come Sadi Carnot, James P. Joule, Émile Clapeyron, Julius R. von Mayer, Hermann von Helmholtz, James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann.

Nel corso dell'Ottocento le università si dotano di laboratori di ricerca e insegnamento; compito dei professori di fisica è trasmettere le proprie capacità sperimentali e la conoscenza acquisita dallo studio alla generazione successiva. In Gran Bretagna, Francia, Italia, Germania e nel Nord America tutti gli istituti di istruzione superiore si affrettano ad organizzare un laboratorio di fisica. Tra i più importanti centri di ricerca si distinguono il Cavendish Laboratory di Cambridge in Gran Bretagna con Maxwell come *first Cavendish Professor* dal 1871, e il Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Germania, fondato nel 1887 con Helmholtz come direttore.

È evidente come gli sviluppi scientifici si applichino anche al campo industriale e ai beni di lusso. Diventano popolari le esibizioni di artefatti scientifici e tecnologici e le dimostrazioni pubbliche di esperimenti. In Gran Bretagna ad esempio, i fisici più noti venivano invitati presso la Royal Institution di Londra per esporre le loro ultime scoperte, invenzioni o curiosità davanti a un pubblico che era in gran parte composto dalla crème della società londinese.

Questo nuovo approccio alla disciplina permette di estendere la condivisione di conoscenze a una platea più vasta e allo stesso tempo di farne apprezzare i progressi, avendo essi risvolti anche pratici e ludici. In questo contesto si colloca la realizzazione delle spettacolari esibizioni internazionali, che portano definitivamente la scienza, gli scienziati e i prodotti delle scoperte scientifiche nella cultura pubblica: nel 1851 viene inaugurata la *Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations* presso il Crystal Palace di Londra, seguita dalla *Universal Exposition* di Parigi nel 1867, l'*International Exhibition* di Vienna nel 1873 e l'*International Exhibition* di Berlino nel 1879.

Le scoperte nel campo dell'elettricità generano interesse e curiosità anche nel campo dei fenomeni esoterici e soprannaturali. Mesmerismo e spiritualismo sono pratiche che si diffondono in tutta Europa, probabilmente in linea con l'irrazionalità propria della corrente romantica. Anche diversi studiosi della comunità scientifica si interessano a questi fenomeni e cercano di giustificarli dal punto di vista fisico: il filosofo tedesco Karl von Reichenbach sostiene di avere individuato una nuova forza di natura fisica (*odic force*) che emanerebbe dai poli dei magneti e dagli esseri umani come un'aura, percepibile solo da individui particolarmente sensibili; il chimico e fisico William Crookes investiga sui fenomeni di spiritualismo utilizzando moderni apparati di misurazione.

Poiché verso la fine del secolo molti fisici iniziarono a credere che le leggi generali dell'universo fossero state stabilite e la ricerca in fisica fosse prossima alla sua conclusione, si decise di stabilire standard metrologici comuni e aumentare la precisione degli strumenti di misurazione. Questo subentrato culto della precisione diede uno scopo ulteriore alle istituzioni della fisica, assicurando la loro posizione sociale privilegiata come autorità suprema sulla natura. Le strutture delle accademie francesi furono rinnovate e la ricerca iniziò ad essere riconosciuta come competenza dei membri delle facoltà; in Germania e in Italia i professori di fisica chiesero la creazione o ristrutturazione dei Gabinetti degli strumenti; in Gran Bretagna i filosofi naturali evidenziarono la necessità di emulare gli sviluppi continentali.

Entro la fine dell'Ottocento i grandi laboratori di fisica di ricerca e didattica sono ormai parte integrante del panorama culturale in Europa e nel Nord America e vengono riconosciuti come potenze di cultura industriale. È qui che si formano le nuove generazioni di fisici, ingegneri e tecnici destinati a fare carriera in ambito industriale e nelle officine. L'enfasi è posta sulla ricerca sempre più accurata e precisa delle misure delle costanti di natura, individuata come chiave per svelarne i segreti. I fisici hanno una struttura di carriera riconoscibile che va dalla formazione universitaria e dalla ricerca supervisionata post laurea ad una posizione in ambito industriale o

accademico. Viene riconosciuto il ruolo cruciale della fisica nella cultura pubblica e nel promuovere il progresso sociale ed economico, un'arma chiave per ogni nazione industriale.

2. L'insegnamento della fisica nell'Ottocento

Il processo che vede la fisica affermarsi come scienza dominante nel corso dell'Ottocento, influenza anche la sfera didattica: l'insegnamento della fisica, divenuta una disciplina autonoma, viene introdotto sistematicamente in un numero crescente di scuole e università.

A partire dalla fine del XVIII secolo, i sistemi educativi europei si sviluppano rapidamente: si assiste alla fondazione di scuole e collegi, all'istituzione di nuove università e al rinnovamento di quelle storiche. Nascono inoltre le scuole politecniche e gli istituti tecnici, pensati appositamente per la formazione di ingegneri e tecnici. In linea con gli sviluppi sociali, industriali ed economici, l'istruzione scolastica diventa gradualmente accessibile ad un numero più esteso di persone e l'insegnamento delle discipline scientifiche diventa una necessità; a poco a poco la fisica entra a far parte dei curricula disciplinari.

Tali progressi avvennero secondo ritmi e modalità specifiche per ogni Paese europeo, essendo le situazioni culturali e politiche differenti. Il caso della Francia è tuttavia particolarmente significativo poiché, per via del ruolo preminente della lingua e della cultura francesi e in seguito alle conquiste napoleoniche, il sistema francese influenzò diversi Paesi europei, tra cui l'Italia.

Nei primi anni dell'Ottocento Napoleone sostituì alle *écoles centrales*, nate alla fine del secolo precedente per l'istruzione secondaria, i Licei finanziati dallo Stato e le scuole secondarie – denominate *collèges* – finanziate da privati o dal comune locale. La struttura dell'istruzione secondaria e superiore venne cioè riorganizzata in un sistema statale unificato.

La fisica veniva insegnata, sia negli istituti superiori che nelle università, con un approccio di tipo dogmatico, prevalentemente descrittivo e fenomenologico; la componente sperimentale predominava su quella teorica e le lezioni prevedevano descrizioni e repliche di esperimenti storici fondamentali, che soltanto i professori potevano eseguire: il ruolo degli strumenti era dunque assolutamente centrale. Si assiste in effetti in questo periodo ad una moltiplicazione di apparati classici, che venivano proposti dai costruttori con modifiche e nuove funzionalità, nei cataloghi commerciali.

Sebbene inizialmente eterogeneo e fortemente dipendente dalle scelte dei professori e dalla disponibilità degli strumenti dimostrativi, l'insegnamento della fisica si definisce attorno agli anni

'20 del XIX secolo; in questo periodo divennero obbligatori l'installazione nei collèges di un Gabinetto di Fisica e l'acquisto di una serie di strumenti didattici, riportati su un elenco ufficiale dal *Conseil royal de l'instruction* (Brenni, 2010).

Anche altri Paesi europei, come la Germania e l'Austria, proposero sull'esempio francese degli elenchi ufficiali o semi-ufficiali di strumenti da acquistare per attrezzare i Gabinetti. La situazione dell'Inghilterra era invece differente: legata al principio del *laissez faire*, esitò più a lungo prima di consentire allo Stato di intervenire negli affari educativi.

Da questo momento in poi, fino agli inizi del Novecento, l'insegnamento della fisica sarà inconcepibile senza una collezione di strumenti e un'aula appositamente studiata.

Rispetto al resto d'Europa, l'arretratezza generale della fisica italiana verso la metà dell'Ottocento è un fatto indiscusso; in molte università i metodi di insegnamento sono obsoleti, i laboratori poco attrezzati e i finanziamenti insufficienti.

Tra la seconda metà del XIX secolo e l'inizio del XX tuttavia, anche l'Italia si allinea ai sistemi di Francia, Germania e Inghilterra, soprattutto grazie all'impegno di personaggi come Carlo Matteucci, Quintino Sella e Pietro Blaserna: nascono gli Istituti di Fisica e vengono fondate nuove scuole secondarie, in cui l'insegnamento di tale disciplina viene potenziato. L'assegnazione di finanziamenti agli Istituti consente di acquistare un'adeguata strumentazione didattica e di riorganizzare i Gabinetti scientifici. Si assiste al passaggio da Gabinetti e laboratori privati a laboratori di ricerca universitari, dove l'aspetto della ricerca sperimentale si univa a quello didattico-dimostrativo.

Le riforme risentirono fortemente del clima politico e dei condizionamenti legati all'unità nazionale. Nel 1861, Carlo Matteucci presentò al Senato un progetto di legge sul riordinamento dell'istruzione superiore, che prevedeva l'accentramento di investimenti e di energie in poche grandi Università, dove assegnare le cattedre ai docenti più affermati e conservare le collezioni più ricche. Il progetto prevedeva un rettore di nomina regia, programmi e piani di studio uniformi e tasse unificate, con l'abolizione di quelle sui singoli corsi. Matteucci volle in questo modo portare all'attenzione del governo il problema di costituire un'università regolata da norme stabilite e valide per tutto il territorio nazionale, superando i particolarismi e i centri di potere sopravvissuti all'unificazione.

Quando diventò ministro dell'Istruzione nel 1862, Matteucci emanò per regio decreto un regolamento generale dove riprendeva l'idea della riduzione del numero degli atenei a favore di sei

università di prima classe: Torino, Pavia, Bologna, Pisa, Napoli e Palermo. Le restanti università furono classificate come di secondo grado, ricevendo minori finanziamenti statali.

Sebbene nell'insegnamento l'aspetto sperimentale continui a predominare su quello teorico, come negli altri Paesi europei, si assiste negli anni '70 del XIX secolo ad un'importante innovazione, ad opera di Pietro Blaserna. Dopo avere ottenuto la cattedra di Fisica Sperimentale a Roma, Blaserna divenne direttore dell'Istituto di Fisica di via Panisperna e in pochi anni modificò alle radici l'insegnamento della fisica: riformò l'università e istituì la Scuola Pratica di Fisica destinata agli studenti di primo biennio, che consentì per la prima volta agli studenti di condurre personalmente gli esperimenti.

3. Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Bologna

Il Gabinetto di Fisica dell'Università di Bologna, testimonianza materiale del processo di stabilizzazione della fisica nell'Ottocento, affonda le sue radici presso il settecentesco Istituto delle Scienze di Bologna, istituzione dedicata alla coltivazione del newtonianesimo e delle scienze sperimentali la quale, a fine secolo va a confluire nell'antico Studium bolognese, generando di fatto la moderna Università ottocentesca.

Presso l'Archivio Storico dell'Università, sono stati rinvenuti i Cataloghi ottocenteschi del Gabinetto di Fisica, datati 1835 e 1865 e l'Inventario del 1870. Il Catalogo del 1835 in particolare, che si pensa sia stato curato dall'allora direttore Silvestro Gherardi, era preceduto da una prefazione riguardante la formazione e i successivi ampliamenti del Gabinetto, che è stata fondamentale per il lavoro di ricostruzione storica.

Tra i documenti storici, sono stati consultati anche un volume di Giuseppe Angelelli del 1780 sulle origini e sui progressi dell'Istituto delle Scienze di Bologna, e una parte del libro di viaggi *Voyage d'un François en Italie fait dans les années 1765 et 1766* di Jérôme Lalande, citato da Gherardi nella prefazione del Catalogo del 1835.

A questo proposito, si riporta una parte della suddetta prefazione in cui l'autore elogia Lalande per l'esattezza con cui scrisse del Gabinetto di Bologna, mostrandosi invece risentito nei confronti di un



Figura 2.1: prima facciata del Catalogo del 1835, conservato presso l'Archivio Storico dell'Università.

altro personaggio, identificato come Michele Tenore (1780-1861), che aveva anch'egli scritto del Gabinetto ma riportando informazioni sbagliate.

“[...] Io non so trattenere, in tale incontro, un'osservazione, che mi conduce a fare una critica non piacevole, ma che ritengo giusta. L'osservazione è che fra i moderni autori di viaggi che parlarono del nostro Gabinetto e dell'Institutò dell'Università, non ve n'ha alcuno che mostri la giustezza e il criterio di La Lande. Di più, i racconti, i giudizi di certi uni sono così meschini e falsi che riescono insoffribili, anche lasciando da parte ogni confronto. Per esempio, il Chiarissimo Signor Tenore, Professore di Botanica a Napoli, che io ebbi l'onore di conoscere nel 1824, mentre era in visita pel nostro Gabinetto, nel suo Libro = Viaggi per diverse parti d'Italia, Svizzera, Francia = stampato in Napoli nel 1828, dedica a tale Gabinetto un lungo ma, bisogna pur dirlo, leggerissimo articolo, nel quale non so se vi siano più inesattezze che linee. Dice = d'avervi veduti tutti i modelli di Macchine a vapore, e gli apparati per l'illuminazione a gas =, mentre per pochissimo che il Gabinetto nostro tiene su di ciò, sarebbe stato più giusto, dicendo = di non averne veduto alcuno =; ricorda la bilancia di *Coulon*, e la Macchina pneumatica di *Diffson*, nomi non conosciuti, che sostituisce ai veri Coulomb e Sisson: asserisce di aver veduto = un esattissimo ago di inclinazione in cobalto =, benché i due posseduti dal Gabinetto Fisico siano in acciaio, e credo che nessuno si sia mai sognato di farne in cobalto. Mentre poi spende parole sopra la = macchina che imita lo scroscio della pioggia per le sceniche rappresentazioni = (la quale credo non abbia mai fissata che l'attenzione degli idioti) e sopra qualch'altro oggetto, dello stesso Gabinetto, di pochissimo valore, trascura affatto di notare: la sala dell'Ottica; i piatti e gli obiettivi del Campani; la superba collezione di macchine elettriche. Finalmente, a provare con quale esattezza egli abbia preso le sue note (per le quali certo non poteva desiderare maggiore assistenza di quella che si ebbe dal Direttore del Gabinetto, e dagli aggiunti) basterebbe il seguente squarcio = Il Signor Poletti occupa la prima di queste cariche (quella di macchinista) ed i Signori Broks ed Hure lavorano alle nuove costruzioni = Io non so dove egli vi vedesse questo secondo nome; ma il primo, o veramente Brooks, lo vide sculto sulla grande lucerna a gas ossigene e idrogene che possiede il nostro Gabinetto, nome del notissimo inventore della medesima, non confondibile con nessuno dei nomi italianissimi degli assistenti i quali, forse, gli dovettero dire = questa macchina è uscita dalla nostra Officina =.

Ciò dimostra che non tutti gli uomini dedicati ad una scienza speciale, massime della specialità della Botanica, sono fatti per opere che richieggono un sapere, se non profondo, universale. E a questo solo è ristretta la critica; la quale ho fatto per l'amore che porto al Gabinetto, e senza intendere di nulla togliere alla riputazione di buon Botanico del Chiarissimo Professore, che forse l'opera stessa gli ha accresciuta” (Gherardi, 1835).

3.1 Introduzione all'Istituto e all'Accademia delle Scienze

L'Istituto delle Scienze nacque nei primi decenni del Settecento per volere del conte Luigi Ferdinando Marsili. Scienziato, accademico e militare, spinto dal grande amore per la scienza e per

la patria, raccolse nel corso dei suoi viaggi una grande varietà di strumenti e oggetti che potessero contribuire al progresso delle scienze, e li fece trasportare nella propria abitazione a Bologna. Telescopi, orologi, microscopi, calamite, barometri, termometri, fossili di ogni genere, metalli, sali, zolfi, strumenti astronomici e molto altro costituirono il primo nucleo di ciò che sarebbe poi diventata la collezione dell'Istituto delle Scienze. Marsili fece inoltre costruire a sue spese un Osservatorio per l'Astronomia; la sua casa divenne presto un centro di ritrovo per i letterati e gli scienziati dell'epoca, che la frequentavano per studiare, confrontarsi su varie questioni ed eseguire esperimenti.

Al fine di valorizzare la Collezione che aveva messo insieme e metterla a disposizione della comunità, nel 1709 Marsili propose al Senato di Bologna di stabilire un Istituto delle Scienze e delle Arti, che potesse promuovere i progressi in campo astronomico, storico, militare e fisico. La proposta fu accolta con entusiasmo e fu seguita, l'11 gennaio 1712, dalla pubblica e solenne donazione della Collezione di Marsili al Senato e alla patria. Il 2 marzo venne poi creata un'Assunteria, su richiesta di Marsili, composta da sei senatori che sovrintendessero l'Istituto e si occupassero dell'amministrazione dei capitali donati.

Ottenuta anche dal pontefice Clemente XI l'approvazione per trarre dalle Gabelle denaro a favore dell'Istituto, il Senato di Bologna acquistò nel 1714 il Palazzo appartenuto alle case Poggi e Cellesi, per ospitarvi la collezione di Marsili e in previsione delle future acquisizioni.

Nel 1742 fu trasferito all'Istituto il lascito di Ulisse Aldrovandi, che aveva dato vita ad un cospicuo museo e ad una libreria; l'anno seguente anche il museo Cospi, costituito da Ferdinando Cospi nel Seicento, fu unito alla Collezione presso palazzo Poggi.

L'Istituto divenne una delle più curiose raccolte del tempo, per le scienze e per le arti. Comprende una sala per le assemblee dell'Accademia delle Scienze, una biblioteca, un Osservatorio "très-bien monté" (Lalande, 1769), un Gabinetto di Storia Naturale e uno di Fisica, delle sale dedicate alla Nautica, all'Arte Militare, alle antichità, alla Chimica, all'Anatomia, all'Ostetricia, alla pittura e alla scultura. Per ciascuna sala erano assegnati dei professori che tenevano lezioni a giorni stabiliti, mostrando gli apparati strumentali e gli oggetti, e facendo dimostrazioni pratiche.

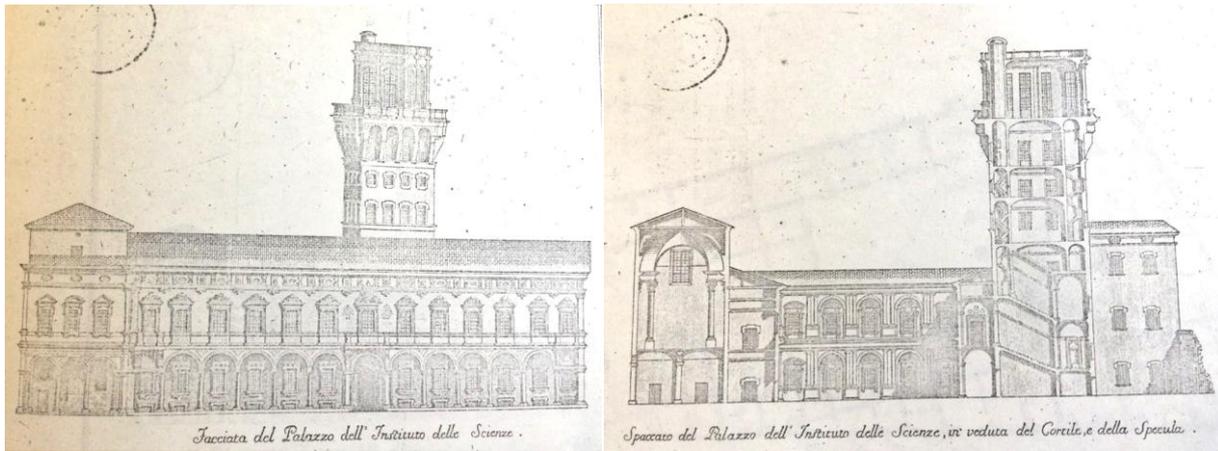


Figura 2.2: rappresentazioni del palazzo dell'Istituto delle Scienze, tratte dal volume di Giuseppe Angelelli del 1780.

All'Istituto fu strettamente legata l'Accademia delle Scienze, nata *Accademia degl'Inquieti*.

Intorno al 1690 Eustachio Manfredi, allora sedicenne, iniziò a riunire diversi amici per studi letterari e scientifici: si trovavano in giorni stabiliti e a turno proponevano gli argomenti e le materie di cui discutere. Il gruppo iniziò presto a definirsi degl'Inquieti e diede vita a una vera e propria Accademia, con tanto di stemma e motto – *Mens agitat*. Gli incontri si trasferirono presso l'abitazione di Jacopo Sandri, e Giovanni Battista Morgagni fu scelto per riformare l'Accademia al modo di quelle diffuse in Europa, stabilendo regole e decreti insieme a Manfredi e a Vittorio Stancari.

La fama dell'Accademia si diffuse arrivando anche in Francia, dove si trovava Marsili, che fu entusiasta dei progressi che si facevano al suo interno nelle lettere e nelle scienze e invitò i membri dell'Accademia a trasferirla nel suo palazzo a Bologna, cosa che avvenne nel 1705. Quando in seguito fu inaugurato l'Istituto delle Scienze, furono designati spazi adeguati anche all'Accademia, che cambiò il suo nome in Accademia delle Scienze.

Al momento dell'inaugurazione del 1714 era Presidente dell'Accademia Francesco Simoni, con Matteo Bazzani come Segretario; a lui successe poi Francesco Zanotti, primo autore dei *Commentarii* che venivano redatti in seguito alle assemblee ordinarie. Zanotti divenne Presidente nel 1766 e nominò Segretario Sebastiano Canterzani.

3.2 Il Gabinetto di Fisica

Nel 1745 fu promulgato l'Ordinamento dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna e si diede origine al Gabinetto di Fisica dell'Accademia, che divenne importante al pari dei maggiori centri di ricerca europei. Prospero Lambertini, ovvero papa Benedetto XIV, si prodigò per fornire il Gabinetto dei migliori apparati per l'insegnamento e la ricerca nel campo della fisica sperimentale: fece scrivere a Pieter van Musschenbroek, professore di fisica presso l'Università di Leyden (l'attuale Leiden) in Olanda e gli commissionò la fabbricazione degli strumenti e delle macchine già costruite sotto la guida del celebre Willem Jacob 's Gravesande.

La macchina pneumatica a due trombe e a chiavi d'ottone ad esempio, costruita da Jan van Musschenbroek, fratello di Pieter, e datata 1742, venne

largamente utilizzata per le lezioni nel Gabinetto. In *Cenni sulla formazione e sulle successive ampliamenti del Gabinetto di Fisica* del 1835, a cura di Silvestro Gherardi, che nel 1831 successe nella direzione del Gabinetto a Francesco Orioli, sono citati diversi altri strumenti venuti dall'Olanda: vari termometri in tavoletta metallica, una macchina elettrica secondo 's Gravesande, un microscopio, prismi di nitidissimo cristallo olandese, diverse calamite, una bilancia idrostatica. Le macchine di Leida erano costruite in rovere d'Olanda spulita o tinta in nero e corrispondevano perfettamente nelle dimensioni a quelle descritte nelle opere di 's Gravesande e di Musschenbroek.

Nel 1747 Benedetto XIV donò all'Istituto delle Scienze il laboratorio ottico di Giuseppe Campani (1635-1715), la cui tecnica di lavorazione di vetri ottici era considerata la migliore del XVII secolo. Tra gli oggetti del Campani erano presenti vari bacini di rame per tutte le fasi della lavorazione dei diversi tipi di lenti, e una dozzina di lenti firmate di varia lunghezza focale, da 90 a 205 palmi romani (20-45 metri). L'astronomo francese Jérôme Lalande, ricorda nel suo *Voyage d'un françois en Italie* del 1769 un obiettivo di cannocchiale di "205 palmi di fuoco, cioè, 141 piedi di Francia" mostratogli da Ercole Lelli, che Campani aveva fatto per Colbert; alla morte del

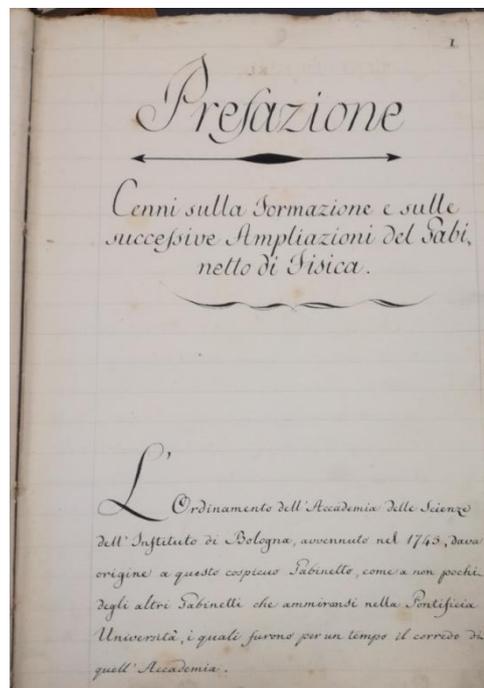


Figura 2.3: pagina 1 del Catalogo del 1835

ministro nel 1683 l'obiettivo era stato poi riportato a Roma ed era considerato uno dei più bei vetri di cannocchiale che esistessero al mondo.

Agli strumenti di fisica erano riservate quattro stanze all'interno dell'Istituto delle Scienze, di cui una occupata esclusivamente da apparecchi di Diottrica.

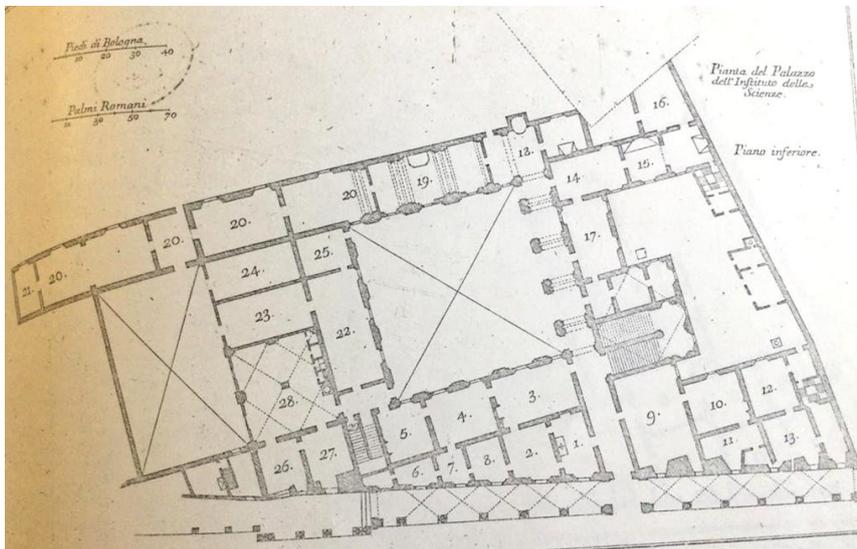


Figura 2.4: pianta del piano inferiore del Palazzo dell'Istituto delle Scienze, tratta dal volume di Giuseppe Angelelli del 1780.

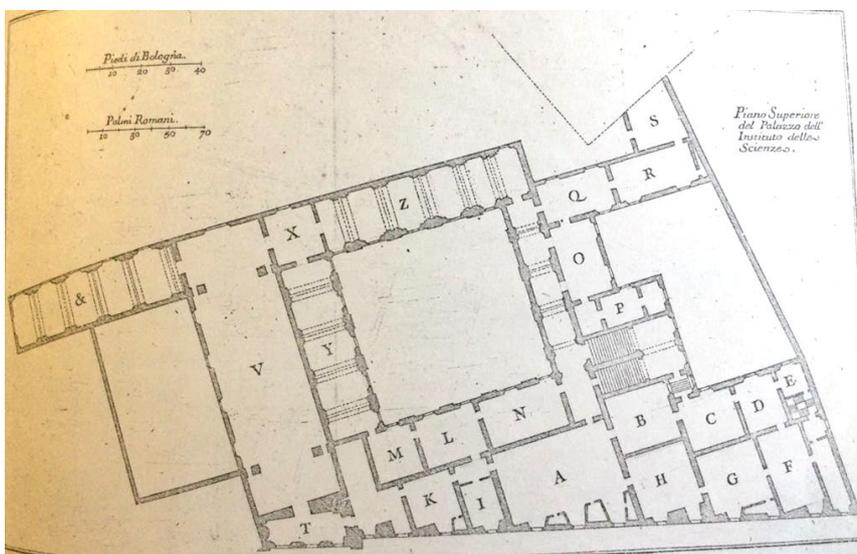


Figura 2.5: pianta del piano superiore del Palazzo dell'Istituto delle Scienze, tratta dal volume di Giuseppe Angelelli del 1780.

Nel corso del Settecento le Stanze di Fisica furono riordinate e aumentate sia in numero sia nell'importanza delle strumentazioni che ospitavano. Il Gabinetto mantenne sempre anche la sua funzione di Museo. Caratteristica delle ricerche degli studiosi di questo periodo è la pluralità dei loro interessi, tratto peculiare della fisica settecentesca che non presenta ancora quella suddivisione e specializzazione dei lavori tipica dei secoli successivi.

Dati i rapidi progressi della scienza ai tempi dell'Istituzione dell'Accademia, in particolare rispetto al calorico, all'elettricità e al magnetismo, non era possibile tenere il Gabinetto al passo, sebbene le donazioni e gli acquisti annuali di strumenti fossero di grande aiuto. Si ricordano un certo Padre Savorniani, che donò delle grandi campane di vetro e alcune macchine idrostatiche, e il conte Prospero Ranuzzi, che fornì il Gabinetto di strumenti spettanti all'elettricità.

Nel 1791 il Cardinale Arcivescovo Giovannetti acquistò per il Gabinetto di Fisica di Bologna il Museo Cowper di Firenze. George Nassau Clavering, terzo conte di Cowper, amante e patrocinatore delle scienze, stabilitosi a Firenze dall'Inghilterra, diede vita a un laboratorio scientifico che divenne presto uno dei più importanti e moderni Gabinetti d'Europa. Costava di circa 400 apparati di elettricità, magnetismo, meccanica, pneumatica, termologia, idrostatica e ottica, tutti firmati da costruttori celebri, soprattutto inglesi, come Adams, Dollond e Nairne. Concorsero con il Cardinale nella spesa, stimata duemila Gigliati d'oro, il Conte Prospero Ranuzzi, il Marchese Piriteo Malvezzi e il Conte Giuseppe Pallavicini; furono mandati come mediatori del contratto tra Giovannetti e la vedova Cowper: Antonio Campana, professore di fisica presso l'Università di Ferrara, l'abate Antonio Magnani, bibliotecario dell'Istituto delle Scienze di Bologna e il sacerdote Luigi Poletti, assistente primario presso il Gabinetto di fisica di Bologna.

Con l'invasione dei francesi del 1796, avvennero furti di preziose macchine conservate al Gabinetto; la macchina pneumatica di Sisson fu portata via, poi restituita, mentre fu perduto per sempre un bellissimo microscopio solare composto di Adams.

In seguito alla soppressione delle Congregazioni e Istituzioni religiose, il Governo requisì le loro apparecchiature didattico-scientifiche. Fu un caso fortuito che Giovanni Aldini, successore di Canterzani nella cattedra di fisica sperimentale e consigliere del Consiglio di Stato di Milano dal 1807, venisse destinato a raccogliere gli oggetti di scienze naturali sparsi nelle Congregazioni sopresse. Grazie a lui, il Gabinetto acquisì diversi strumenti, tra cui una macchina elettrica "a disco composto" secondo il Maggiotto Veneziano, una macchina di Atwood secondo Brisson e un compasso per misurare la sfericità delle lenti e dei piatti ottici del sacerdote Anderlini. In seguito tuttavia, Aldini eseguì l'ordine del governo repubblicano di togliere al Gabinetto di Fisica i duplicati per formare un Gabinetto a Brescia. In questo frangente si persero una batteria di bocce leidensi che erano appartenute ai Padri Serviti, una raffinata lanterna magica del museo Cowperiano, una magnifica camera ottica, e altri strumenti.

L'occupazione francese scosse profondamente Bologna, sia a livello politico sia culturale.

Il 4 settembre 1802 Napoleone creò l'Istituto Nazionale di Scienze, Lettere e Arti, con sede presso l'Istituto delle Scienze di Bologna. L'Accademia delle Scienze fu sciolta con un atto governativo il 19 aprile 1804; verrà ricostituita soltanto nel 1829. Quando nel 1810 fu fondato il Regio Istituto Nazionale Italiano, con sede a Milano, Bologna divenne una semplice Sezione dell'Istituto, insieme a Padova, Verona e Venezia. Si formò inoltre a Bologna l'Ateneo. La fusione dell'Università con l'Istituto delle Scienze fece acquisire al Gabinetto di fisica nuovi strumenti, tra cui due globi, uno celeste e l'altro terrestre, e una sfera armillare in ottone con piede di bronzo. In seguito, si aggiunsero alla collezione un modello di eliostata – che Gherardi afferma meriti “di essere descritto dal Santini nell'Ottica analitica, invece di quello di s' Gravesande” - e un baroscopio, entrambi appartenuti a Pietro Prandi e regalati al Gabinetto dalla vedova, Matilde Galazzi Pianesani.

Nonostante le difficoltà, il Gabinetto riuscì a svolgere nell'Ottocento la sua funzione culturale di unione tra la didattica e la ricerca: tutti i Direttori si prodigarono per mantenere il Gabinetto “al Livello della Scienza”, e ottennero dei mezzi straordinari dai Cardinali Legati di Bologna per l'acquisto di strumenti innovativi. Il Cardinale Arcivescovo Oppizzoni, Arcicancelliere dell'Università, e il Rettore Monsignor Minarelli ordinarono poi la stesura del Catalogo del Gabinetto compreso dei *Cenni* di cui sopra (Gherardi, 1835).

Nel 1835 le sale che racchiudevano il Gabinetto di Fisica erano sei, compresa una sala per il laboratorio in cui erano conservati anche i libri; ciascuna sala era contrassegnata da lettere.

La Sala AA, denominata *Teatro delle Lezioni*, era quasi esclusivamente dedicata ad oggetti di elettricità; la Sala BB all'Elettricità, al Magnetismo e al Calorico; la Sala A all'Idrodinamica delle Arie e all'Idropneumatica-Chimica; la sala B all'Idrodinamica dei Liquidi e alla Meccanica; la sala C all'Ottica. La sala del Laboratorio era notata CC.

Le sezioni riportate nel catalogo degli strumenti del 1835 sono: Elettricità; Magnetismo; Elettromagnetismo; Calorico; Termo-elettromagnetismo; Ottica; Meccanica; Astronomia Fisica; Acustica; Adesione; Capillarità; Porosità; Cristallizzazione; Igrometria; Idrodinamica dei Liquidi; Idrodinamica delle Arie; Idropneumatica Chimica.

Come si può vedere, la suddivisione della fisica in diverse branche, tratto peculiare del XIX secolo, si rifletteva anche nell'organizzazione degli apparati all'interno del Gabinetto. Anche l'Inventario del 1870 mantiene questa suddivisione, con qualche differenza; le sezioni nominate sono infatti: Meccanica e Forze Molecolari; Acustica; Capillarità, Aerostatica, Idrostatica e

Idrodinamica; Calorico, Elettrostatica; Elettrodinamica; Ottica. Il Catalogo del 1865 elenca invece gli strumenti in base a come erano suddivisi negli armadi (Sala a: Armadio N°1, Armadio N°2,...).

Negli anni successivi al 1835, la strumentazione del Gabinetto si modificò gradualmente, perdendo alcuni pezzi e acquistandone di nuovi, probabilmente anche grazie ai finanziamenti assegnati dallo Stato – dopo l’Unità - alle scuole e agli Istituti. Confrontando ad esempio le sezioni di Ottica del Catalogo del 1835 e dell’Inventario del 1870, si notano alcune differenze: la lampada clorofana di Richter citata nel Catalogo del 1835 (e ancora presente nel Catalogo del 1865, soltanto come “Lampada clorofana”) non si ritrova nell’Inventario del 1870, così come non vi si leggono i nomi di tanti microscopi citati. Nell’Inventario del 1870 d’altra parte si trovano degli apparati nuovi, come il banco di diffrazione con i suoi accessori o l’apparato di Nörremberg.

Un aspetto interessante da notare, è la differenza nei modi in cui i tre documenti sono stati scritti. Il Catalogo del 1835 comprende anche la prefazione con i cenni sulla formazione e sull’ampliamento del Gabinetto di Fisica, mentre i documenti del 1865 e del 1870 non hanno alcuna introduzione. Ciò tuttavia può essere giustificato dal fatto che quello curato da Silvestro Gherardi fu il primo vero e proprio catalogo della collezione del Gabinetto, dunque l’intento deve essere stato anche quello di ricostruire le vicende del passato.

Un altro elemento distintivo del Catalogo del 1835 è la maniera in cui vengono presentati gli strumenti, con descrizioni accurate e riferimenti talvolta all’aspetto estetico, molto diversa dalle liste asettiche dell’Inventario del 1870. Si riporta qualche esempio a riguardo.

Nel Catalogo del 1835 si leggono descrizioni come:

“Stupendo apparato per dimostrare la varietà della rifrazione nell’aria variamente densa: consiste in un prisma di ottone con due facce di bellissimo cristallo, con siringa da condensare, e rarefare l’aria nel prisma, e con due manometri di cristallo da inserirsi nella base del prisma opposta a quella a cui è applicata la siringa: il tutto può essere chiuso nella cassetta di mogany, da cui l’istrumento sporge, la quale conserva la definizione del medesimo, col modo di adoperarlo”

“Graziosissimo prismetto acromatico, consistente di tre prismi articolati; in custodia di sagrino”

“Sei grandi specchi di metallo: due sono leggermente concavi da una parte, non lavorati dall’altra, e con semplice cornice di legno nero; quattro sono lavorati dalle due parti, e più o meno convesso-concavi: tre di questi sono montati su piede di legno nero con semicerchio di ferro; il quarto, maggiore di tutti, è imperniato sopra semicerchio di ferro dorato [...]”.

L'Inventario del 1870 riporta una lista assai più scarna di dettagli, come la seguente:

“Cassetta di cristallo rettangolare

Lenti sferiche antiche

Apparecchio di specchi per la sintesi della luce

Prisma di vetro

Prismi congiunti per l'acromatismo, piccoli

Occhiali con vetro rosso e verde”.

Il Catalogo del 1865 è una via di mezzo tra le due maniere di scrivere: conserva qualche elemento dei modi di Silvestri, ma è già più schematico.

3.3 Il Regio Museo dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna

Nel 1907, Augusto Righi si adoperò per la costituzione dell'Istituto di Fisica dell'Università in via Irnerio 46, che rientrava anche nel piano di potenziamento delle strutture universitarie volute dal rettore Giovanni Capellini per l'ottavo Centenario della nascita dell'Università di Bologna (Tarozzi, 1983). Il nuovo Istituto di Fisica fu inaugurato il 12 aprile 1907.

Apparati e strumentazioni del Gabinetto di Fisica vennero quindi trasferiti dalla sede di via Zamboni 33 a via Irnerio 46, per la fondazione del Regio Museo di Fisica. Tale museo occupava un ambiente piuttosto vasto, come mostrato dalle foto che riportano il Salone delle Macchine e la pianta del piano terreno dell'edificio.



Figura 2.6: Salone delle Macchine nel nuovo Istituto di Fisica, in via Irnerio 46 (1907).

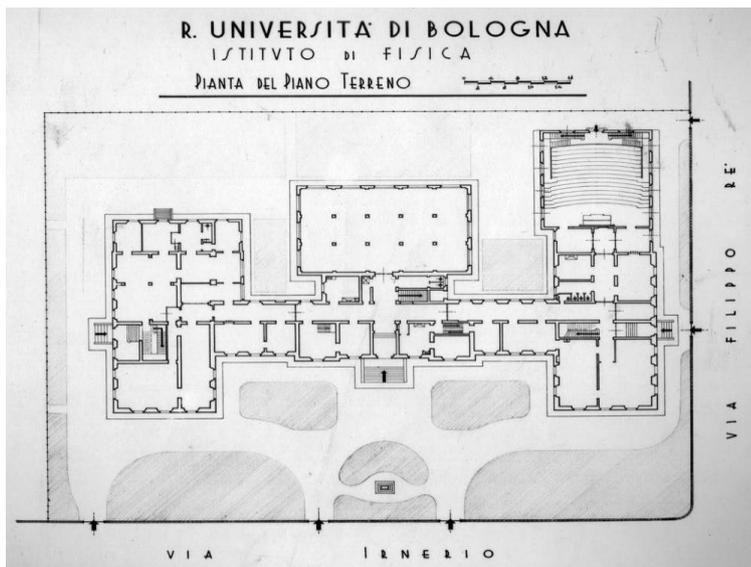


Figura 2.7: pianta del piano terreno del nuovo Istituto di Fisica, in via Irnerio 46.

Augusto Righi occupò la cattedra di fisica dell'Università di Bologna dal 1889 fino all'anno della sua morte, avvenuta nel 1920. Esegui le sue ricerche sperimentali presso il Gabinetto di Fisica in via Zamboni 33, proseguendo gli studi sulle proprietà ottiche delle onde elettromagnetiche, avviati pochi anni prima da Heinrich Hertz. Tra il 1892 e il 1893 mostrò le esperienze di Hertz durante le lezioni e mise a punto l'oscillatore a tre scintille. Nello stesso periodo, Guglielmo Marconi concentrò le sue ricerche sulle radiazioni di ampia lunghezza d'onda per la trasmissione di segnali a grandi distanze, che portarono a sviluppi nel campo della telegrafia senza fili.

I lavori di Guglielmo Marconi e Augusto Righi, le cui attrezzature didattiche e sperimentali rimasero all'Istituto di Fisica, contribuirono all'ampliamento e al prestigio del Museo.

A Righi successe nel 1921 Quirino Majorana, le cui ricerche nell'ambito delle radiocomunicazioni portarono alla costituzione presso l'Istituto di Fisica di una Scuola di Perfezionamento in Radiocomunicazioni.

Con gli sconvolgimenti delle guerre mondiali, gli apparati scientifici e didattici conservati presso l'Istituto furono trascurati, la collezione fu stravolta e dispersa in alcune sue parti.

Nel secondo dopoguerra, si cominciò a ricostituire il Museo ampliandolo con l'acquisto di strumenti moderni. Negli anni Settanta gli strumenti ottocenteschi furono cercati, studiati e restaurati e nel 1982 fu ufficializzata la rinascita del Museo di Fisica, con sede in via Irnerio 46. L'Istituto di Fisica si trasformò in Dipartimento l'1 aprile 1983.

Furono in seguito completati la ristrutturazione degli Armadi dei cimeli di Augusto Righi e di Quirino Majorana e il restauro dei loro strumenti. Nello stesso anno Giorgio Dragoni si occupò della stesura di un primo *Catalogo degli strumenti* dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna.



Figura 2.8: armadi dei cimeli di Augusto Righi e di Quirino Majorana, Istituto di Fisica in via Innerio 46.

Attualmente il Museo conserva, oltre alla collezione ottocentesca, strumenti del XX secolo, le attrezzature originali didattiche e sperimentali di Augusto Righi, i dispositivi di didattica e di ricerca di Quirino Majorana, apparati della Scuola di Perfezionamento in Radiocomunicazioni e altri strumenti relativi a campi recenti come la fisica nucleare e subnucleare, la fisica medica e l'astrofisica.

Capitolo 3: Gli strumenti ottocenteschi della Collezione di Fisica dell'Università di Bologna

1. Introduzione

La Collezione di Fisica del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna è conservata presso la sede del Dipartimento di Fisica e Astronomia "A. Righi", in Via Imerio 46, dove è stata svolta la parte principale del lavoro di questa tesi.

Tale lavoro ha dapprima comportato l'inventario di tutti gli strumenti ottocenteschi della collezione. Tale inventario ha permesso il riordino degli strumenti attualmente collocati al terzo piano e al piano terra del dipartimento e conservati in teche e armadi i quali, sebbene non costituiscano una vera e propria esposizione, hanno il merito di preservare lo stato degli strumenti stessi².

L'operazione di inventariazione si è svolta in vari passaggi, in particolare: gli strumenti sono stati fotografati uno ad uno e i dati a disposizione (provenienti da didascalie o vecchi documenti descrittivi) raccolti; gli apparati sono stati poi identificati e compresi nel loro funzionamento, con relativa correzione dei dati esistenti, con la consulenza di un esperto, il Dott. Paolo Brenni; informazioni aggiuntive e immagini utili alla visualizzazione del funzionamento sono state reperite in trattati ottocenteschi di fisica come il *Trattato elementare di fisica sperimentale ed applicata e di meteorologia* di Adolphe Ganot e/o cataloghi di collezioni italiane ed estere, come ad esempio i cataloghi della Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze, il catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement, il catalogo del Gabinetto di Fisica del Liceo Sarpi di Bergamo e il catalogo del vecchio Gabinetto di Fisica del Liceo Foscarini; gli apparati sono infine stati riposti negli stessi armadi ma suddivisi e ordinati per sezioni.

Tale lavoro ha mostrato che la Collezione di Fisica del Dipartimento si compone in totale di 244 apparati, suddivisi in specifiche sezioni: 82 appartenenti alla sezione di ottica, 13 a quella di geodesia, 52 a quella di fisica elettrica, in cui sono stati inclusi gli strumenti sia di elettrostatica che di magnetismo, 7 alla sezione di pneumatica e idrostatica, 28 a quella di acustica, 14 a quella di meccanica e 48 alla sezione di termologia e termodinamica.

² Alcuni apparati tra quelli più ingombranti, come la macchina di Atwood, la macchina di Morin e l'apparato per la dimostrazione delle onde meccaniche, sono esposti senza protezione.

A questo punto, il lavoro è proseguito con l'analisi dei singoli apparati.

Dopo aver identificato gli strumenti, sono stati individuati criteri comuni di descrizione. In particolare, si è scelto di organizzare fotografie e dati in schede descrittive le quali, pur non coincidendo con le schede catalografiche previste dal Catalogo Generale dei Beni Culturali, contengono tuttavia parte delle informazioni utili alla compilazione di queste ultime. Principale scopo della tipologia di scheda qui proposta è invece lo sviluppo di un discorso storico-scientifico utile alla creazione di un nuovo allestimento realizzato con tali apparati che verrà portato avanti nei prossimi mesi.

Ciascuna scheda prevede quattro voci: concetto; funzionamento ed esempi di conduzione dell'esperimento; inventore e dati storici (ovvero, storia della strumentazione scientifica); lo strumento della Collezione di Fisica, che comprende *Costruttore*, *Numero di serie*, *Pezzi Mancanti* e *Altro*³. Si è pensato in questo modo di poter dare un'analisi accurata di ciascuno strumento e, idealmente, di fornire al lettore le conoscenze necessarie per ripetere le esperienze descritte. Anche per la compilazione delle schede, in particolare per la ricerca di rappresentazioni originali degli apparati ottocenteschi e per completare la sezione dedicata agli esempi di funzionamento, è stato molto importante il confronto con il già citato trattato di A. Ganot, con il *General Catalogue of Instruments made by Troughton & Simms* e con altri simili riportati in bibliografia. Di grande aiuto sono stati inoltre i video realizzati dalla Fondazione Scienza e Tecnica di Firenze, ad opera dei curatori Paolo Brenni e Anna Giatti.

Per la compilazione delle schede si è deciso di fare una selezione degli strumenti conservati, scegliendo di approfondire due o tre strumenti per ciascuna sezione⁴.

La scelta della selezione di strumenti da analizzare è stata dettata da diversi criteri: si è cercato di comprendere quali strumenti fossero più significativi per dare un'idea dei progressi nei vari ambiti della fisica avvenuti nel XIX secolo e delle innovazioni introdotte; alcuni strumenti sono stati scelti per la loro versatilità e l'uso che ne veniva fatto anche in ambito industriale (un esempio è lo stalagmometro di Traube); un ulteriore criterio di scelta è stato il confronto della collezione attuale di strumenti con i Cataloghi del Gabinetto di Fisica del 1835 e del 1865 e con l'Inventario del 1870, conservati presso l'Archivio Storico dell'Università di Bologna.

³ In alcune schede è presente anche la voce *Possibili collegamenti con altri strumenti*.

⁴ In un caso, nella sezione di Ottica, sono stati approfonditi quattro strumenti invece dei tre inizialmente selezionati. Uno dei due microscopi da mano era stato infatti erroneamente attribuito a Giuseppe Campani, come l'altro, ed era stata fatta una scheda unica per entrambi.

Nella sezione che segue le singole schede sono precedute da una introduzione alle problematiche sperimentali dell'epoca, che i singoli apparati hanno contribuito a risolvere.

2. Presentazione della collezione nelle aree tematiche

2.1 L'Ottica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica

All'inizio dell'Ottocento gli strumenti ottici presenti nei laboratori e negli uffici scientifici erano rudimentali. Tutto ciò che era necessario per studiare l'ottica era costituito da specchi, lenti, prismi e schermi montati su appositi supporti, alcuni microscopi e alcuni telescopi e un portaluce o un'eliostata. Alcuni fenomeni noti fin dalla seconda metà del Seicento, come la diffrazione e la doppia rifrazione, non erano spiegabili dalle teorie allora accettate. Le principali teorie sulla natura della luce, ora considerata come un corpuscolo, secondo l'ipotesi newtoniana, ora come un fenomeno ondulatorio, secondo Christian Huygens, così come erano formulate a quel tempo non potevano spiegare tutte le osservazioni sperimentali. L'inizio del XIX secolo fu ricco di scoperte ed esperienze nel campo della storia dell'ottica. Nei primi decenni Augustin Fresnel, proseguendo la ricerca di Thomas Young sviluppò un'elegante teoria ondulatoria, che considerava la luce come un'onda trasversale dell'ipotetico "etere luminifero". Questa teoria ha permesso di spiegare brillantemente i fenomeni di polarizzazione, interferenza e diffrazione, fornendo oggetto di studio e di esperienza per oltre un secolo (Brenni, 2009).

Verso la metà del secolo fu possibile misurare con notevole precisione la velocità della luce e pochi anni dopo J. C. Maxwell unì ottica ed elettromagnetismo con una geniale sintesi matematica, dalla quale apparve chiaramente come la luce potesse essere identificata con un'onda elettromagnetica.

Elementi essenziali di ogni strumento ottico erano nell'800 lenti e prismi in vetro. I vetri ottici erano di complessa e difficile fabbricazione, in particolare la produzione del vetro Flint (ad alta densità, ricco di sali di piombo e caratterizzato da un alto potere dispersivo, necessario per le lenti acromatiche nei cannocchiali). A inizio secolo la produzione del vetro venne notevolmente migliorata nella tecnica e nei procedimenti: ciò diede un grande impulso all'industria del vetro ottico, stimolata anche dalla diffusione di binocoli da teatro e dalla crescente richiesta di vetri di alta qualità per obiettivi degli apparecchi fotografici.

I progressi nella fabbricazione del vetro ottico e la continua sperimentazione migliorarono notevolmente le caratteristiche e performance degli strumenti: con l'introduzione di combinazioni di lenti capaci di ridurre le aberrazioni ottiche, i microscopi composti accrebbero notevolmente la

loro efficacia e il loro uso si diffuse in un vasto numero di discipline scientifiche e di attività industriali. Fu inoltre possibile costruire lenti acromatiche di diametro sempre maggiore, che permisero di realizzare telescopi sempre più grandi. Si affermarono i telescopi a riflessione dotati di specchi di metallo, poi sostituiti da specchi di vetro argentato.

Tra i costruttori più importanti degli strumenti ottici si ricorda Jules Duboscq, specialmente per gli apparecchi per lo studio di fenomeni come polarizzazione, diffrazione e interferenza, ma anche per gli spettrometri e gli spettroscopi (Appendice B, riga 16).

All'inizio dell'Ottocento veniva ancora utilizzata prevalentemente come sorgente luminosa la luce solare, sebbene fosse comunque diffuso l'uso dei portaluce, poi delle eliostate (Appendice B, riga 55). I progressi della chimica e delle relative tecnologie permisero lo sviluppo di sorgenti di luce artificiale di forte intensità (gas illuminante, luce detta ossidrica); questi sistemi, per quanto efficaci spesso richiedevano apparati ingombranti e a volte macchinosi per produrre e accumulare i gas o vapori utilizzati. Si assistette alla nascita delle prime sorgenti di luce elettrica grazie all'invenzione della pila: inizialmente era diffuso l'uso delle lampade ad arco, poi verso la fine dell'800 si diffuse nei laboratori la lampadina elettrica a filamento incandescente. Per la spettroscopia fu ideata una serie di speciali sorgenti luminose, dal 1850 tubi di vetro contenenti gas a pressione ridotta nei quali si produceva una scarica elettrica; la luce della scarica era poi analizzata con uno spettroscopio.

Si riscontrarono numerosi problemi nella fotometria dell'800. Le scoperte della spettroscopia rivelarono la complessità della luce bianca e furono ideati gli spettrofotometri, in grado di paragonare le intensità luminose in funzione delle lunghezze d'onda. Altri problemi si riscontrarono relativamente alla soggettività delle proprietà fisiologiche dell'occhio umano e dalla complessità del fenomeno della visione (risolti nel '900 con l'uso di rivelatori fotoelettrici al posto dell'occhio umano). Il progresso in ambito spettroscopico permise di individuare nuovi elementi e aprì la strada a nuovi campi di indagine: si assistette alla nascita dell'astrofisica grazie allo studio della composizione dei corpi celesti attraverso la luce da essi emessa.

L'Ottocento vide la realizzazione di numerosi apparecchi per lo studio delle proprietà fisiche dell'occhio e della sua patologia, che venivano utilizzati nei laboratori come esempi di applicazioni fisiche di particolari fenomeni ottici. Dai laboratori, la strumentazione ottica sempre più sofisticata si estese alle applicazioni in campo industriale: i saccarimetri (Appendice B, righe 32-33) venivano usati per determinare otticamente le caratteristiche delle soluzioni zuccherine, i rifrattometri e i colorimetri permettevano di controllare la qualità di sostanze alimentari, con i fotometri si poteva confrontare l'efficacia delle diverse sorgenti luminose.

Una degli elementi più rivoluzionari fu l'invenzione della fotografia, grazie a ricerche sugli effetti chimici della luce. Niépce aveva sperimentato il cloruro d'argento per fissare delle immagini, poi aveva utilizzato il bitume di Giudea, la cui solubilità è modificata dall'effetto dei raggi luminosi, per ottenere con una tecnica eliografica quella che viene considerata la prima fotografia. Daguerre mise a punto un sistema detto dagherrotipia; si moltiplicarono i diversi procedimenti fotografici, con esiti più o meno efficaci, e già dal 1850 ci furono esperimenti di fotografia a colori. Divennero inoltre popolari i giochi ottici (anamorfosi, apparecchi stereoscopici e lanterne magiche) e in seguito i giochi ottici animati, primo passo verso la realizzazione del cinematografo.

Le tecniche fotografiche resero tra l'altro possibile un'ulteriore svolta nei campi d'indagine dell'astronomia (con il colossale progetto di mappa celeste *Le carte du ciel*) e della spettroscopia, rivelando le lunghezze d'onda che sfuggono all'occhio umano ma impressionano le lastre e le pellicole fotosensibili.

Nell'800 aumentò considerevolmente il numero degli apparecchi didattici che, illustrando in maniera chiara ed evidente fenomeni conosciuti, consentivano di visualizzare effetti già noti al fine di rappresentarli a scopo dimostrativo all'interno dell'insegnamento dell'ottica. L'introduzione di apparecchi di proiezione diede la possibilità di presentare dimostrazioni ed esperienze spettacolari.

SCHEDE

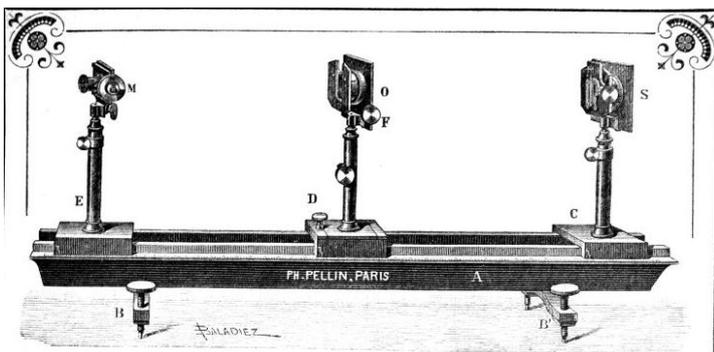
1. Banco ottico

CONCETTO

Il banco ottico permette di eseguire e studiare svariati esperimenti ottici, quali ad esempio interferenza e diffrazione a seconda degli accessori.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Si tratta di una panca in legno con una riga graduata su cui possono scorrere strumenti e accessori utilizzati in diverse esperienze di ottica.



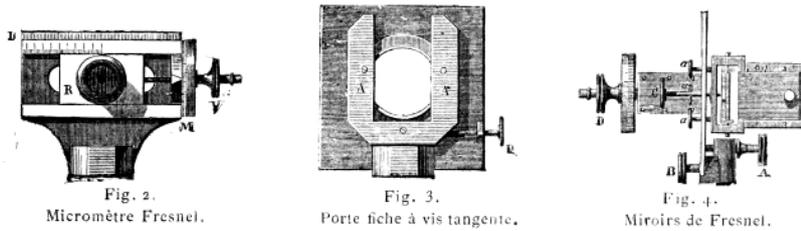
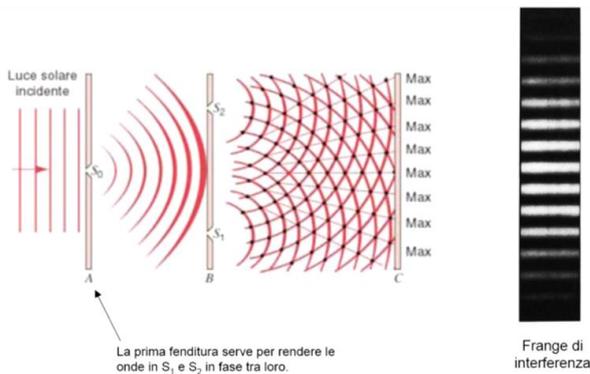


Figura 3.1: rappresentazione di un modello di banco ottico con ingrandimento sugli strumenti per le esperienze di interferenza e diffrazione, tratto da un catalogo di Pellin, *Instruments d'Optique et de Précision* (IV Fascicule), p. 4.

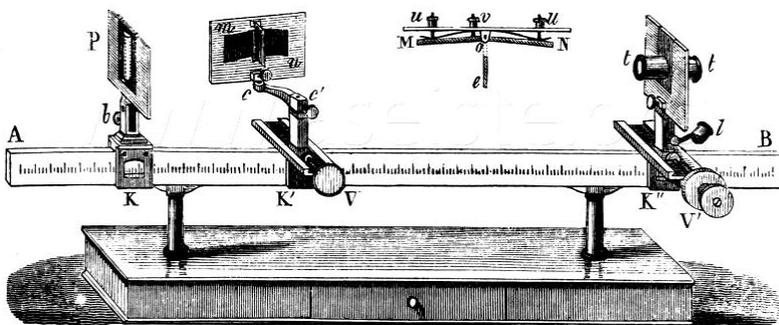
Fenomeno di interferenza

Esperienza di Fresnel

Lo scopo è di ottenere due immagini dalla stessa sorgente per costituire due sorgenti secondarie coerenti (perché ci sia interferenza), misurare l'interfrangia e determinare la relazione che essa dà in funzione di diversi parametri.

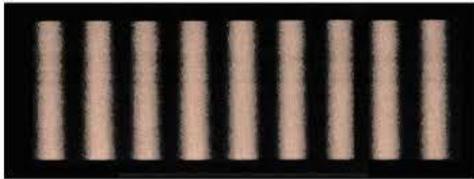


Per visualizzare questo fenomeno si fissano sul banco ottico una lente cilindrica molto convergente (posizionata in K in figura) con lunghezza focale f' , un sistema di specchi di Fresnel (in K') e un oculare micrometrico di Fresnel (in K'') in modo che siano allineati. La sorgente luminosa, solitamente una lampada ad arco, viene posta davanti alla lente (P in figura).



Davanti alla lente è posizionato anche un filtro (ad esempio rosso), così che il fascio di luce incidente sia quasi monocromatico. La luce si riflette sui due specchi di Fresnel, opportunamente

orientati e leggermente inclinati l'uno sull'altro, in modo che l'angolo α tra essi sia appena inferiore a 180° . I due fasci di luce distinti generati per riflessione si sovrappongono e interferiscono originando una banda luminosa solcata da frange chiare e scure che corrispondono ai luoghi di interferenza costruttiva e distruttiva. Le frange di interferenza vengono osservate e misurate tramite l'oculare micrometrico.



Per misurare l'interfrangia, cioè la distanza tra due frange, si fa coincidere il filo focale del micrometro di Fresnel con il centro di una frangia e lo si porta al centro della n -esima frangia successiva. Si divide poi la distanza misurata per n in modo da determinare con maggiore precisione il valore dell'interfrangia.

Per studiare l'influenza di diversi parametri sulla frangia, si varia una delle distanze tra i cursori o si cambia il filtro per modificare la lunghezza d'onda del fascio luminoso, misurando ogni volta l'interfrangia i .

Si conclude che: $i = \frac{k'' - k' + f'}{2\alpha(k'' - k' + f')}$, dove k'' e k' rappresentano le posizioni dei cursori che reggono rispettivamente il micrometro e gli specchi di Fresnel.

La figura d'interferenza che si forma dipende dalla lunghezza d'onda della luce utilizzata. In particolare, la prima frangia luminosa è tanto più distante dalla frangia centrale quanto più grande è la lunghezza d'onda emessa dalla sorgente. Cambiando il filtro si osserva la larghezza delle bande diminuire quando la luce passa dal rosso al viola. Se il filtro viene rimosso, si osservano frange iridescenti, la cui larghezza varia in base al colore; ciò è dovuto al fenomeno della dispersione.



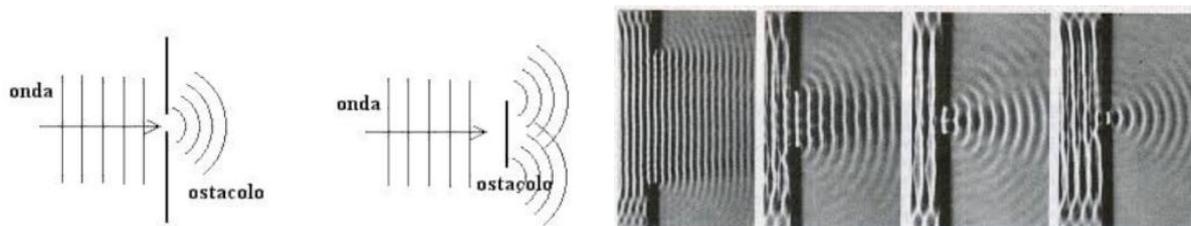
Esperienza di Young

Le due sorgenti sono sostituite da due fenditure Young che ricevono luce da una fenditura luminosa posta ad uguale distanza dalle fenditure e parallela alla loro direzione. Si osservano gli stessi fenomeni, sia in luce monocromatica che in luce bianca.

Si possono ottenere sorgenti coerenti anche sostituendo agli specchi di Fresnel altri strumenti: il biprisma di Fresnel⁵, le semi-lenti di Billet⁶, l'apparecchio a tre specchi di Fresnel⁷.

Fenomeno di diffrazione

La diffrazione è un fenomeno caratteristico delle onde luminose che interferiscono quando incontrano un ostacolo o attraversano un'apertura di dimensioni comparabili alla loro lunghezza d'onda. La luce si incurva vicino ai bordi dell'apertura e illumina zone che sarebbero in ombra, formando una figura di diffrazione costituita da frange chiare alternate a frange scure.

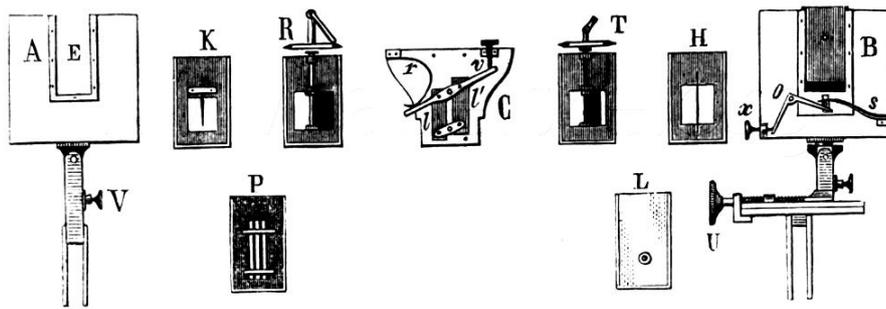


Sul banco ottico si fissano due supporti (in figura indicati con A e B), entrambi dotati di una fessura (E) in cui è possibile inserire diversi accessori. Un sistema costituito da una sorgente luminosa e da una feritoia di larghezza variabile (C) viene inserito in uno dei supporti e un filtro posto nel percorso della luce fa in modo che questa risulti quasi monocromatica. Sull'altro supporto si inserisce l'accessorio di cui si vuole studiare l'effetto sulla luce. Si dirige il raggio verso uno schermo e, spostando il secondo supporto lungo il banco si osservano frange o anelli di diffrazione.

⁵ Il biprisma di Fresnel è formato da due prismi rettangolari uniti per il cateto minore; i raggi luminosi vengono rifratti in modo da formare due fasci separati che, sovrapponendosi, interferiscono.

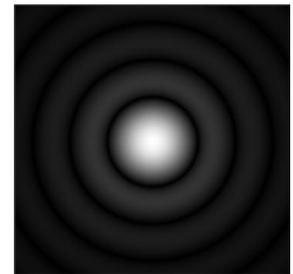
⁶ Si tratta di due metà della stessa lente, tagliate da un piano normale alla superficie e passante per il centro. Una vite permette di allontanare le due metà per cambiare la posizione del centro ottico dell'insieme. Un'altra vite permette di spostare verticalmente una delle semi-lenti e quindi di correggere uno slittamento longitudinale delle immagini.

⁷ È un dispositivo composto da tre specchi. Gli specchi terminali sono fissati a bracci mobili che ruotano attorno ad un asse verticale su una piattaforma graduata. Lo specchio intermedio è montato sulla piattaforma e regolato da una vite micrometrica che lo sposta parallelamente a se stesso; una vite di ritorno ne permette l'inclinazione attorno ad un asse verticale.



Facendo riferimento all'immagine sopra, inserendo sul secondo supporto la scheda (H), che presenta un'ampia apertura in cui è teso un filo metallico, si osservano le frange d'interferenza, così come con la scheda (P), che utilizza un sistema di tre grossi fili metallici che lasciano uno spazio molto ridotto tra loro, per avere due fessure. Con la scheda (T), munita di specchietto, associata ad una lente cilindrica appena convergente si osservano frange molto luminose. La scheda (K), in cui un ago forma uno stretto ostacolo, consente di visualizzare frange luminose più larghe.

Con le schede (B), avente un'apertura circolare molto piccola, e (L), formata da una lastra di vetro sulla quale è fissato un dischetto metallico, si osservano degli anelli: la figura di diffrazione prodotta è formata da un punto chiaro al centro dell'ombra scura e frange circolari concentriche chiare alternate a frange scure.



Nel caso in cui nessun filtro sia posizionato nel percorso del raggio luminoso, le frange o gli anelli sono iridescenti. La loro larghezza dipende dal colore.

In Fig. 3.2 sono mostrate le schede che costituiscono parte degli accessori del banco ottico della Collezione di Fisica, con aghi più o meno stretti, aperture con centro bianco o centro nero, tre sbarrette; servono tutte per mostrare la diffrazione dell'onda luminosa incidente.

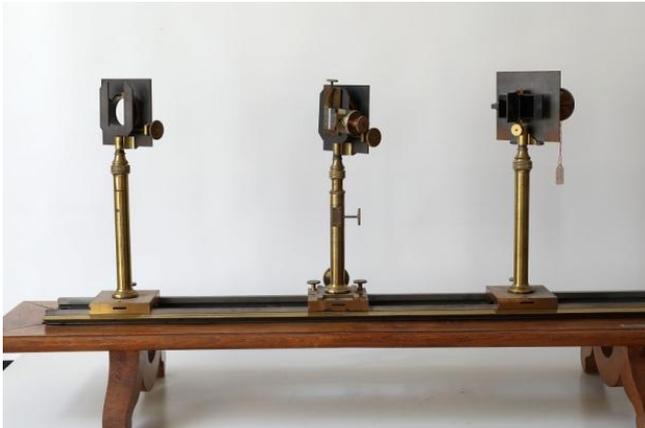


Figura 3.2: schede da inserire nel supporto per le esperienze di diffrazione.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il banco ottico si diffuse nei laboratori nell'Ottocento per eseguire e riprodurre esperienze di ottica. Tra i più importanti costruttori si ricorda Jules Duboscq.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Jules Duboscq, Paris.

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: lampada ad arco/lanterna

ALTRA: gli strumenti componenti il banco ottico della collezione sono: un supporto dotato di fessura per l'inserimento delle schede accessorie, una fenditura micrometrica con

sostegno e un sistema di specchi di Fresnel.

Nel Catalogo del 1865 si legge "Banco per esperienze di diffrazione e di interferenza, con cassetta di mogany contenente tutti i diaframmi occorrevoli per le esperienze". Lo strumento è riportato anche nella sezione di *Ottica* dell'Inventario del 1870.



Figura 3.3: accessori del banco ottico della Collezione di Fisica.

2. Microscopio catadiottrico di Amici

CONCETTO

Si tratta di un microscopio a riflessione costituito da un sistema combinato di lenti e specchi. Uno specchio metallico concavo e il tavolino porta oggetti scrono su un'asta verticale, in cima alla quale è fissato orizzontalmente il tubo del microscopio.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

La luce entra nel tubo ottico, viene riflessa da uno specchietto ellittico piano sullo specchio concavo che funge da obiettivo e inviata da questo all'oculare per l'osservazione.



Figura 3.4: microscopio catadiottrico di Amici della Collezione di Fisica di Bologna.

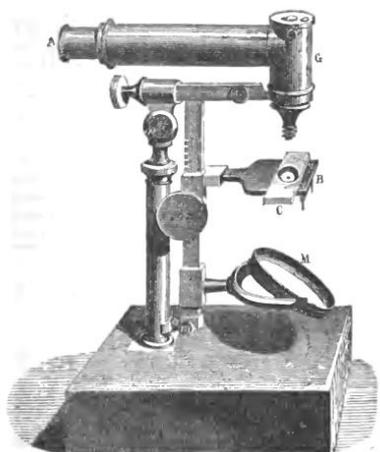


Figura 3.5: rappresentazione del modello di microscopio composto di Amici e Chevalier tratta dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot.

Il microscopio catadiottrico si differenzia dal microscopio generico, in cui la luce proveniente dall'oggetto attraversa verticalmente la lente obiettivo e poi la lente oculare, dove viene posto l'occhio; nel microscopio catadiottrico di Amici, la luce entra da un'apertura posta nel tubo ottico in corrispondenza del tavolino porta oggetti, viene riflessa verso l'obiettivo (a sinistra in Fig. 3.4) e poi inviata all'oculare per l'osservazione (a destra in Fig. 3.4).

AB è il corpo del microscopio (Fig. 3.6); in A è posto uno specchio ellittico obiettivo, in B si applicano gli oculari.

Il campione da osservare viene posto sul tavolino porta oggetti e il fascio di luce che lo illumina viene convogliato su di esso dallo specchio metallico concavo posto in basso. All'interno del tubo ottico uno specchietto ellittico piano posto a 45° convoglia il fascio verso l'obiettivo, che è a sua volta uno specchio e invia la luce all'oculare.

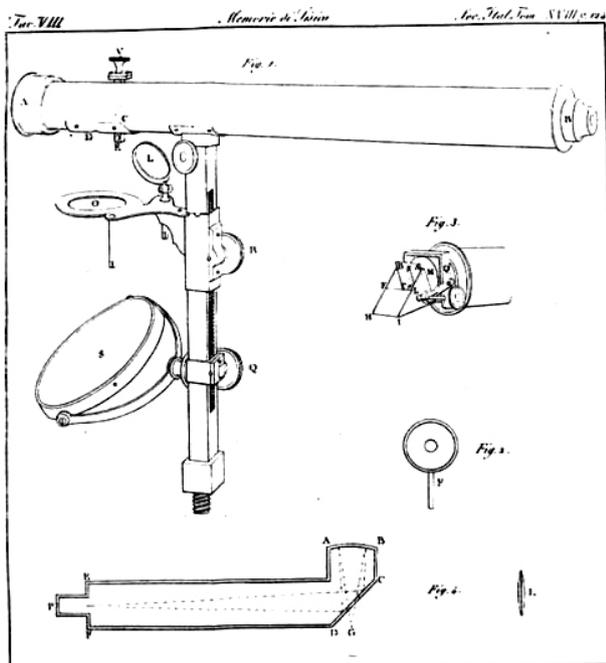


Figura 3.6: schema del microscopio catadiottrico presente nella memoria originale di Amici *De' microscopi catadiottrici*, pubblicata nel Tomo XVIII-1820 delle "Memorie di Matematica e di Fisica", Tav. VIII ⁸.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il microscopio catadiottrico fu progettato e costruito dallo scienziato italiano Gian Battista Amici allo scopo di eliminare le aberrazioni prodotte dalle lenti non acromatiche, all'epoca usate per gli obiettivi. Fa parte dei numerosi tentativi realizzati agli inizi dell'Ottocento di costruire un apparecchio ingranditore che non usasse le sole lenti, ma un sistema di lenti e specchi – da qui l'aggettivo catadiottrico - per migliorare l'osservazione.

Amici presentò il suo primo microscopio al Concorso delle Arti e dell'Industria a Milano nel 1812; lo strumento, che usava come obiettivo uno specchio concavo di forma ellittica riscosse successo in tutta Europa grazie alla nitidezza dell'immagine che produceva e alla potenza di ingrandimento, superiori rispetto a quelli di tutti gli altri microscopi esistenti. Nel 1818 Amici presentò la memoria "De' microscopi catadiottrici" alla Società Italiana delle Scienze. Vincent Chevallier per primo, applicò nel 1823 le lenti acromatiche al microscopio.

⁸ "Memorie di Matematica e di Fisica della Società Italiana delle Scienze residente in Modena", Tomo XVIII-1820, Memorie di Fisica, p.124.

Verso la fine degli anni '20 dell'Ottocento, con la diffusione delle lenti acromatiche, questo tipo di apparato cadde in disuso.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Gian Battista Amici. Sullo strumento è incisa la scritta: "Amici Modena".

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

ALTRA: contiene diversi accessori da utilizzarsi nelle osservazioni.

Nel Catalogo del 1835, nella sezione di *Ottica*, si legge "Microscopio Catadiottrico del Celebre Amici,



con tavoletta di lavagna, e colla memoria relativa dell'autore", e subito dopo "Elegante lampada all'Argand, che serve pel Microscopio precedente". Lo strumento è citato anche nel Catalogo del 1865.

Figura 3.7: particolare dell'incisione con il nome del costruttore e il luogo di fabbricazione, "Amici Modena".

3. Microscopio semplice di Campani

CONCETTO

Il microscopio semplice è un modello di microscopio spesso maneggevole, costituito da una sola lente di ingrandimento. Garantisce una visione distinta del campione, con minori aberrazioni cromatiche rispetto al microscopio composto.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

L'oggetto da osservare viene fissato sulla punta di un ago e messo a fuoco dalla piccola lente. L'immagine appare diritta come la si vede ad occhio nudo; ciò consente di coordinare agevolmente i movimenti quando si manipola il campione.

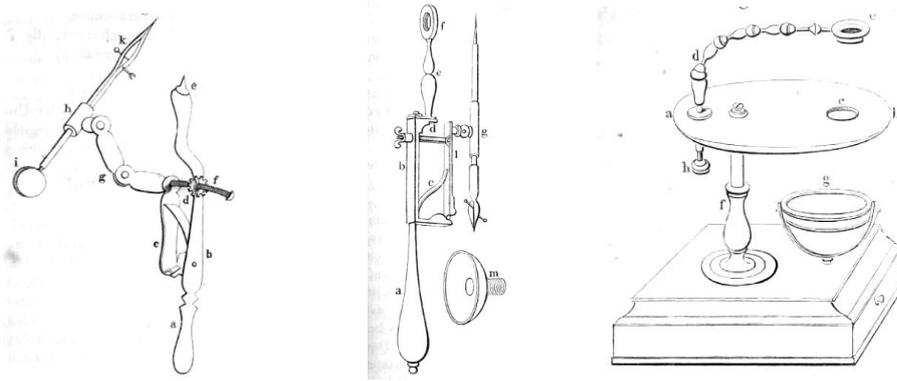


Figura 3.8: modelli di microscopio semplice. Da sinistra a destra: microscopio di Wilson (1702); microscopio di Lieberkuhn (1740); microscopio acquatico di Cuff (1747). Le immagini sono tratte dal trattato di Pieter Harting *Das mikroskop. Theorie, gebrauch, geschichte und gegenwärtiger zustand desselben* (1859), p. 614-617-619.

Con il termine microscopio semplice si fa riferimento in realtà non ad un solo tipo di strumento, ma a diversi modelli di microscopio a lente singola che tra il Seicento e il Settecento furono ideati e largamente utilizzati dai naturalisti per l'osservazione di varie specie d'insetti, vegetali e piccole creature acquatiche. Nel microscopio di Wilson in Fig. 3.8 (a sinistra) ad esempio, ideale per l'osservazione di insetti e altri oggetti opachi, il campione veniva posto sul dischetto *i* o tenuto tramite le pinze in *k* ed osservato con una lente fissata sulla punta *e*. Simile al modello di Wilson era quello di Lieberkuhn (Fig. 3.8, al centro), nel quale uno specchietto concavo con foro centrale era inserito tra l'obbiettivo e il portaoggetti del microscopio inclinato, in modo da riflettere la luce sul campione. Il microscopio acquatico di Cuff (Fig. 3.8, a destra), adatto ad osservare gli organismi contenuti in un acquario, era costituito da un braccio snodabile, con giunti a sfera, recante l'anello che portava la lente.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il primo microscopio semplice, detto a perlina, pare sia stato costruito da Evangelista Torricelli (1608-1647), sebbene tale strumento sia conosciuto in letteratura grazie all'uso esteso che ne fece l'olandese Antoni Van Leeuwenhoek (1632-1723) nella seconda metà del Seicento. Leeuwenhoek costruì più di 500 esemplari di microscopio, alcuni dei quali potevano fornire un ingrandimento fino a 266 volte; costruiva le lenti a partire da biglie o parti di vetro soffiato e raggiunse una risoluzione di 0.7 μm . Lo strumento, nonostante la semplicità della costruzione, si rivelò estremamente efficace e affidabile anche per l'osservazione di materiali trasparenti e sottili, tanto da essere preferito dai naturalisti per le ricerche sul campo e per la pratica della dissezione. Leeuwenhoek stesso poté osservare la struttura dei globuli rossi, degli spermatozoi e di molti tipi di batteri.

Marcello Malpighi (1628-1694) utilizzando il microscopio semplice scoprì la circolazione capillare nel sangue, Nehemiah Grew (1641-1712) la struttura cellulare delle piante.

Malpighi in particolare, menziona più volte nei suoi scritti di aver usato microscopi realizzati da Eustachio Divini e da Giuseppe Campani. Come riportato da Silvio Bedini nel suo “Giuseppe Campani, “Inventor Romae,” an Uncommon Genius”, Malpighi informò Filippo Bonanni di aver utilizzato un microscopio semplice ad una lente che, pur non ingrandendo molto, copriva un grande campo. È possibile che il microscopio semplice in questione sia proprio lo strumento conservato nella Collezione di Fisica di Bologna, il quale non è elencato tra gli strumenti di ottica del Campani acquistati da Benedetto XIV e da lui donati all’Istituto delle Scienze di Bologna nel 1747, quindi deve essere stato acquisito da altra fonte.

Il microscopio semplice ebbe la massima diffusione nel Settecento e nei primi anni dell’Ottocento, e rimase in uso anche dopo la diffusione del microscopio composto grazie alla sua praticità di trasporto e di utilizzo per studi sul campo.

GLI STRUMENTI DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Giuseppe Campani

NUMERI DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: lente

::: ALTRO: nel Catalogo del 1835, nella sezione di *Ottica*, si legge “Due lenti miliarie montate in ottone (una col manico di avorio) per servire da microscopio

semplice: quella tutta in ottone è del Campani”.

Sopra il microscopio è incisa la scritta “Giuseppe Campani in Roma”, la firma che lo scienziato utilizzava abitualmente per gli strumenti ottici da lui realizzati. Si tratta dell’unico esempio noto di questo strumento che sia stato realizzato da Giuseppe Campani; che egli realizzasse microscopi a lente singola è confermato da uno dei suoi listini per gli strumenti, dove si legge “Il Microscopio di un sol Cristallo, o per linea lavorata, quale serve per osservare li oggetti trasparenti, & i fluidi, ingrandisce mirabilmente con chiarezza, vale scudi 10” (Silvio Bedini, *Giuseppe Campani, “Inventor Romae,” an Uncommon Genius*, p. 747) .

4. Microscopio da mano di Homberg

CONCETTO

Lo strumento, che ricorda nella forma uno specchietto, è costituito da un manico in legno e da una testa formata da due sottili piani in ottone, uniti alla sommità da una vite. Su uno dei piani vi è

un'apertura per inserirvi la lente (O in Fig. 3.10). I campioni da osservare si inseriscono sui piccoli ripiani di un disco (N°2 in Fig. 3.10), che viene posta tra le due lamine di ottone.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Posizionati i campioni, il disco ruota fino a far coincidere uno dei ripiani porta campione con la lente. Quest'ultima viene coperta da una lastrina di ottone con un piccolissimo foro al centro e una lentina, davanti al quale si posiziona l'occhio dell'osservatore.



Figura 3.9: modelli di microscopio presentati nel corso di uno degli incontri dell'Accademia Fisicomatematica di Roma, nel 1685; l'immagine è tratta dal volume "Nuove invenzioni di tubi ottici" di Carlo di Napoli, pubblicato nel 1686.

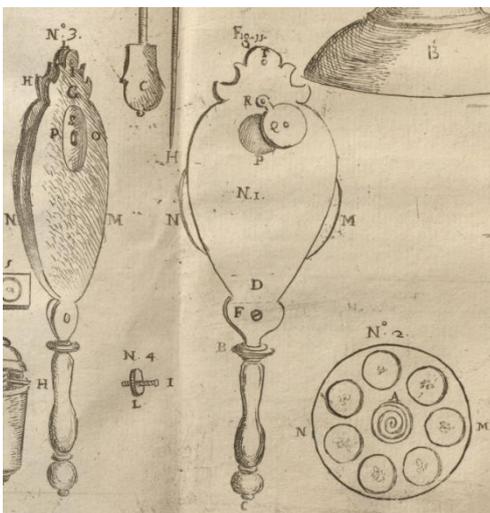


Figura 3.10: ingrandimento sul microscopio Fig. 11 della tavola sopra.

Si consideri la Fig. 3.10. I due piani costituenti la testa ovale allungata dello strumento, che possono essere anche in legno, argento o in altro materiale, sono uniti nel punto F dalla vite I. Nella vite è inserita una piccola ruota dentata (L) che si può muovere con un dito per far accostare o allontanare i piani GH, in modo da potervi inserire il disco con i campioni (N°2).

Tale disco, solitamente in legno, va posizionato all'interno del microscopio come si vede nel N°1, agli estremi MN; i ripiani su cui posizionare i campioni sono fori muniti di una base. Al centro del disco c'è un altro foro in cui viene inserita una molla, fatta di filo di ottone avvolto a spirale (A), che ne consente il movimento.

La lente è situata nel centro del foro OP che si vede nel N°3 e va coperta dalla lastrina di ottone Q forata al centro con un'apertura piccola quanto la punta di un ago, e una lentina, affinché i raggi visuali si uniscano meglio nell'osservazione. La lastrina è fissata al microscopio tramite una vite, in modo tale che possa scorrere sopra l'apertura OP, coprendola e scoprendola.

Le lentine di cristallo, “che più tosto devono chiamarsi palline dimostrate per S, sono sì piccole, che il di loro Diametro tal'ora è minore di esso minuto, à guisa di un piccol grano di miglio. Sogliono formare questi piccoli globetti non con il lavoro ne i piatti, conforme si lavorano gl'altri vetri d'occhiali, mà alla lume dove si fonda il Cristallo, delle quali poi se ne v`a scegliendo il migliore” (Carlo di Napoli, *Nuove inventioni di tubi ottici*, p. 8).

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Di questo modello di microscopio da mano si ha testimonianza dal volume del 1686 “Nuove inventioni di tubi ottici” di Carlo di Napoli, probabile pseudonimo di Monsignor Giovanni Giustino Ciampini, che nel 1677 fondò l'Accademia Fisicomatematica di Roma sul modello dell'Accademia del Cimento.

Gli incontri tra i membri dell'Accademia Fisicomatematica si tenevano la prima domenica di ogni mese. L'incontro del 4 agosto 1685, discusso nel volume di Carlo di Napoli, fu interamente dedicato alla microscopia: diversi scienziati, tra cui Giuseppe Campani, Carlo Antonio Tortoni e Marco Antonio Cellio, presentarono i propri innovativi modelli di microscopio. In Fig. 3.9 sono riportate le raffigurazioni dei diversi tipi di strumento. Del microscopio di Fig. 11 della tavola, molto somigliante al modello conservato dalla Collezione di Fisica, che ne è dunque probabilmente una copia, Carlo di Napoli scrive:

“Questo Microscopio per aver le palline sì piccole fa un ingrandimento sì grande dell'oggetto, che per così dire non puol esser maggiore, hà però un difetto, che dimostra esso oggetto un poco oscuro,

e non ben terminato; onde quando l'Arte arrivasse à levare questo difetto, si potrebbe questo Instrumento chiamar il più perfetto trà Microscopij. E già qualch'Anno, che fù inventato, mà hora ridotto à questa perfezione dal sodetto Sig. Hombergh Gentilhuomo Indiano, che lo dimostrò in questa nostra Accademia Fisicomatematica” (Carlo di Napoli, *Nuove inventioni di tubi ottici*, p. 8-9).

Pare quindi che il microscopio fosse già in uso in quel periodo, e che venne perfezionato e presentato all'Accademia dal Sig. Hombergh Gentilhuomo Indiano, che si pensa essere il chimico e medico olandese Wilhelm Homberg (1652-1715), membro dell'Accademia delle Scienze francese e noto per la preparazione dell'acido borico e per le osservazioni sulle reazioni di neutralizzazione degli acidi con le basi. Non è chiaro se sia stato lui stesso l'inventore del microscopio in questione, o se lo abbia soltanto perfezionato.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: lenti; ruota per posizionare i campioni da osservare.

ALTRO: Nel Catalogo del 1835 si legge,

nella sezione di *Ottica*: “Tre microscopi da mano a due lenti tubati in legno e pelle, uno grande, un altro mediocre, ed uno piccolo: quello è del Celebre Campani”; la descrizione sembra corrispondere a quella del microscopio in questione. Pare quindi che lo strumento fosse stato erroneamente attribuito a Giuseppe Campani al momento dell'acquisizione da parte del Gabinetto di Fisica di Bologna, mentre dal documento seicentesco di Carlo di Napoli “Nuove inventioni di tubi ottici” si evince che questo modello di microscopio, già in uso prima del 1685, sia stato perfezionato da Wilhelm Homberg.



Figura 3.11: microscopi da mano della Collezione di Fisica a confronto. A sinistra il microscopio semplice di Giuseppe Campani, a destra il microscopio perfezionato da Homberg.

2.2 La Geodesia ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica

Nel XVIII e nel XIX secolo i viaggi di esplorazione, le conquiste coloniali e i bisogni sempre più sofisticati della cartografia stimolarono la diffusione e il continuo perfezionamento degli strumenti geodetici e topografici. I sovrani di diversi territori europei promossero già dal XVII secolo grandi campagne di rivelazioni topografiche che diedero un impulso decisivo allo sviluppo della topografia; furono costruiti strumenti sempre più complessi e precisi e vennero pubblicati dei manuali che conciliavano le esigenze pratiche del lavoro sul campo e gli strumenti ideati da matematici.

La topografia si sviluppò soprattutto dal Settecento; si occupava essenzialmente di rilevare le posizioni relative di due punti situati sulla superficie della Terra misurando distanze, dislivelli, angoli azimutali, misurati rispetto al Nord, e zenitali, misurati rispetto allo Zenith. Gli strumenti di rilevamento più utilizzati erano la livella, il teodolite, e in seguito la livella a cannocchiale. Nel XIX secolo i teodoliti vennero perfezionati sia dal punto di vista ottico sia da quello meccanico e furono ideati diversi modelli a seconda delle esigenze. Venne introdotto inoltre il sestante (Appendice B, riga 83), uno strumento a riflessione derivante dall'ottante - nato nel 1730 per la misura delle altezze del Sole o degli astri rispetto all'orizzonte.

La geodesia moderna si sviluppò a partire dal Seicento con il metodo della triangolazione per la misurazione degli archi di meridiano e di parallelo terrestri. La tecnica migliorò con l'applicazione, ad opera di Jean Picard del cannocchiale ai cerchi graduati che venivano utilizzati per misurare gli angoli dei triangoli geodetici o le altezze degli astri. Picard avanzò l'ipotesi che la Terra non fosse perfettamente sferica. Nel Settecento furono condotte diverse spedizioni geodetiche al fine di risolvere la disputa in corso tra cartesiani e newtoniani circa la forma della Terra: i

cartesiani assegnavano alla Terra una forma ellissoidale allungata verso i poli, mentre i newtoniani sostenevano che avesse una forma ellissoidale schiacciata, con un appiattimento ai poli. Le misure dell'arco di meridiano in prossimità del polo e all'equatore determinarono nel 1738 la vittoria dei newtoniani.

Le misure dell'arco di meridiano continuarono anche negli anni seguenti per la costituzione del metro campione: verso la fine del XVIII secolo Jean Baptiste Delambre e Pierre Méchain furono scelti come responsabili scientifici per le triangolazioni insieme a Jean Charles Borda. Borda ideò tra l'altro un cerchio ripetitore, dotato di due cannocchiali indipendenti e diretto discendente del teodolite, per poter effettuare la ripetizione delle misure in modo da minimizzare l'errore. A partire dall'Ottocento, essendosi affermato l'ellissoide di rotazione come modello della superficie terrestre, furono effettuate numerose misure dei parametri dell'ellissoide.

SCHEDE

5. Livella a cannocchiale

CONCETTO

Lo strumento è costituito essenzialmente da un cannocchiale fissato a una livella a bolla d'aria, montati su un supporto in legno. Viene utilizzato in topografia per determinare l'orizzontalità di una superficie e la differenza di altitudine tra due punti.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

L'asse ottico del cannocchiale deve essere orizzontale quando la bolla della livella si trova tra i suoi segni. L'orizzontalità della livella si ottiene agendo sulle viti di livellamento e sulle viti poste sotto la piastra (Fig. 3.12).

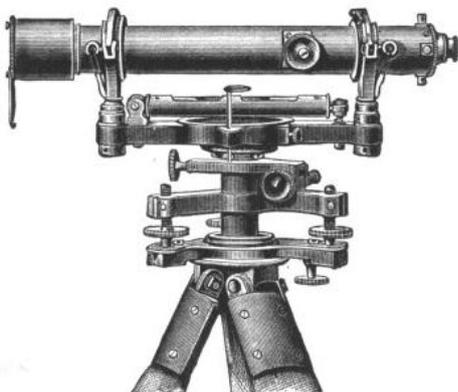


Figura 3.12: rappresentazione di un modello di livella a cannocchiale, tratta da un catalogo di Troughton & Simms del 1897, p. 2.

Determinazione del dislivello tra due punti della superficie terrestre

La livella a bolla d'aria è montata su un supporto portato da un manicotto verticale, il quale è perpendicolare ad una piastra circolare graduata. Una leva produce la rotazione del manicotto attorno al suo asse e guida un'alidada che attraversa il cerchio graduato.

Si distinguono quattro assi nello strumento: l'asse primario, corrispondente all'asse del manicotto, l'asse della livella, l'asse di mira (del cannocchiale) e l'asse meccanico, determinato dai collari di appoggio cannocchiale. Per garantire delle condizioni di buon funzionamento l'asse primario deve essere verticale, l'asse della livella orizzontale con la bolla centrata, l'asse di collimazione parallelo all'asse della livella.

Per determinare la differenza di quota tra coppie di punti sulla superficie terrestre, si ricorre al metodo di livellazione geometrica. La quota di un punto è definita come il segmento di linea di forza del campo gravitazionale passante per il punto e compreso tra esso e il geoide⁹. Tramite la lettura su un'asta graduata sopra la livella, detta stadia, si determina l'altitudine dei due punti di cui si vuole misurare il dislivello e se ne valuta la differenza.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il primo a unire un cannocchiale collimatore ad una livella a bolla fu Alain Malesson Mallet, nel 1702. Della livella a bolla si aveva già notizia dalla seconda metà del '600; si attribuisce l'invenzione al meccanico parigino J. Thévenot, che ne diede una descrizione nel 1666 sul "Journal des savants". Di fattura incerta e grosse dimensioni, acquistò una forma accettabile solo alla fine del '700, per opera di Antoine Chézy.

All'inizio dell'Ottocento l'ingegnere capo della scuola napoleonica di *ponts et Chaussées* Pierre Marie Thomas Egault costruì la vera livella a cannocchiale (Fig. 3.13, sinistra); se ne ha una descrizione datata 1806 in una sua memoria: *Description et usage d'un niveau à lunette et a bulle d'air qui donne toujours l'horizon*. L'ultima costruzione di successo nel settore dei livelli, fu il livello a cerchio di Etienne Lenoir (Fig. 3.13, destra).

⁹ "Superficie equipotenziale o di livello che limita la Terra, in ogni punto perpendicolare al filo di piombo, quale si otterrebbe prolungando idealmente la superficie libera dei mari al di sotto dei continenti. È la superficie di riferimento utilizzata nella determinazione del profilo altimetrico, rispetto al livello del mare, di una regione della superficie terrestre", in Enciclopedia della Matematica. Treccani.

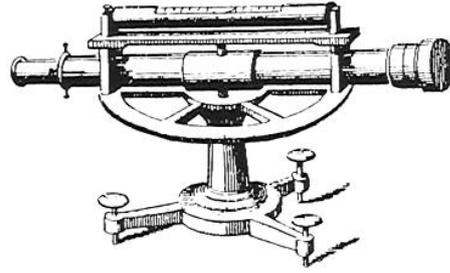
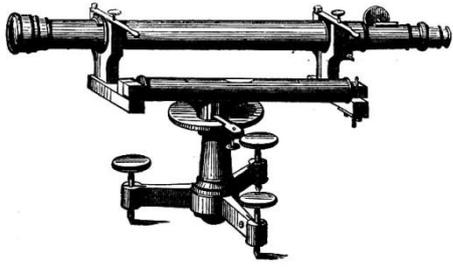


Figura 3.13: a sinistra, livella a cannocchiale di Egault, tratta dal *Catalogue explicatif et illustré des instruments de Géodésie, Mathématiques, Marine* di Charles Chevalier (1869), p. 14; a destra, livello a cerchio di Lenoir.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Pasquale Cittelli. Sullo strumento è inciso il nome del costruttore insieme a “Milano 1828”.

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: potrebbe esserci stato in origine un microscopio sul cerchio azimutale per la lettura diretta.

ALTRA: ci sono due livelle a bolla, una sotto e l'altra sopra al cannocchiale.

Sul Catalogo del 1865, è citato un “Piccolo livello a cannocchiale”. Nell’Inventario del 1870, nella sezione di *Meccanica e Forze Molecolari*, si legge “Livello a cannocchiale”.



Figura 3.14: incisione riportante le informazioni circa il nome del costruttore e il luogo e l'anno di fabbricazione.

POSSIBILI COLLEGAMENTI CON ALTRI STRUMENTI

Teodolite , cerchio ripetitore.

6. Teodoliti

CONCETTO

Lo strumento misura gli angoli azimutali e zenitali. Si compone di un cannocchiale, un'alidada e due cerchi graduati, uno orizzontale e uno verticale solidale all'asse di rotazione del cannocchiale. Le viti di livellamento del treppiedi e una livella a bolla sull'asse perpendicolare al cerchio verticale regolano l'orizzontalità del teodolite. Può esserci una bussola per l'orientazione.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Quando il cannocchiale viene puntato verso un determinato luogo, l'alidada rileva sul cerchio orizzontale l'angolo azimutale rispetto alla direzione del Nord magnetico, e sul cerchio verticale l'angolo zenitale. Le misure sui cerchi vengono lette tramite dei microscopi micrometri.



Figura 3.15: rappresentazione di un modello di teodolite, tratta da un Catalogo di Troughton & Simms del 1897, p. 6.

Triangolazione

Descritta per la prima volta dal matematico Gemma Frisius nel 1533, poi perfezionata nel 1617 dal geodeta olandese W. Snellius, la tecnica della triangolazione consentì di misurare la lunghezza di un arco meridiano e le coordinate dei punti posizionati sulla superficie terrestre.

La triangolazione si basa sul concetto geometrico che tre punti del terreno possono essere considerati i vertici di un triangolo di posizione da determinare. In ogni triangolo viene misurato da ciascun vertice l'angolo compreso tra le direzioni agli altri due, tramite il teodolite, e le misure di questi angoli azimutali devono soddisfare il teorema sulla somma degli angoli interni di un triangolo. Al fine di ridurre gli errori di misurazione, si ripete più volte la lettura della misura di ogni angolo sul cerchio graduato, applicando il metodo della reiterazione. Si prende poi la media delle letture ottenute.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il teodolite è uno strumento di ambito topografico, destinato a misurare gli angoli di posizione e le distanze dei luoghi. Un primo modello di teodolite “semplice”, con un solo cerchio orizzontale, fu proposto nel XVI secolo come nuovo metodo di rilevamento, per sostituire gran parte della misurazione lineare primitiva con funi e pali. Per applicare il metodo della triangolazione, ci si serviva dell’alidada e della scala dei gradi sul retro di un astrolabio, a cui sarebbe stata aggiunta una bussola magnetica per l’orientamento. Il teodolite di Leonard Digges, descritto per la prima volta nel 1571, emerse come strumento semplificato dell’astrolabio, con i soli componenti necessari per il rilevamento. Il cerchio verticale fu aggiunto in seguito da Jonathan e Jeremiah Sisson; i costruttori inglesi Thomas Heath e Benjamin Cole idearono un modello di teodolite con il cerchio verticale smontabile, detto teodolite altazimutale. Questo fu il modello che si diffuse nel XIX secolo.

Divennero noti in particolare tre tipi di teodolite: quello semplice, attribuito a Ramsden, costituito da una piastra orizzontale sulla quale due supporti ad A reggevano un asse orizzontale con un semicerchio verticale e sopra un cannocchiale. Il teodolite Everest aveva il telescopio montato al centro dell’asse orizzontale, come negli strumenti di transito degli astronomi. Nel teodolite di transito i supporti dell’asse verticale erano abbastanza alti da permettere al cannocchiale di muoversi e puntare in qualsiasi direzione.

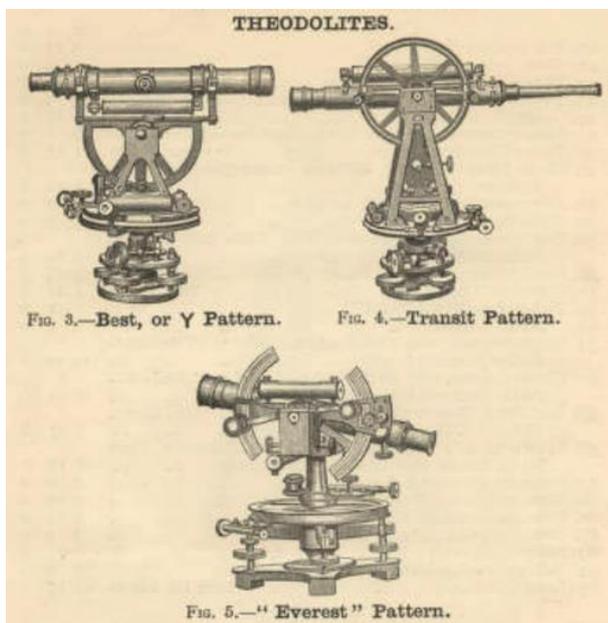


Figura 3.16: rappresentazione dei tre modelli di teodoliti, tratta dal *General Catalogue of Instruments made by Troughton & Simms* (1880), p. 6.

GLI STRUMENTI DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Ertel & Sohn, München

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: ---



COSTRUTTORE: Ertel & Sohn, München

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: ---



COSTRUTTORE: Brünnner, Paris

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: oculari sui cerchi graduati

::: ALTRO: ---



COSTRUTTORE: Brunner

NUMERO DI SERIE: 13

PEZZI MANCANTI: obiettivo del cannocchiale, oculari sui cerchi graduati

::: ALTRO: ---



COSTRUTTORE: Brunner

NUMERO DI SERIE: 24

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO



COSTRUTTORE: Brunner

NUMERO DI SERIE: 54

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: ---



COSTRUTTORE: Brüner

NUMERO DI SERIE: 31

PEZZI MANCANTI: cannocchiale, oculari sul cerchio orizzontale

::: ALTRO: ---

7. Cannocchiale per misure Poggendorff

CONCETTO

Si tratta di un apparato che consente di valutare piccoli spostamenti angolari dell'equipaggio mobile di uno strumento (bilancia, galvanometro, elettrometro, magnetometro) mediante il metodo Poggendorff.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

All'equipaggio mobile dello strumento è applicato uno specchietto piano solidale con esso. Tramite il cannocchiale e la scala vengono letti gli spostamenti angolari.

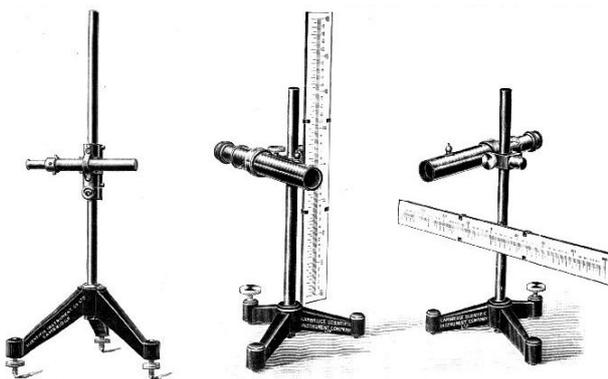


Figura 3.17: rappresentazione di un modello di cannocchiale e scala, tratta da un catalogo, *Physical Instruments* del 1906, pubblicata da The Cambridge Scientific Instruments Co, p. 8.

Uno specchietto verticale viene fissato all'equipaggio mobile dello strumento e osservato attraverso il cannocchiale dotato di reticolo. Perpendicolarmente all'asse del cannocchiale, sopra ad esso, viene sistemata la scala, fortemente illuminata. Lo strumento è opportunamente orientato, in modo che lo

zero della scala venga riflesso dallo specchietto. Il cannocchiale viene regolato in modo che l'osservatore veda a fuoco l'immagine della scala "proiettata" sullo specchio. Se il piano dello specchietto ruota di un certo angolo, i raggi riflessi da esso sulla scala hanno deviazione angolare doppia e l'osservatore può leggere sul reticolo il numero di divisioni di scala che, per piccoli angoli, è proporzionale all'angolo di rotazione dello specchietto. La lettura dello spostamento avviene con elevato ingrandimento; con un cannocchiale di 10 ingrandimenti posto a circa un metro di distanza, è possibile già valutare uno spostamento angolare dello specchietto di 10".

Misura dell'angolo di torsione di un filo

Uno specchietto viene fissato sul filo e su di esso viene fatto incidere perpendicolarmente un raggio di luce. Lo specchietto, solidale con il filo ruota di un certo angolo, mentre il raggio luminoso riflesso ruoterà di un angolo doppio. La scala viene illuminata e l'osservatore mette a fuoco lo zero che vede riflesso nello specchietto (la scala sarà incisa sullo specchio specularmente). Quando lo specchio ruota, il raggio riflesso si porta su un'altra tacca della scala graduata e dalla misura di questo spostamento si risale alla misura dell'angolo.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il metodo di lettura del cannocchiale e scala fu introdotto da J. C. Poggendorff nel 1826 per eseguire misure di piccoli spostamenti angolari dell'equipaggio mobile di strumenti quali magnetometri e galvanometri. Il metodo di Poggendorff venne ripreso e sviluppato in particolare da K. F. Gauss e da Kelvin; nel tempo si è trasformato in un metodo oggettivo di osservazione consentendo le letture contemporaneamente a più persone, con la sostituzione del cannocchiale con un sistema di proiezione.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Max Thomas Edelmann, München.

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: scala, specchio piano (che va posizionato sull'equipaggio mobile dello strumento sul quale va fatta la lettura).

::: ALTRO: ---



Figura 3.18: particolare dell'incisione con il nome del costruttore, *Edelmann München*.

POSSIBILI CONNESSIONI CON ALTRI STRUMENTI

Il cannocchiale poteva essere utilizzato su un *galvanometro*, un *elettrometro* o un *magnetometro*.

2.3 La Fisica Elettrica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica

Il settore di fisica elettrica racchiude l'elettrostatica, l'elettrodinamica e il magnetismo. Elettricità e magnetismo furono ambiti di studio e di ricerca separati fino alla fine del XVIII secolo; l'elettrostatica studiava essenzialmente i fenomeni relativi alle cariche elettriche stazionarie e alle loro interazioni, mentre il principale oggetto di indagine del magnetismo era il campo magnetico terrestre, la cui conoscenza era fondamentale per la navigazione. L'elettrostatica cominciò ad assumere una sistemazione teorica a partire dalla seconda metà del Seicento con la nascita dei primi generatori elettrostatici e della macchina a strofinio di Otto von Guericke. Benjamin Franklin sviluppò nel Settecento la teoria del fluido elettrico e inventò il parafulmini per dimostrare che anche i fulmini erano generati da correnti elettriche che scoccano tra cariche opposte originatesi per attrito tra l'atmosfera e la terra, o tra diversi strati di nubi. Nella seconda metà del XVIII secolo fu introdotta da Musschenbroek la bottiglia di Leida (Appendice B, righe 120-121), che venne utilizzata per condurre molti tra i primi esperimenti sull'elettricità e permise di osservare i fenomeni relativi alle scintille e alle scariche elettriche. Si diffusero poi gli elettroscopi a foglie d'oro (Appendice B, riga 116), il cui funzionamento si basava sulla fondamentale proprietà di repulsione di cariche elettriche dello stesso segno.

Alcuni strumenti di elettrostatica divennero protagonisti delle serate scientifiche di fine Settecento, di moda tra le classi sociali più agiate: venivano eseguite esperienze spettacolari, ad esempio incendiando liquidi infiammabili con le scariche delle macchine elettrostatiche e delle

bottiglie di Leida, o mostrati trucchi basati su fenomeni elettrostatici, come il noto “bacio elettrico di Venere”, per impressionare gli astanti e rendere popolari le scoperte scientifiche.

Luigi Galvani sperimentò l’azione della corrente elettrica su una zampa di rana ed osservò che essa si contraeva al passaggio delle corrente: suppose che nei corpi esistesse un fluido elettrico “galvanico” e che i tessuti animali fossero fonte di elettricità. Nacque la disputa con Alessandro Volta, il quale riteneva che le contrazioni fossero causate da una differenza di potenziale elettrico estrinseca al corpo animale, originata dal contatto tra i metalli diversi dei fili con cui Galvani collegava la zampa della rana per tenerla distesa. Volta trovò una conferma della sua teoria nella pila elettrica (Appendice B, riga 105), che inventò nel 1800.

Humphry Davy vide nella pila un potente strumento per gli studi chimici e la utilizzò per separare dei composti isolando i costituenti elementari, attraverso il processo di elettrolisi. Charles Augustine Coulomb diede un fondamento matematico all’elettrostatica studiando le leggi dell’attrito e misurando con precisione l’azione delle forze elettrostatiche tramite una bilancia elettrica e una bilancia magnetica di torsione. L’osservazione di Hans Christian Oersted nel 1820 circa la deviazione di un ago magnetico per opera di un filo percorso da corrente, evidenziò per la prima volta il legame tra elettricità e magnetismo.

Dopo l’invenzione della pila voltiana e le scoperte in campo elettrodinamico furono ideati il galvanometro, per la misura delle correnti deboli, e l’elettrodinamometro (Appendice B, riga 143), in cui una bobina mobile viene deviata dal campo di una seconda bobina fissa, collegata ad essa in serie. Questi strumenti permettevano di eseguire solo misure relative, riconducibili cioè a correnti di riferimento, mentre l’introduzione della bussola dei seni e delle tangenti consentì di effettuare misure assolute.

Michael Faraday, successore di Davy presso la Royal Institution, scoprì il fenomeno dell’induzione elettromagnetica, per cui un magnete in movimento genera corrente in un circuito vicino ad esso e un circuito percorso da corrente variabile genera una corrente indotta in un circuito adiacente. André Marie Ampère studiò le azioni meccaniche tra correnti utilizzando uno specifico apparato – banco di Ampère - ed elaborò una teoria matematica per spiegare i fenomeni elettromagnetici conosciuti. L’apparato di Ampère, di cui la collezione del Dipartimento di Fisica di Bologna possiede un esemplare (Appendice B, riga 146), si diffuse come strumento dimostrativo per ripetere le esperienze sulle azioni fra conduttori mobili percorsi da correnti e sul loro comportamento in presenza di un campo magnetico.

George Ohm riorganizzò sistematicamente l'insieme di conoscenze dei fenomeni elettromagnetici trovando una relazione tra corrente elettrica, tensione e resistenza.

Sfruttando il fatto che una corrente elettrica genera un campo magnetico, si costruirono i primi elettromagneti. Joseph Henry li perfezionò isolando i fili conduttori e avvolgendoli in bobine; inventò un dispositivo che al passaggio della corrente elettrica in un avvolgimento, faceva aprire o chiudere l'interruttore di un altro circuito. Utilizzata inizialmente per la costruzione di campanelli elettrici, la scoperta fu la premessa necessaria per lo sviluppo dei motori elettrici e del telegrafo, realizzato da Samuel Morse e Charles Wheatstone.

Nella seconda metà dell'Ottocento furono introdotti gli elettrometri a quadrante per le misure di precisione delle tensioni: le cariche accumulate su piastre metalliche fisse interagiscono con quelle di piastre mobili sospese che vengono così deviate. Vennero costruiti molti modelli di galvanometro, elettrodinamometro ed elettrometro, con variazioni in funzione delle correnti o delle tensioni da misurare. Tra i più noti costruttori di strumenti di precisione di questo periodo si ricorda Heinrich Ruhmkorff.

Furono inoltre ideati dei nuovi generatori, come la macchina a induzione di Holtz, che poteva produrre tensioni dell'ordine delle centinaia di migliaia di volt, basati sul fenomeno dell'induzione elettrostatica e più potenti delle macchine a strofinio. Venivano usati nei laboratori per produrre potenti scariche e impiegati per l'elettroterapia.

Verso il 1860 James C. Maxwell postulò l'esistenza di onde elettromagnetiche, che furono poi osservate sperimentalmente da Heinrich Hertz negli anni '80. Nikola Tesla dimostrò con spettacolari esperienze i fenomeni relativi alle correnti alternate e alle oscillazioni elettriche ad alta frequenza, le cui ricerche furono alla base della telegrafia senza fili.

Negli ultimi decenni del XIX secolo, i motori a corrente continua più efficaci e l'introduzione di macchine a corrente alternata portarono a un rapido sviluppo dell'industria elettrotecnica e ad una più ampia applicazione dell'elettricità negli apparecchi a orologeria, i sistemi di segnalazione ferroviaria e le lampade ad arco dei fari costieri. Nacquero le prime centrali elettriche e, verso il 1880 si iniziò ad utilizzare l'elettricità anche per l'illuminazione. Furono ideati amperometri, voltmetri e wattmetri per rispondere alle necessità di avere a disposizione strumenti capaci di resistere alle condizioni ambientali di fabbriche e officine.

SCHEDE

8. Apparecchio per le correnti di Foucault

CONCETTO

L'apparecchio mostra i fenomeni relativi alle correnti parassite. Un disco solido di rame ruota tra le espansioni polari di due grossi elettromagneti grazie ad un sistema di ingranaggi azionati da una manovella. Una leva mobile, inserita da un'estremità in uno dei serrafili in cui arrivano i terminali degli elettromagneti, funge da interruttore.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Quando l'interruttore è acceso, le correnti indotte nel disco dal campo magnetico interagiscono con il campo stesso facendo arrestare la rotazione del disco. Mantenere la rotazione in presenza del campo richiede una forza maggiore e il disco si scalda rapidamente.

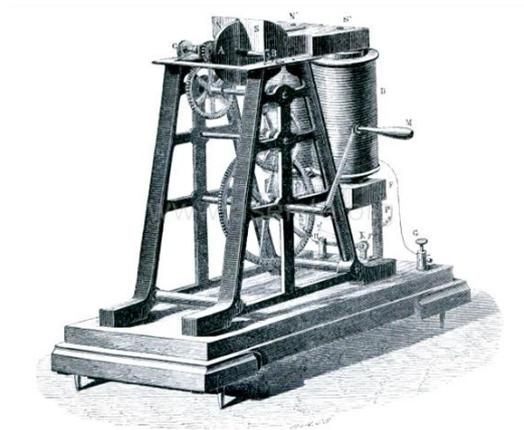


Figura 3.19: rappresentazione di un modello dell'apparecchio per le correnti di Foucault, tratta dal catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement.

Dimostrazione della generazione di correnti di Foucault in presenza di campo magnetico

Il disco di rame può ruotare molto velocemente quando l'elettromagnete non è eccitato, poiché deve vincere solamente gli attriti degli assi e la resistenza dell'aria, senza dover compiere molto lavoro. Il passaggio della corrente genera un campo magnetico disomogeneo che induce delle correnti cosiddette di eddy o parassite; queste interagiscono con il campo stesso generando una forza che si oppone al moto del disco e il lavoro meccanico per mantenerlo in rotazione sarà molto maggiore rispetto all'inizio.

Verifica della legge di Lenz

La legge stabilisce che la variazione temporale del flusso del campo magnetico genera nel circuito una forza elettromotrice che contrasta la variazione.

È fondamentale che il disco sia solo parzialmente contenuto nelle espansioni dell'elettromagnete poiché, se il disco ruotasse in un campo magnetico uniforme non si avrebbero correnti ma soltanto una differenza di potenziale tra il centro e la circonferenza del disco. Nell'apparato il disco è disposto in modo che durante la rotazione una parte di esso si avvicini all'asse delle espansioni polari venendo attraversata da un flusso di campo magnetico che va aumentando, mentre un'altra parte del disco si allontana dalla regione centrale, dove il flusso di campo magnetico è massimo. Per la legge di Lenz nelle due parti si generano correnti indotte che impediscono la variazione di flusso; queste correnti percorrono nel disco di rame dei circuiti chiusi.

Verifica del riscaldamento del disco

Una termopila collegata a un galvanometro segnala il riscaldamento del disco quando, in presenza del campo magnetico, si spende lavoro meccanico per mantenere la rotazione. Si deduce che l'energia cinetica di rotazione è stata dissipata sotto forma di energia termica.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Lo strumento fu proposto nel 1855 dal fisico francese Léon Foucault per evidenziare i fenomeni relativi alle correnti indotte in un conduttore in moto in un campo magnetico e alla trasformazione in calore di parte del lavoro impiegato per tenerlo in movimento. Foucault descrisse il suo apparecchio nell'articolo "De la chaleur produite par l'influence de l'aimant sur les corps en mouvement".

La scoperta dell'influenza del magnete sul disco metallico si deve a Francois Arago, che nel 1825 verificò l'esistenza di un'azione reciproca tra un disco di rame che ruota vicino a un magnete e il magnete stesso, che viene trascinato nel senso di rotazione del disco. Nel 1831 M. Faraday comunicò la scoperta del fenomeno dell'induzione magnetica alla Royal Society; l'anno seguente L. Nobili e V. Antinori pubblicarono un lavoro con osservazioni e descrizioni di nuovi esperimenti relativi al fenomeno dell'induzione. Nel 1853 Matteucci approfondì lo studio sugli stessi fenomeni facendo ruotare un disco metallico sopra un potente elettromagnete, che faceva spostare in modo da presentare i poli in differenti posizioni; collegato l'apparato con un galvanometro studiò le correnti sviluppate per induzione.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DIFA



COSTRUTTORE: H. D. Ruhmkorff, Paris

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

:::: ALTRO: lo strumento è presente nel Inventario del 1870, nella sezione di elettrodinamica.

POSSIBILI COLLEGAMENTI CON ALTRI STRUMENTI

Le correnti di Foucault sono utilizzate in vari dispositivi per ammortizzare il movimento della loro parte mobile. Nel *galvanometro* e *magnetometro di Weber* ad esempio, il tubo di rame ha proprio questa funzione, dal momento che in esso si generano delle correnti parassite.

9. Bussola dei seni e delle tangenti

CONCETTO

La bussola dei seni e delle tangenti consente di determinare l'intensità della corrente elettrica. Una bobina è avvolta attorno a un telaio verticale circolare di ottone, il cui angolo di rotazione è misurato da una scala graduata. Al suo interno una colonna sostiene una scatola cilindrica recante la bussola con ago magnetico appeso al centro.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

La corrente scorre all'interno della bobina, allineata nella direzione del campo magnetico terrestre indicata dall'ago. Il valore dell'intensità di corrente si deduce per proporzionalità con il seno o con la tangente dell'angolo di deviazione subita dall'ago magnetico.

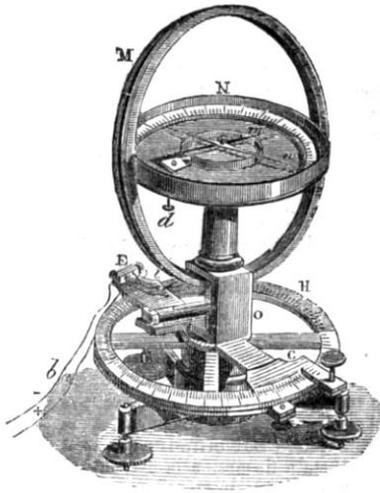


Figura 3.20: rappresentazione del modello originale della bussola dei seni, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia* di Adolphe Ganot, p. 826.

L'apparecchio può essere utilizzato in due modi. In entrambi i casi, prima di fare circolare la corrente occorre ruotare il telaio della bobina e disporlo in modo che sia contenuto nel piano del meridiano magnetico indicato dalla posizione dell'ago. Chiudendo il circuito l'ago è immerso anche nel campo magnetico aggiuntivo generato dal passaggio di corrente, perpendicolare al campo magnetico terrestre, e devia sotto l'azione simultanea dei due campi per poi stabilizzarsi lungo la direzione del campo risultante.

Nel primo caso il circuito viene collegato ai serratili della bussola e si osserva l'ago deviare in una determinata direzione, a seconda della direzione del flusso di corrente. Quando è stabilizzato, si riporta il telaio a coincidere con l'asse dell'ago magnetico; si deduce quindi il valore dell'intensità di corrente per proporzionalità: l'intensità è infatti proporzionale al seno dell'angolo di rotazione della bobina, che può essere letto sulla scala inferiore tramite nonio.

Per dimostrare che l'intensità di corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione, sia mm' (Fig. 3.21) la direzione dell'ago magnetico, d l'angolo di deviazione, I l'intensità di corrente e T la forza direttrice della Terra. Rappresentando con ak la direzione e l'intensità di quest'ultima forza, si possono sostituire ad essa le due componenti ah e ac . Ora, siccome la prima non ha alcuna azione direttrice sull'ago, la sola componente ac fa equilibrio alla forza I ; bisogna dunque che sia $I = ac$. Ma il triangolo rettangolo ack dà $ac = ak \cos(cak)$, ovvero $ac = T \sin(d)$, perché l'angolo cak è complemento dell'angolo d , e ak è uguale a T . dunque si ha $I = T \sin(d)$, come dovevasi dimostrare¹⁰.

¹⁰ Ganot, A., *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, p. 826-828.

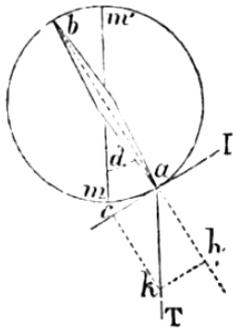


Figura 3.21: schema della bussola, tratto dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia* di Adolphe Ganot, p. 827.

Nel secondo caso la bussola opera come un galvanometro; si collega il circuito alla bussola e si prende nota del verso di rotazione dell'ago e del valore dell'angolo di deviazione per cui esso è stabilizzato. Si deduce quindi il valore dell'intensità di corrente per proporzionalità con la tangente dell'angolo di deviazione subita dall'ago.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

La bussola dei seni e delle tangenti fu il primo strumento a consentire la misurazione dell'intensità di corrente. La prima descrizione di questo strumento risale al 1837 da parte del suo ideatore, il fisico francese Claude S.M. Pouillet, anche se il principio su cui si basa era già noto dal 1824 per merito di Auguste de la Rive. Successivamente la bussola venne perfezionata dal costruttore Heinrich D. Ruhmkorff.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DIFA



COSTRUTTORE: H. D. Ruhmkorff, Parigi

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: nel Catalogo del 1865, si legge "Bussola dei Seni".

10. Galvanometri di Nobili

Galvanometro astatico di Nobili

CONCETTO

Lo strumento rileva il passaggio di corrente e ne determina intensità e direzione. Si compone di una coppia di aghi astatici, quello inferiore all'interno di un moltiplicatore Schweigger, l'altro sopra al telaio per fare da indice al cerchio graduato. La direzione di magnetizzazione opposta degli aghi minimizza l'azione magnetica terrestre sul galvanometro. Una campana di vetro racchiude lo strumento.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Il passaggio della corrente fa ruotare l'ago per effetto del momento della forza magnetica; il valore dell'angolo di deflessione viene letto sul cerchio graduato e trasformato in valori di corrente elettrica tramite una tabella di comparazione.

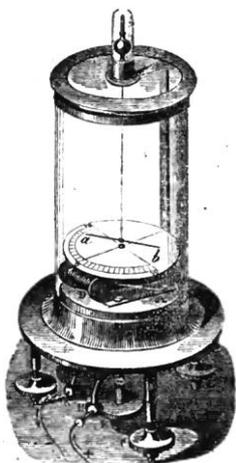


Figura 3.22: rappresentazione di un modello di galvanometro astatico, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 717.

Metodo di graduazione del galvanometro

Per conoscere l'intensità delle correnti rilevate bisogna costruire delle tavole per mezzo delle quali sia possibile dedurre l'intensità dalla deviazione dell'ago. Il metodo più semplice per formare queste tavole è quello del moltiplicatore a due fili: si avvolgono simultaneamente sul telaio dell'apparato due fili di rame ricoperti di seta di uguali lunghezza e diametro. Prendendo una sorgente costante di elettricità dinamica, ma molto debole, si fa passare la corrente in uno dei due fili e si ottiene una deviazione, ad esempio di 5° . Per mezzo di una sorgente identica alla prima, si fa poi passare nello stesso tempo in ciascun filo una corrente di uguale intensità, ottenendo una deviazione di 10° . Questa deviazione è dovuta all'azione simultanea delle due correnti.

Facendo passare quindi in uno dei due fili la corrente capace da sola di produrre una deviazione di 10° , e nell'altro una delle correnti che ha prodotto una deviazione di 5° , si ottiene una deviazione di 15° . Facendo passare infine in ciascuno dei due fili una corrente che dia una deviazione di 10° , se ne ottiene una di 20. Dunque, fino a 20° le deviazioni sono proporzionali all'intensità di corrente.

Oltre questo limite crescono in un rapporto minore, ma con il medesimo processo si continuano a determinare le deviazioni corrispondenti ad intensità conosciute, poi si compila la tavola con il metodo delle interpolazioni. Ogni galvanometro ha una propria tavola poiché la relazione tra l'intensità di corrente e la deviazione dell'ago varia con il grado di magnetizzazione di quest'ultimo, con la sua distanza dalla corrente e con l'estensione del circuito¹¹.

Verifica della presenza di elettricità nelle combinazioni chimiche

Nell'Ottocento Becquerel poté verificare tramite il galvanometro che in tutte le combinazioni chimiche avviene svolgimento di elettricità, e determinare le leggi che presiedono a queste combinazioni.

Se si fissano alle estremità del circuito del galvanometro due fili di platino, e si immergono in una capsula piena di acido *azotico*, non si osserva alcuna deviazione dell'ago; ciò si può prevedere, atteso che il platino non è attaccato dall'acido azotico. Gli acidi azotico e cloridrico, per la loro mutua reazione, producono acqua regia, la quale attacca il platino. Versando una goccia di acido cloridrico nella capsula in cui sono immersi i fili, si osserva l'ago del galvanometro deviare, il che mostra la presenza di una corrente che attraversa il circuito. Si riconosce inoltre, dal verso della deviazione, che il platino è elettrizzato negativamente e l'acido positivamente¹².

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il galvanometro di Nobili, del tipo a magnete mobile, riunisce in sé le seguenti invenzioni:

- 1) moltiplicatore di Schweigger, apparecchio immaginato in Germania da Johann Schweigger poco dopo la scoperta di Oersted e costituito da una bobina di filo isolato avvolto su un rocchetto o un telaio;
- 2) aghi astatici, una coppia di aghi paralleli collegati rigidamente tra loro, con i poli omonimi da parti opposte; il sistema fu proposto da André-Marie Ampère nel 1820. Una coppia di aghi astatici è conservata nella collezione DIFA.

¹¹ Ganot, A., *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, p. 715-720.

¹² Ibidem.



Figura 3.23: coppia di aghi astatici della Collezione di Fisica di Bologna.

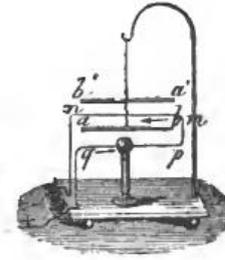


Figura 3.24: rappresentazione di un sistema astatico di due aghi sospeso ad un filo e cinto da un filo di rame in modo da formarvi attorno un circuito, nel verso della sua lunghezza. Dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 715.

A realizzare questo tipo di galvanometro, in particolare introducendo il sistema di aghi astatici per ridurre l'azione orientatrice del campo magnetico terrestre, fu nel 1825 Leopoldo Nobili, allora professore di Fisica presso la Specola di Firenze. Il fisico applicò lo strumento allo studio delle correnti proprie della rana, nel 1827; dopo di lui Carlo Matteucci compì una serie di studi che lo portarono a mettere in luce i fenomeni elettrici che avvengono nei tessuti e negli organi degli animali. Questo segnò la nascita dell'elettrofisiologia.

Il galvanometro di Nobili era considerato nell'Ottocento uno degli strumenti più preziosi della fisica, grazie alla somma sensibilità; serviva a constatare la presenza delle correnti più deboli e a conoscerne la direzione e l'intensità.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DIFA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: campana di vetro

:::: ALTRO: un galvanometro è presente nel Catalogo del 1835, nella sezione di *Elettro-magnetismo*: "Galvanometro comparabile del Nobili con pile termo-elettriche convenienti". La stessa dicitura si ritrova nel Catalogo del 1865.

Rilevazione di correnti di diverso genere

Quando il galvanometro deve osservare delle correnti dovute ad azioni chimiche, il filo del circuito deve essere di piccolo diametro, e deve fare un numero elevato di giri, almeno da 600 a 800; il

numero dei giri può arrivare anche a 3000 e, in alcuni casi fino a 30000. Per le correnti termoelettriche il filo deve essere invece più spesso e fare un numero di giri molto minore, 200 o 300. Per correnti intense si adoperano galvanometri ad un solo ago e il filo può fare anche un solo giro¹³.

Galvanometro verticale di Nobili

CONCETTO

Il galvanometro verticale viene utilizzato per gli stessi scopi del galvanometro astatico precedente, ma ha una struttura differente. L'asse che regge gli aghi verticali astatici è sostenuta da due aste di ottone inclinate a "V"; uno dei due aghi è posto all'interno di una bobina verticale, formata da spire di filo isolato con seta. La scala è incisa su un anello di ottone graduato in quattro quadranti.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Il passaggio della corrente fa ruotare l'ago per effetto del momento della forza magnetica; il valore dell'angolo di deflessione viene letto sul cerchio graduato tramite l'ago esterno, che funge da indicatore.

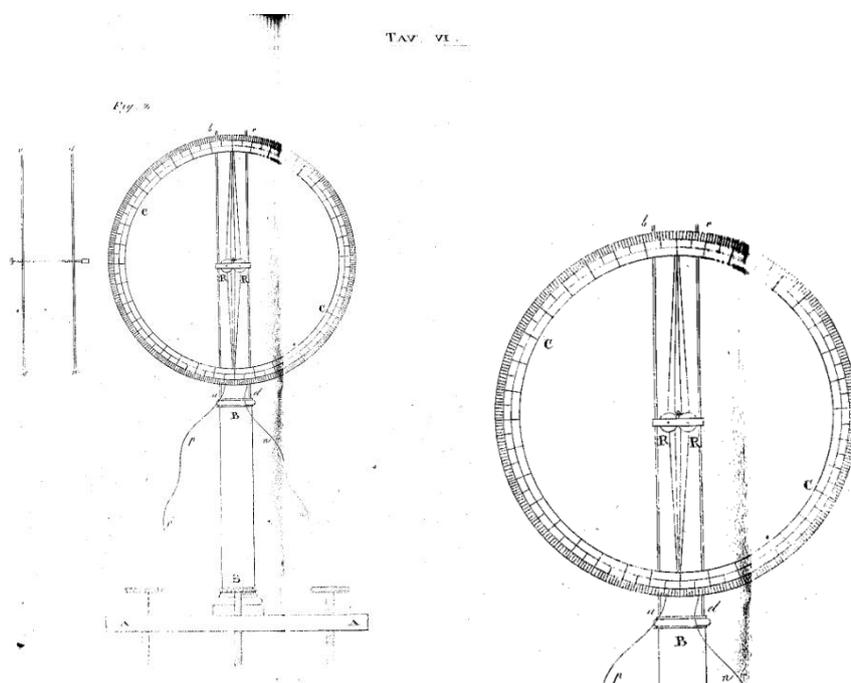


Figura 3.25: rappresentazione del modello originale del galvanometro verticale di Nobili, tratta dal secondo volume delle *Memorie ed osservazioni edite ed inedite del Cavaliere Leopoldo Nobili colla descrizione ed analisi de' suoi apparati ed istrumenti*. Biblioteca storica di Fisica e Astronomia "Guido Horn D'Arturo" di Bologna, con sede in via Irnerio 46.

¹³ Ganot, A., *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, p. 715-720.

Le dimensioni di questo strumento sono molto grandi in confronto a quelle che convengono per un galvanometro molto sensibile: il diametro del cerchio graduato misura 390 mm. Il galvanometro verticale veniva pertanto utilizzato a scopo didattico.

Dalle *Memorie ed osservazioni edite ed inedite del Cavaliere Leopoldo Nobili colla descrizione ed analisi de' suoi apparati ed istrumenti* (Vol. II):

“I suoi aghi magnetici sono lunghi 11 pollici; il resto in proporzione per servire alle dimostrazioni d'un corso: i suoi movimenti si veggono così da tutti i punti d'una sala. È questo il suo scopo principale, che si ottiene completamente negli esperimenti i più comuni dove si può disporre di correnti d'una certa energia”.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il galvanometro verticale è il tipo più insolito di galvanometro astatico di Leopoldo Nobili. Risulta descritto nel secondo volume delle *Memorie* del 1834, di cui sopra; a differenza dello strumento della Collezione di Fisica, il modello originale includeva delle rotelle anti-frizione per sostenere l'asse del sistema astatico. Fu ideato esclusivamente per le dimostrazioni didattiche che avvenivano durante le lezioni di fisica sperimentale, che Nobili teneva a Firenze. L'invenzione del supporto con rotelle anti-frizione è attribuita all'orologiaio inglese Henry Sully e venne spesso applicata in strumenti particolarmente delicati, in cui era necessario ridurre al minimo l'attrito.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DIFA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: base in legno munita di viti calanti.

::: ALTRO: nel Catalogo del 1865, si legge “Grande galvanometro verticale”.

2.4 La Pneumatica e l'Idrostatica ottocentesche e gli apparati della Collezione di Fisica

La pneumatica si definì come disciplina scientifica nel XVII secolo quando, dimostrata l'esistenza del vuoto in particolare grazie all'esperimento di Evangelista Torricelli nel 1644, fu inventato il barometro e vennero realizzate delle pompe pneumatiche. Le tecniche del vuoto

divennero di grande importanza sia per la ricerca scientifica che per gli sviluppi in ambito industriale. La prima rudimentale pompa pneumatica fu proposta attorno al 1650 da Otto von Guericke, che dimostrò nell'esperienza degli emisferi di Magdeburgo che due emisferi di ottone uniti, in cui veniva fatto il vuoto, non potevano essere separati nemmeno sfruttando la forza di due schiere di cavalli trainanti in direzioni opposte. In seguito diversi scienziati proposero e perfezionarono nuovi tipi di pompe a vuoto: tra questi Robert Boyle, Robert Hooke e Francis Hauksbee. Gli strumenti, dotati di uno o due cilindri azionati da un manubrio, una staffa o un sistema di ruote dentate e cremagliera, divennero tra i più importanti dei Gabinetti di fisica.



Figura 3.26: *Esperimento su un uccello nella pompa pneumatica*, Joseph Wright of Derby.

Nel Settecento si moltiplicarono le dimostrazioni e osservazioni sulla pressione atmosferica e sui suoi effetti; le pompe a vuoto più comuni erano quelle a due cilindri, che rimasero in uso anche nell'Ottocento, continuando ad essere perfezionate. Nel XIX secolo si diffusero nei laboratori gli aspiratori ad acqua e piccole pompe a compressione, per produrre vuoti poco spinti.

Nel 1850 vennero introdotte da Johann H. W. Geissler le pompe pneumatiche a mercurio, in cui il vuoto era ottenuto in modo analogo all'esperimento originale di Torricelli, mediante il ripetuto abbassarsi e alzarsi di una colonna di mercurio. Nel modello di Sprengel il gas da evacuare era invece intrappolato fra le goccioline di mercurio che cadevano lentamente in un tubo sottile. Anche se fragili e lente nel funzionamento, le pompe a mercurio erano capaci di ottenere vuoti più spinti di quelli ottenuti con le pompe a pistoncini, e furono utilizzate per lo studio controllato delle scariche elettriche nei gas rarefatti, le prime lampadine a incandescenza e i tubi a raggi X.

Nella seconda metà del Settecento furono introdotti i densimetri (Appendice B, riga 153), dei galleggianti che permettono di determinare il peso specifico del liquido nel quale sono immersi sfruttando la spinta di Archimede. I densimetri, strumenti caratteristici dell'idrostatica, trovarono

nell'Ottocento vastissima applicazione nelle industrie e nelle manifatture, per pesare acidi, soluzioni saline e liquori alcoolici.

SCHEDE

11. Acciarino pneumatico

CONCETTO

L'acciarino pneumatico sfrutta la compressione adiabatica di un gas per accendere un'esca infiammabile. È composto da un tubo di vetro nel quale scorre uno stantuffo di cuoio alla cui estremità è posta l'esca.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Abbassando rapidamente lo stantuffo verso il fondo del tubo pieno d'aria, questa, per la compressione cui è sottoposta si riscalda al punto da accendere l'esca, che si vede bruciare ritirando lo stantuffo (Fig. 3.27).

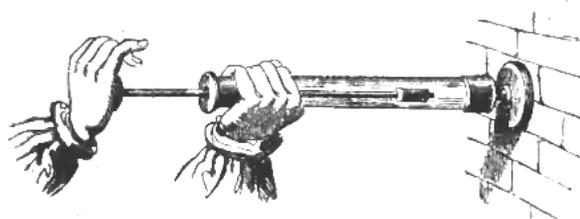


Figura 3.27: rappresentazione di un modello di acciarino o "schizzetto" pneumatico, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 395.

Accensione di un fuoco

Il modello di acciarino per uso domestico (Fig. 3.28) è costituito da un cilindro in metallo in cui viene fatto scorrere un pistone con un'esca inserita sul fondo. L'esca può essere composta da una porzione essiccata e appositamente preparata di un fungo, *Fomes fomentarius*; in alternativa è possibile utilizzare un batuffolo di ovatta imbevuto di un liquido facilmente infiammabile. Il pistone viene spinto rapidamente all'interno del cilindro per accendere l'esca, poi estratto rapidamente per usarla incandescente.



Figura 3.28: acciarino pneumatico per uso domestico, conservato tra gli strumenti della Collezione di Fisica di Bologna.

Dimostrazione della conversione di lavoro meccanico in calore

Rispetto al modello per uso comune, l'acciarino pneumatico da dimostrazione, usato per fini didattici è più grande. Le dimensioni e lo spessore del vetro del tubo, per resistere alla pressione, permettono di mostrare il fenomeno di accensione anche a una certa distanza ed è così possibile mostrare in modo spettacolare la trasformazione di lavoro meccanico in calore tramite compressione adiabatica.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

L'acciarino pneumatico venne utilizzato in Europa dall'inizio dell'Ottocento fino all'invenzione di fiammiferi efficaci, attorno agli anni '20 del XIX secolo, come dispositivo per produrre fuoco e accendere sigari, candele e lampade. Alcuni ritrovamenti nel Sud Est asiatico fanno pensare che in altre parti del mondo questo strumento fosse utilizzato anche a partire da epoche precedenti.

La conoscenza in Europa del fenomeno che regola il funzionamento di questo strumento si deve al fisico Joseph Mollet. Nel 1802 Mollet riportò infatti presso l'Accademia di Lione un'osservazione accidentale fatta da un operaio della manifattura di Saint Etienne, dove si costruivano fucili ad aria compressa: un brandello di lino rimasto incastrato nella canna del fucile, in seguito allo sparo, aveva preso fuoco. Ciò generò diversi dibattiti all'interno della comunità scientifica, che si interessava allo studio del comportamento e delle proprietà fisiche dei gas. Si comprese che l'accensione dell'esca era da attribuirsi alla compressione adiabatica dell'aria, dunque che il lavoro compiuto dall'esterno per comprimere un gas fa aumentare in maniera elevata la sua energia interna e quindi la sua temperatura.

All'istante della compressione nell'acciarino, si produce una luce piuttosto viva che inizialmente si attribuì all'alta temperatura alla quale l'aria è portata; si comprese poi che era dovuta unicamente alla combustione di una piccola parte dell'olio di cui è spalmata la superficie dello stantuffo.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DIFA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: nel Catalogo del 1865 si legge “tre acciarini ossia briquet ad aria compressa”.

12. Piezometro di Oersted

CONCETTO

Lo strumento misura la compressibilità dei liquidi. Un cilindro di vetro su base di ottone è sormontato da un coperchio - anch'esso in ottone - dotato di uno stantuffo a tenuta d'aria (P in Fig. 3.29) e, lateralmente, di un imbuto (R). Il piezometro, dentro al cilindro, consiste di un'ampolla di vetro A congiunta ad un capillare e collegata a un termometro e a un manometro ad aria compressa (B). Sul fondo del cilindro vi è un bagno di mercurio.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Il cilindro va riempito d'acqua; variando la pressione dell'acqua tramite lo stantuffo, il mercurio sale nei capillari O e B comprimendo l'aria nel manometro e il liquido in esame nell'ampolla. Dalle variazioni di volume si risale alle variazioni di pressione del liquido.

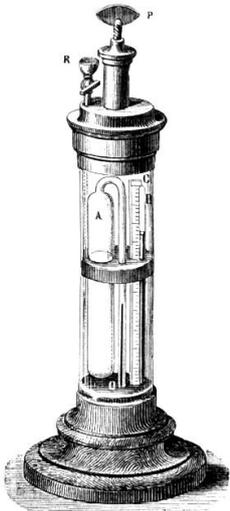


Figura 3.29: rappresentazione di un modello di piezometro di Oersted, tratta dal catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement.

Determinazione del coefficiente di compressibilità

L'ampolla A viene riempita con un certo volume V del liquido da analizzare poi, mediante l'imbuto R si riempie d'acqua il cilindro. Se non si esercita alcuna pressione sull'acqua che riempie il cilindro, il tubo capillare B è completamente pieno d'aria. Se invece mediante la vite P che muove lo stantuffo si comprime l'acqua del cilindro, la pressione si trasmette al mercurio, che si innalza nel manometro B comprimendo l'aria e nel capillare di A comprimendo il liquido. L'innalzamento del mercurio indica che il liquido nell'ampolla e l'aria nel capillare B sono diminuiti di volume. Dopo aver atteso che la temperatura ritorni al suo valore iniziale, si leggono rispettivamente la diminuzione di volume ΔV e l'aumento di pressione ΔP . Si calcola quindi il coefficiente di compressibilità K del liquido con la formula seguente: $K = |\Delta V| / (V \Delta P)$.

L'esperienza dimostra che appena l'eccesso di pressione cessa, il liquido torna esattamente al suo volume iniziale; si conclude che i liquidi sono perfettamente elastici.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Lo strumento fu messo a punto dal fisico e chimico danese Hans Christian Oersted nel 1823. Un primo modello di piezometro adatto allo studio della compressibilità dei liquidi era stato ideato precedentemente da Felice Fontana, uno dei fisici che nel Settecento si dedicarono allo studio della compressibilità dei gas.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Hippolyte Pixii. La targa sul retro della piastra metallica interna allo strumento riporta "Pixii, neveu et successeur de Dumotiez rue du Jardinot N°2 Paris".

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

ALTRA: lo strumento è una donazione del Seminario Arcivescovile di Bologna.

Un "piezometro di Oersted" è citato nel Inventario del 1870, nella sezione *Capillarità, Aerostatica, Idrostatica e Idrodinamica*.



Figura 3.30: a sinistra, particolare dell'interno del piezometro con l'ampolla di vetro, il manometro e il termometro; a destra, targa sul retro della piastra metallica.

13. Stalagmometro di Traube

CONCETTO

Lo stalagmometro consente di effettuare misurazioni relative di tensione superficiale di un liquido. È costituito da una pipetta terminante con un tubo capillare.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Il liquido in esame, introdotto nella pipetta, viene fatto sgocciolare e si conta il numero di gocce cadute. Lo stesso processo viene eseguito per un uguale volume di un liquido di riferimento. Il rapporto tra le tensioni superficiali dei due liquidi si trova in funzione delle rispettive densità e del numero di gocce cadute.



Figura 3.31: rappresentazione di un modello di stalagmometro di Traube. L'immagine è tratta dagli *Annali di chimica e farmacologia* (1895 mar, Volume 21, Fascicolo 3).

Misurazioni relative di tensione superficiale

Siano n_1 il numero di gocce cadute del liquido in esame e n_2 il numero di gocce cadute del liquido di riferimento. La tensione superficiale γ_1 del primo liquido risulta essere uguale a:

$$\gamma_1 = \gamma_2 \rho_1 n_2 / (\rho_2 n_1),$$

dove γ_2 è la tensione superficiale del liquido di riferimento, ρ_1 e ρ_2 sono le rispettive densità.

Metodo stalagmometrico

Si riempie lo stalagmometro con il liquido in esame accuratamente filtrato, e si determina il peso di un numero definito di gocce, ovvero, nota la densità del liquido si determina il volume delle gocce che si formano mentre un dato volume del liquido fluisce da una tacca all'altra dello stalagmometro. Come liquido di riferimento si può utilizzare il benzene, la cui tensione superficiale a diverse temperature ha i seguenti valori:

- 30,22 dyn/cm a 10°C;

- 28,85 dyn/cm a 20°C;
- 27,56 dyn/cm a 30°C.

Il risultato si esprime come tensione superficiale in contatto con l'aria, indicando la temperatura alla quale è stato eseguito l'esperimento¹⁴.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Lo stalagmometro, o contagocce, fu ideato dal fisico e fisiologo Moritz Traube per determinare il fuselolo¹⁵ negli spiriti commerciali.

Dagli *Annali di chimica e farmacologia* (1895 mar, Volume 21, Fascicolo 3)

L'apparecchio è formato da un tubo di vetro, il quale nella parte mediana porta un rigonfiamento a guisa di ampolla, limitato da due tratti marcati sul vetro che ne determinano la capacità. La parte inferiore è ripiegata due volte ad angolo retto e ha un tratto capillare sottilissimo. Lo spirito da analizzarsi si porta ad avere una densità corrispondente al 20% di alcool in volume, quindi si riempie l'apparecchio fino al segno voluto aspirando dalla parte superiore del tubo, dopodiché si lascia uscire il volume di liquido contenuto nell'ampollina contando le gocce formatesi. Si confronta il numero di gocce trovate con quello ottenuto con una soluzione di alcool purissimo della stessa densità e portata alla stessa temperatura. La differenza è tanto più elevata quanto maggiore è la quantità di fuselolo contenuta nello spirito in esame. Una differenza di gocce 1,0 sopra 100 corrisponde a 0,1% in volume di fuselol.

Ciascuno strumento dovrà portare l'indicazione del numero di gocce che dà con l'alcool puro ad una determinata temperatura e ciò allo scopo di risparmiare l'incomodo di apposite esperienze di confronto. Il massimo errore che si può commettere con questo strumento è, secondo l'autore, di gocce 0.2 sopra 100, quindi è possibile determinare con sufficiente sicurezza 0,1% ed anche 0,05% di fuselolo in volume. Per gli spiriti bene rettificati e contenenti quindi quantità minime di fuselolo, l'autore propone di eseguire un trattamento con solfato amminico o potassico (gr. 120 in 300 cm³ di alcool al 20%) e di determinare il fuselolo nello strato che si separa alla parte superiore, nel quale sono contenute quasi tutte le impurità dello spirito in esame. Gli olii eterei, i quali non vengono decomposti con la distillazione in presenza di potassa come non esercitano influenza sul coefficiente capillare metrico, così non hanno effetto sensibile neppure sul numero delle gocce dello stalagmometro. L'autore riporta a conferma di ciò le seguenti esperienze:

| Nome del liquore | Distillato senza potassa N. gocce | Distillato con potassa N. gocce | Alcool puro 20% in volume N. gocce | Alcool 20% in vol.+0,1% fuselol N. gocce |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Liquore di Vaniglia | 111 | 111 | 111 | 113,1 |
| Liquore di Ingwer | 111,8 | 111 | - | - |

¹⁴ Bianucci G., Ribaldone Bianucci E. (1993). *L'analisi chimica delle acque naturali ed inquinate*. Ulrico Hoepli, Milano.

¹⁵ Sottoprodotto ottenuto durante la rettifica dell'alcol, sinon. di *olio di flemma*. In *Vocabolario on line*, Treccani.

| | | | | |
|------------------|-------|-----|---|---|
| Liquore di Gilka | 112,2 | 111 | - | - |
| Rhum | 111,2 | 111 | - | - |

Le esperienze seguenti vennero fatte coi diversi prodotti di una raffineria di spiriti allo scopo di dimostrare l'influenza esercitata dalle diverse sostanze in esse contenute.

| | N. delle gocce | | In 100 p. di spirito erano contenute di impurità calcolato come fuselolo per 100 |
|-----------------------|----------------|-------|--|
| Spirito di 1° qualità | 161,8 | 163,8 | - |
| Spirito di 2° qualità | 161,2 | 164,3 | 0,1 |
| Acquavite | 164,9 | 164,7 | 0,2 |
| Prodotto di testa | 165,0 | 163,1 | 0,25 |
| Prodotto di coda | 199,0 | 199,0 | 10,0 circa |
| Spirito impuro | 163,3 | 163,5 | 0,35 |

Sebbene diversi chimici abbiano riconosciuto in questo metodo un certo valore specialmente per la sua grande facilità di esecuzione e fra gli altri sia stato raccomandato da Jorissen e Itaios¹⁶, pure gli indicati apparecchi per quanto ingegnosi non hanno resistito alla critica di molti altri sperimentatori. Oltre al giudizio sfavorevole fatto da Stutzer e Reitmer, la riunione dei chimici bavaresi del 1888, relatore il prof. Mayrhofer; il prof. Sell, il sig. Dardy della commissione extraparlamentare francese si sono tutti pronunciati contro di esso, e decisamente in favore del metodo Rose, come quello che è in grado di fornire indizii più certi intorno alla purezza degli spiriti nel riguardo igienico, e questo ultimo metodo è appunto oggi generalmente adottato nei laboratori della Germania e della Svizzera, ed anche in Italia raccomandato come metodo ufficiale per gli uffici tecnici di finanza.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: la targa sulla custodia riporta "Dr. Mario de la Pierre, Materiale Scientifico, Torino". Sul davanti della custodia è riportata la scritta *Stalagmometer*.

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

ALTRA: sulle ampolle dei tubi capillari sono incise le seguenti specifiche:

- Professor F. J/Fronbes; stalagmometer; tropz. f. Wasser=58.9; 20°C ;

¹⁶ *Journal del la distillerie universelle*, 1888, 17 giugno.

- Professor F. J/Fronbes; stalagmometer; tropz. f. Wasser=40,6; 20°C ;
- Professor F. J/Fronbes; stalagmometer; tropz. f. Wasser=19,45; 20°C.



Figura 3.32: particolari delle ampolle dei tubi capillari (a sinistra) e della targa sulla custodia (destra).

2.5 L'Acustica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica

Confinata per secoli agli ambiti della musica e della matematica, l'acustica divenne un'importante branca della fisica solo a partire dalla fine del Settecento (Brenni, 2009), per poi raggiungere nel XIX secolo un periodo d'oro nel progresso strumentale.

Il percorso dell'acustica per imporsi come disciplina ufficiale iniziò nel Seicento con Francis Bacon, che si dedicò allo studio delle proprietà generali del suono e degli strumenti musicali per vedere come il tono e il timbro fossero influenzati da forma e lunghezza dello strumento, spessore delle corde o delle canne. Bacon condusse un'indagine per scoprire le vere cause dell'armonia e della consonanza, ripetendo esperimenti già condotti empiricamente dai musicisti ma tentando di sistematizzare le conoscenze all'interno di un quadro teorico che potesse essere la base di una nuova disciplina di filosofia naturale. Un altro personaggio di rilievo per lo sviluppo dell'acustica sperimentale fu Marin Mersenne, che studiò accuratamente la natura del suono.

Verso la fine del Settecento i fenomeni acustici conosciuti e studiati in dettaglio erano numerosi: la velocità del suono nell'aria era stata misurata con precisione, si era compreso come il suono non si propagasse nel vuoto ed erano state fatte osservazioni sulle corde vibranti e sui battimenti. Ernst Chladni ideò un metodo per rendere visibili i modi di vibrazione di piastre di sezioni diverse che divenne una delle più diffuse dimostrazioni in tutti i corsi di acustica. Nell'Ottocento si moltiplicarono gli strumenti dedicati all'acustica, ormai significativa disciplina di

laboratorio; furono realizzati strumenti didattici per analizzare la natura del suono e della musica e per rivelare attraverso dimostrazioni sperimentali e leggi matematiche le loro proprietà fondamentali. Tra i costruttori più noti va ricordato Rudolph König, anche abilissimo sperimentatore e studioso.

Anche nei trattati di fisica si diede spazio sempre maggiore all'acustica: Biot nel 1816 e Pouillet nel 1827 descrissero diversi apparecchi per il suo studio.

Per determinare la frequenza esatta di una nota vennero costruiti degli apparecchi con delle serie di diapason, sfruttando il fenomeno dei battimenti; in laboratorio spesso i diapason erano montati su casse di risonanza per amplificarne il suono. Per mantenere l'oscillazione costante dei rebbi senza che si smorzasse in breve tempo, fu introdotto il diapason elettromagnetico (Appendice B, righe 159, 161, 162, 164, 165). Hermann von Helmholtz sfruttò questa invenzione per ideare un apparecchio per la sintesi dei suoni e in particolare per la composizione artificiale delle vocali, costituito da una serie di diapason collegati elettricamente a un diapason di controllo e dei risonatori (Appendice B, riga 167).

Utilizzando i diapason Jules Lissajous studiò una serie di esperienze per riprodurre le figure formate dalla composizione di due oscillazioni ortogonali.

Per risolvere il problema circa la produzione di suoni puri e di frequenza definita, vennero costruite sirene di vario tipo, in cui un getto d'aria compressa veniva interrotto periodicamente dalla rotazione di un disco perforato. Oltre alla sirena di Cagniard de La Tour, si diffusero la sirena doppia di Helmholtz (Appendice B, riga 176) e più avanti la sirena ad onda di König.

Furono inoltre costruite canne sonore di dimensioni, forme e materiali diversi per produrre e studiare i suoni generati da colonne d'aria oscillanti. Gli esperimenti svolti con le canne d'organo le videro anche associate ad un'altra importante invenzione, ovvero la capsula manometrica di König, che fu ampiamente utilizzata anche in strumenti come l'analizzatore armonico o il tubo di Quincke.

Lo sviluppo nell'ambito delle ricerche in fisiologia e sul funzionamento dell'organo uditivo diedero impulso alla costruzione di strumenti acustici appositi: Savart ideò la ruota dentata per determinare il limite superiore delle frequenze udite dall'orecchio umano; F. Galton introdusse un fischiello (Appendice B, riga 173) capace di produrre suoni acuti e ultrasuoni, e lo utilizzò per studiare l'udito degli animali; W. Stern propose un variatore di tono, con cui si producevano suoni di altezza diversa, per studiare la sensibilità umana ai cambiamenti nel suono (Appendice B, riga 177).

Dalla seconda metà dell'Ottocento le ricerche produssero risultati anche nel campo della registrazione e riproduzione dei suoni: furono ideati degli strumenti per registrare graficamente le vibrazioni di un diapason, che portarono in seguito all'invenzione di fonografi, grafofoni e grammofoni. Questi strumenti utilizzavano dei cilindri di cera in cui erano incise le vibrazioni di uno stilo collegato a un diaframma. La collezione del DIFA conserva una piallatrice per cilindri di cera, che consentiva di cancellare le incisioni effettuate (Appendice B, riga 180).

SCHEDE

14. Apparato per il confronto delle vibrazioni di due colonne sonore d'aria

CONCETTO

Questo strumento (Fig. 3.33) permette di visualizzare le singole frequenze relative a due suoni emessi da due canne d'organo in termini di figure luminose prodotte su uno specchio da due fiammelle.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Due canne d'organo sono montate su una cassetta di distribuzione. Ciascuna canna d'organo, alimentata da aria proveniente dalla cassetta, produce una determinata nota. Allo stesso tempo, ciascuna canna è affiancata da una pipetta sulla quale arde una fiammella, alimentata da un gas. Canna e pipetta sono collegate da una membrana di modo che la vibrazione della stessa – corrispondente ad una determinata nota – produca una ben determinata modifica della fiammella. Qualora osservata in uno specchio rotante, la modifica appare come un "pattern" (Fig. 3.34).

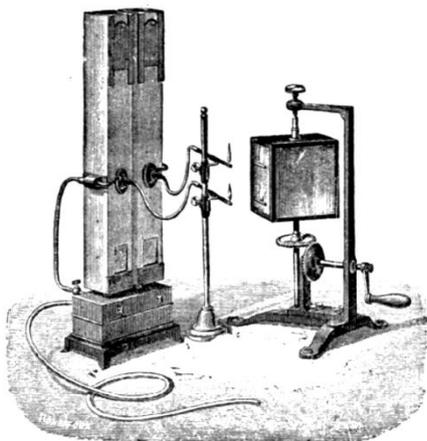


Figura 3.33: rappresentazione di un apparato completo per il confronto delle vibrazioni di due colonne sonore d'aria, tratto dal *Catalogue des Appareils D'Acoustique* di Rudolph König, p. 84.

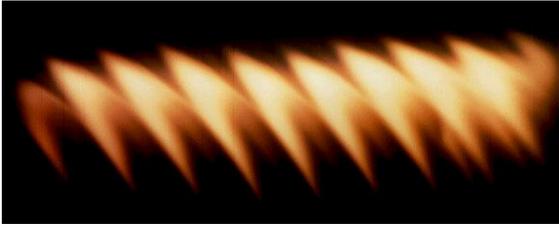


Figura 3.34: esempio di pattern visibile sullo specchio rotante.

Fenomeno di interferenza

I due tubi sono perfettamente accordati all'unisono. Nello specchio rotante si vedono le sommità delle fiamme sfalsate verticalmente (Fig. 3.35). Se ne deduce che la colonna d'aria si espande in uno dei tubi mentre viene compressa nell'altro, pertanto le onde sonore interferiscono distruttivamente.

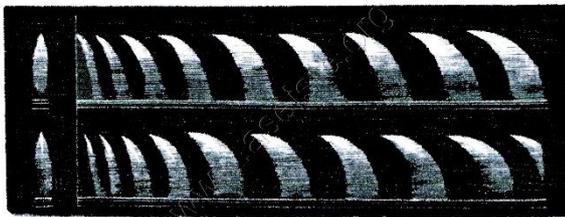


Figura 3.35: rappresentazione delle fiamme sfalsate visibili sullo specchio rotante in caso di interferenza distruttiva.

Fenomeno dei battimenti

I tubi sono accordati in modo che sullo specchio le immagini delle due serie di fiamme siano a volte sovrapposte e a volte alternate; questo fenomeno, periodico, è definito dei battimenti delle colonne d'aria. Se si svolge l'esperimento con le canne Do_3 e Do_4 , nello specchio si vedono due massimi di una serie sempre corrispondenti ad un solo massimo dell'altra serie (Fig. 3.36). Ripetendo l'esperimento con le canne Do_3 e Sol_3 si osservano due massimi dell'una corrispondere a tre massimi dell'altra. Si può anche portare il gas delle due capsule nello stesso becco. Per i tubi in rapporto 1:2, come nel caso di Do_3 e Do_4 , si ottiene una successione di fiamme grandi, ciascuna seguita da una più piccola (Fig. 3.37). Questa disposizione con il gas portato nello stesso becco è preferibile ogni volta che il rapporto tra i due tubi non è semplice. Per esempio, per i tubi Do e Mi , l'osservazione di quattro immagini corrispondenti a cinque diventa complessa. Questa disposizione permette invece di ottenere gruppi di cinque immagini di fiamme di diverse altezze, e l'insieme ha un aspetto meno complicato da visualizzare (Fig. 3.38).

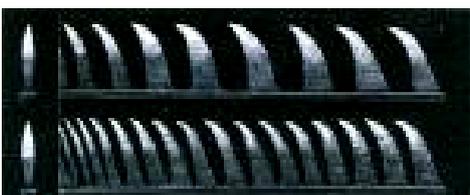


Figura 3.36: rappresentazione di due serie corrispondenti a Do_3 e Do_4 .

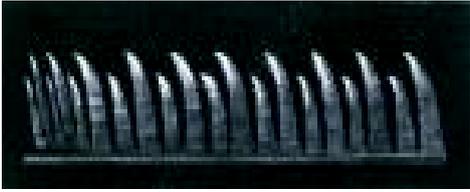


Figura 3.37: rappresentazione delle fiamme visibili sullo specchio quando il gas delle due capsule, collegate alle canne Do_3 e Do_4 , è portato nello stesso becco.



Figura 3.38: rappresentazione delle fiamme visibili sullo specchio quando il gas delle due capsule, collegate alle canne Do e Mi , è portato nello stesso becco.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

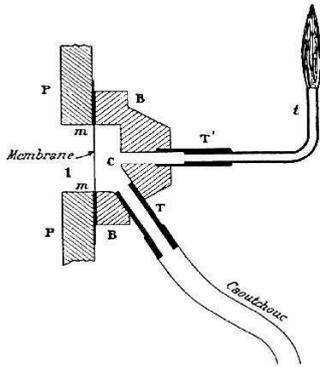
Tale strumento fu introdotto dall'inventore tedesco Rudolf König e riunisce in sé varie invenzioni:

- a) lo *specchio rotante*, strumento che permette di visualizzare fenomeni luminosi che variano rapidamente (come le variazioni di una fiammella) e che ad occhio non sarebbero percepibili; introdotto in ambito sperimentale dal fisico inglese C. Wheatstone nel 1834;



Figura 3.39: apparecchio a specchi rotanti della Collezione di Fisica di Bologna.

- b) la *capsula manometrica*: presentata nel 1862 all'Esposizione Universale di Londra è costituita da una camera chiusa a metà da una membrana elastica: quando l'aria vibra a causa di un suono, la membrana si sposta avanti e indietro modulando il flusso del gas combustibile in essa affluente e convogliato ad un becco.



LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: capsule manometriche, lampade a gas, diaframma scorrevole nelle canne. L'apparecchio a specchi rotanti non era insieme a questo strumento, ma è presente nella Collezione di Fisica.

::: ALTRO: le note emesse dalle canne d'organo sono Do_4 e Fa_4 .

Nell' Inventario del 1870, sezione di *Acustica*, si legge "apparecchio di interferenza con 2 tubi a capsule e specchio girante e becchi a gas".



Figura 3.40: vista del retro dello strumento, con manopole sulla cassetta di distribuzione.

POSSIBILI COLLEGAMENTI CON ALTRI STRUMENTI

*Tubo di Quincke*¹⁷ per convogliare il suono e visualizzare il fenomeno di interferenza; *analizzatori armonici di König*; *diapason*.

¹⁷ Sebbene nell'attuale Collezione di Fisica non sia presente un tubo di Quincke, dall'Inventario del 1870 risulta che lo strumento fosse presente tra gli apparati conservati nelle Stanze della Fisica. Nella sezione di *Acustica* dell'inventario si

15. Analizzatori armonici di König

CONCETTO

Lo strumento analizza i suoni e consente di determinare le frequenze di cui sono composti. È costituito da otto risonatori armonici incolonnati e connessi a otto capsule manometriche che comandano le fiamme. Accanto alle capsule uno specchio quadrilatero è messo in rotazione da una manovella.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Emettendo un suono complesso in prossimità dello strumento, se una o più frequenze del suono corrispondono alle frequenze normali dei risonatori, le fiamme della loro capsula vibrano e il pattern risultante si osserva nello specchio rotante.

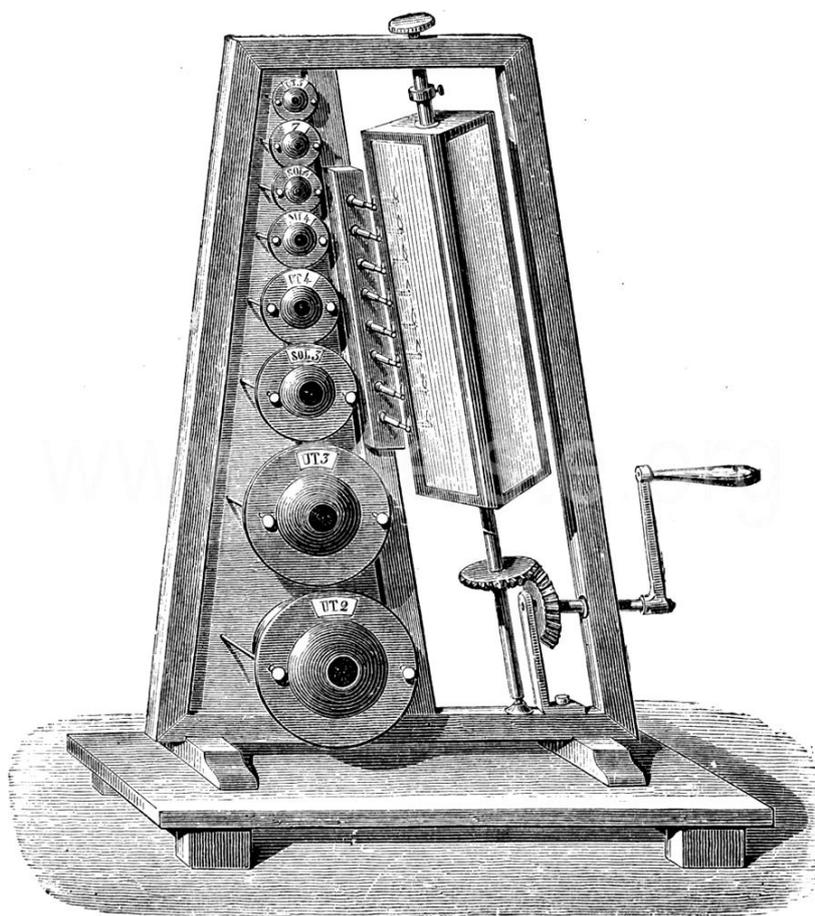


Figura 3.41: rappresentazione di un modello di analizzatore armonico, tratta dal catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement. Sopra ad ogni risonatore è incisa la frequenza per cui è dimensionato.

legge infatti: “Apparecchio di Quincke per l'interferenza, con capsule, becchi a gas detti per la trasmissione delle vibrazioni [...]”.

Determinazione delle frequenze componenti un suono

I becchi delle capsule vengono accesi e lo specchio è messo in rotazione azionando la manovella. In prossimità dell'apparato viene prodotto un suono complesso, costituito cioè da una frequenza fondamentale e una serie di frequenze multiple, le armoniche. Nei risonatori le cui frequenze di risonanza corrispondono alle armoniche dell'onda sonora, l'aria è posta in vibrazione e si trasmette alle capsule tramite tubi di gomma. A questo punto, osservando le fiamme manometriche sullo specchio rotante si deducono le frequenze contenute nel suono in esame: le bande luminose continue corrispondono alle fiamme statiche, che rivelano i risonatori non coinvolti nella vibrazione; le fiamme eccitate dai risonatori mostrano il caratteristico pattern a dente di sega.

L'immagine seguente, tratta dal volume *L'Acustica e i suoi strumenti*, a cura di Anna Giatti e Mara Miniati (Giatti & Miniati, 2001), mostra i pattern prodotti dalle fiamme manometriche corrispondenti alle vocali intonate su note diverse.

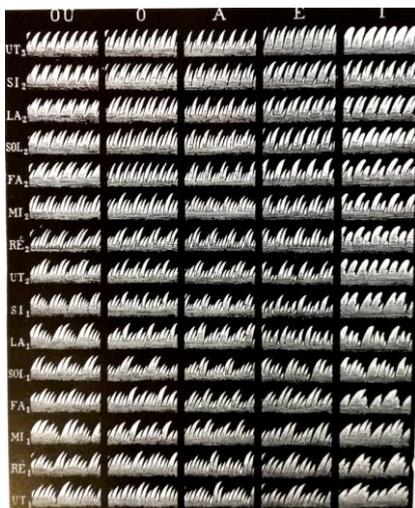


Figura 3.42: pattern prodotti dalle fiamme manometriche, corrispondenti alle vocali intonate su note diverse.

Variando la frequenza di un segnale acustico sinusoidale si può osservare l'alterazione dello stato di quiete delle fiamme. La risposta dell'analizzatore ha una buona precisione ma è poco sensibile alle variazioni del parlato; rileva adeguatamente le armoniche contenute in un suono prodotto da uno strumento musicale singolo o dalla voce umana mentre, davanti al suono prodotto da un ensemble di strumenti riproduce perturbazioni contemporanee di più fiamme.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Gli analizzatori armonici riuniscono in sé le seguenti invenzioni:

- a) i *risonatori di Helmholtz*, che consentono di determinare se in un suono sia presente una determinata frequenza: la frequenza propria della cavità viene considerevolmente rinforzata per risonanza ed è percepita dall'orecchio distintamente fra le altre eventualmente presenti

nel suono;

- b) la *capsula manometrica*;
- c) l'*apparecchio a specchi rotanti*.

L'apparato fu presentato nel 1865 dal suo ideatore e costruttore Rudolf König come strumento per le dimostrazioni a scopo didattico; per la ricerca era meno adatto, essendo i risonatori fissi e non accordabili a piacimento. Successivamente König costruì un secondo modello di analizzatore armonico utilizzando, al posto dei risonatori sferici di Helmholtz, dei risonatori cilindrici telescopici a frequenza variabile, adatti anche agli studi di ricerca in laboratorio.

Lo strumento veniva utilizzato per analizzare suoni composti prodotti da canne d'organo, strumenti a corde e ad ancia libera e per l'analisi della voce umana.

GLI STRUMENTI DELLA COLLEZIONE DIFA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: le frequenze proprie dei risonatori sono relative alla fondamentale Do_2 e alle prime sette armoniche Do_3 , Sol_3 , Do_4 , Mi_4 , Sol_4 , Sib_4 , Do_5 .



COSTRUTTORE: Tecnomasio Milano (inciso)

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: alcune capsule manometriche.

::: ALTRO: in questo modello i risonatori sono cilindri sui quali un coperchio forato può scorrere telescopicamente a frizione; possono essere accordati su frequenze diverse agendo sul coperchio e variando il loro volume. Delle tacche indicano il punto in cui il coperchio deve essere posizionato per ottenere la risonanza con una determinata nota. Sopra ciascun risonatore è inciso l'intervallo di frequenze entro cui può variare l'accordatura.

16. Sirena di Cagniard de La Tour

CONCETTO

Lo strumento è utilizzato per produrre dei suoni e per misurarne la frequenza. La base cilindrica presenta sul coperchio una serie di fori obliqui; sopra ad esso può ruotare intorno ad un asse un dischetto con altrettanti fori ma inclinati perpendicolarmente rispetto ai primi. L'asse del disco ruotando aziona un ingranaggio solidale con le lancette di un contagiri.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

L'aria soffiata da un mantice nella sirena vibra passando attraverso i fori del coperchio e del disco e produce una rapida rotazione del disco, che agisce come una turbina; viene generato un suono con frequenza dipendente dalla velocità di rotazione del disco.

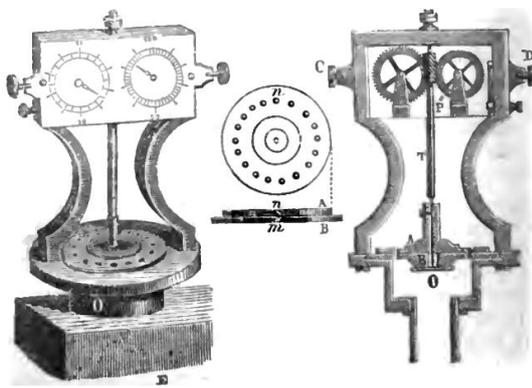


Figura 3.43: rappresentazione di un modello di sirena di Cagniard de La Tour, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 196. Lo strumento è montato sopra la cassa di un mantice che serve per spingere nella sirena una corrente continua di aria.

Determinazione della frequenza del suono emesso dalla sirena

L'asse del disco è collegato ad un contagiri recante due quadranti, di cui uno indica da 0 a 100 il numero di giri, l'altro da 0 a 50 le centinaia di giri. Il contatore può essere ingranato sull'asse premendo uno dei due bottoni posti lateralmente su di esso.

Quando il disco ruota, l'occlusione temporanea e periodica del flusso d'aria – l'aria esce quando le due serie di fori coincidono poi si interrompe quando non coincidono - genera un suono di frequenza determinata. Questa può essere calcolata moltiplicando il numero dei fori del disco per il numero dei giri al secondo, utilizzando quindi il contagiri e un cronometro.

Determinazione della frequenza del suono emesso da uno strumento musicale

Regolando il flusso dell'aria verso la sirena in modo tale che essa emetta un suono identico a quello di un altro oggetto, come una canna d'organo o la corda di un pianoforte, si risale alla frequenza del

suono emesso dall'oggetto stesso.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

La sirena fu ideata dal fisico francese Charles Cagniard de La Tour per contare il numero di vibrazioni corrispondente a un suono di una data altezza. Nel 1819 il fisico pubblicò sugli *Annales de chimie et de physique* l'articolo "Sur la Sirène, nouvelle machine d'acoustique destinée à mesurer les vibrations de l'air qui constituent le son". Il nome dello strumento deriva dal fatto che esso potesse essere utilizzato anche per produrre i suoni sott'acqua. Cagniard de La Tour compì importantissimi studi sull'acustica, dedicandosi anche al meccanismo di produzione della voce.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

:::: ALTRO: Lo strumento presenta 16 fori.

Nel Catalogo del 1865 sono citati due modelli di questo strumento: "Sirena di Cagniard de La Tour a tubo cilindrico"; "Sirena di Cagniard de La Tour, con contatore". Nel Inventario del 1870, nella sezione di *Acustica*, si legge "Sirena di Cagniard Latour".

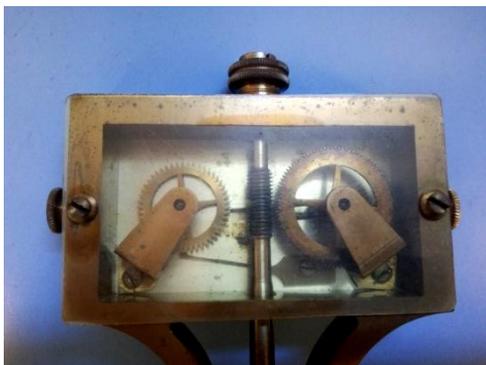


Figura 3.44: particolare del contagiri della sirena di Cagniard de La Tour.

2.6 La Meccanica ottocentesca e gli apparati della Collezione di Fisica

Nell'Ottocento ogni Gabinetto di fisica possedeva una serie di apparati atti a mostrare o spiegare fenomeni di meccanica fisica come la caduta dei gravi, l'attrito, la combinazione delle forze, i moti di rotazione e gli urti. Gran parte di questi strumenti fu ideata e realizzata all'inizio del XVII secolo al fine di "illustrare in modo chiaro e fenomenologico le leggi della meccanica, senza dover ricorrere alla matematica e alla geometria" (Brenni, 2009). Gli apparati, descritti anche in tutti i trattati di fisica elementare, continuarono ad essere modificati in base alle esigenze didattico-dimostrative e perfezionati fino ai primi anni del XX secolo. Uno tra gli strumenti più comuni era l'apparecchio per gli urti elastici, ma erano diffusi anche la macchina di Atwood e la macchina di Morin (Appendice B, riga 191), che veniva utilizzata per studiare la caduta dei gravi o per mostrare i moti pendolari o rotatori. Tra gli apparecchi relativi ai moti di rotazione si ricorda anche il giroscopio (Appendice B, riga 192), utile per lo studio dei fenomeni di precessione e di conservazione del momento angolare.

La collezione del DIFA conserva anche una locomotiva in miniatura, la cui fotografia è riportata di seguito, costruita nelle Officine di Castelmaggiore e donata nel 1857 al papa Pio IX, il quale volle che il modello restasse al Gabinetto di Fisica. La locomotiva era perfettamente funzionante e costituisce un esempio importante della finezza tecnologica raggiunta all'epoca, nella costruzione delle locomotive.



Figura 3.45: modello di locomotiva della Collezione di Fisica di Bologna. La targa sullo strumento riporta la scritta: "Dono di Pio IX".

SCHEDA

17. Macchina di Atwood

CONCETTO

La macchina di Atwood consente di mostrare sperimentalmente le leggi della caduta dei corpi. Una colonna in legno sostiene una piattaforma recante una carrucola di ottone, con l'asse poggiato su quattro ruote più piccole per minimizzare l'attrito. Alle estremità della sottile fune della carrucola, sono sospesi due cilindri di ottone di uguale massa in equilibrio, uno dei quali si muove davanti ad

una riga graduata. Un meccanismo ad orologio (oppure un pendolo, o un metronomo) completa l'apparato.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Posizionando una massa aggiuntiva su uno dei cilindri e azionando una leva connessa alla base di appoggio dei pesi, si dà inizio al moto uniformemente accelerato. Alla riga sono connessi due piattelli mobili, uno ad anello per trattenere la massa aggiuntiva senza impedire che il moto del cilindro prosegua, l'altro per terminare la caduta.

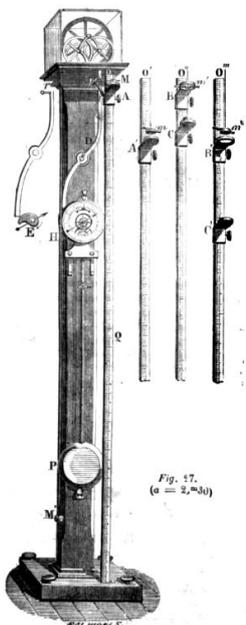


Figura 3.46: rappresentazione del modello originale della Macchina di Atwood, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 41.

Verifica della legge degli spazi (seconda legge della caduta dei gravi): la distanza percorsa da un corpo in caduta è direttamente proporzionale al quadrato del tempo di caduta.

Inizialmente i due pesetti cilindrici uguali alle estremità del filo sono in condizione di equilibrio. Aggiungendo una massa su uno dei due pesetti, l'equilibrio si infrangerà e il sistema descriverà un moto uniformemente accelerato, con accelerazione minore di quella di gravità g . Qualitativamente, la massa inferiore frena nella sua caduta il moto di caduta libera della massa maggiore appesa all'altro estremo del filo. Si consideri un orologio come strumento di misura del tempo.

Il cursore (B nell'immagine a fianco) è posizionato ad una certa altezza. Sul cilindro (p) davanti al regolo graduato, viene collocata una massa aggiuntiva. Questo peso è portato allo zero del regolo, dove si trova un piattello snodato che si può collocare orizzontalmente fermandolo

mediante una leva. Si dispone il tutto in modo tale che il piattello rimanga libero e assuma la posizione verticale quando la lancetta dei secondi passa per lo zero del quadrante, dando inizio alla caduta. Per tentativi si dispone il piattello inferiore B nella posizione in cui il peso, scendendo, batte contro di esso nell'istante in cui la lancetta segna t secondi. Variando il tempo t, si prova in questo modo che gli spazi percorsi vanno come i quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.

Ad esempio, si prende nota della distanza verticale percorsa dal peso in 1 secondo di caduta; rimesso il piattello snodato in posizione orizzontale, si riporta il peso su di esso e, dopo aver variato la posizione di B ad una distanza dallo zero del regolo, quattro volte maggiore rispetto a quella determinata dopo 1 secondo di caduta, si aziona nuovamente la leva. Si osserva che il peso in moto uniformemente accelerato, raggiunge il piattello inferiore in 2 secondi. Procedendo allo stesso modo si dimostra che per raggiungere il piattello posto ad una distanza dallo zero, nove volte maggiore rispetto a quella determinata dopo 1 secondo di caduta, il peso impiega 3 secondi.

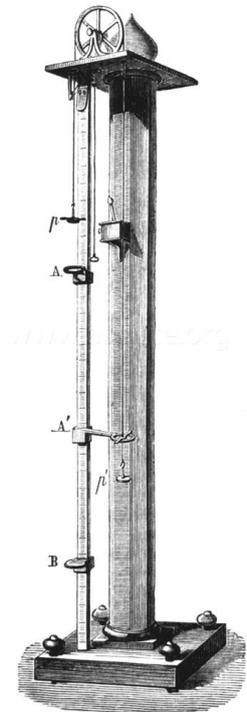


Figura 3.47: rappresentazione di una macchina di Atwood, tratta dal catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement.

Si dimostra in questo modo la seconda legge di caduta dei gravi:

$$s = (1/2)at^2,$$

con costante di proporzionalità pari al numero di divisioni sul regolo determinate dopo 1 secondo di caduta.

Verifica della terza legge della caduta dei gravi: la velocità acquistata da un corpo che cade nel vuoto è direttamente proporzionale al tempo di caduta.

Per determinare la velocità istantanea di un corpo in moto uniformemente accelerato, si valuta la velocità a cui quel corpo è arrivato in quell'istante, cioè la velocità che assumerebbe se l'accelerazione venisse meno improvvisamente, riducendo il moto a rettilineo uniforme. Ne segue che per determinare con quale legge vari la velocità nel moto uniformemente accelerato, basta misurare la velocità nel moto uniforme che segue quello accelerato.

Per ottenere il moto uniformemente accelerato, si procede come nel caso precedente, ponendo la massa aggiuntiva su uno dei due cilindri e azionando la leva. Dopo 1 secondo di caduta, si misura la distanza verticale percorsa sul regolo e si fissa in quella posizione l'anello (A in Fig. 3.47). Si ripete il moto uniformemente accelerato: quando raggiunge A, la massa aggiuntiva vi si

ferma, mentre il cilindro prosegue la caduta per inerzia, con moto rettilineo uniforme. Si misura lo spazio percorso dal cilindro in 1 secondo di moto rettilineo uniforme, che rappresenta la velocità acquistata dopo 1 secondo di moto uniformemente accelerato, dal sistema formato da cilindro e massa aggiuntiva ($s = v t$).

Si ripete poi la caduta fissando l'anello ad una distanza tale da essere percorsa con moto uniformemente accelerato in 2 secondi, e si sposta il piattello inferiore ad una distanza dall'anello pari al doppio di quella misurata con la caduta di 1 secondo di moto rettilineo uniforme. Si osserva che il sistema in caduta, percorsi 2 secondi di moto uniformemente accelerato, perde la massa aggiuntiva in corrispondenza dell'anello, e impiega 2 secondi a raggiungere il piattello inferiore. La velocità acquisita dopo 2 secondi di moto uniformemente accelerato è doppia dunque, rispetto alla precedente.

Procedendo in questo modo si verifica la proporzionalità diretta tra velocità e tempo di caduta, secondo la legge: $v = a t$.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Questo strumento fu ideato dal matematico inglese G. Atwood, il quale utilizzò la macchina per la prima volta nel 1776 durante le lezioni al Trinity College. In una dettagliata descrizione pubblicata nel 1784, Atwood sottolineava il fatto che, mentre nei libri di meccanica non si trovava conto di metodi con cui i principi del moto potevano essere sottoposti a prove decisive e soddisfacenti, la sua macchina avrebbe consentito tali prove, poiché il peso del filo, l'effetto della resistenza dell'aria e l'attrito della puleggia erano trascurabili. Pensata inizialmente per testare la meccanica newtoniana, dalla fine del XVIII secolo la macchina di Atwood venne utilizzata più per chiarire i concetti da cui la dottrina dipendeva. L'apparato divenne molto popolare: nei primi decenni del XIX secolo, produttori come John Newman a Londra e Nicolas Pixii e Nicolas Fortin a Parigi ne distribuivano modelli in tutto il mondo. Rispetto all'originale di Atwood, i nuovi modelli prevedevano orologi migliorati, una campana per segnalare l'impatto dei pesi in caduta e una leva automatica connessa agli ingranaggi dell'orologio per rilasciare i pesi e avviare contemporaneamente l'orologio.

La macchina di Atwood si diffuse anche nelle aule di fisica come apparecchio per esperienze dimostrative.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Angelo Cattaneo. La targa sullo strumento riporta “Cattaneo Angelo fece in Milano 1894”.

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: carrucola, sistema dei pesetti a cilindro e masse aggiuntive.

ALTRA: nel Catalogo del 1835, nella sezione di *Meccanica*, si legge “Bella macchina d’Atwood completa, coi suoi pesi in cassetta di mogany” e sotto “Altra macchina d’Atwood descritta da Brisson (incompleta)”. Le macchine di Atwood sono citate anche nel Catalogo del 1865; nell’Inventario del 1870, nella sezione di *Meccanica e Forze Molecolari*, se ne ritrova solo una.



Figura 3.48: nella prima e nella seconda fotografia, meccanismo ad orologio della macchina di Atwood. A destra, targa con il nome del costruttore e la data di fabbricazione.

18. Pendolo di Borda

CONCETTO

Lo strumento è costituito da una sfera di platino sospesa a un filo metallico e avvolta da una calotta sferica che le aderisce, e un coltello di sospensione in cui è inserita l’estremità superiore del filo. Il pendolo di Borda consente di misurare il valore della accelerazione gravitazionale g .



Figura 3.49: a sinistra, sfera di platino del pendolo di Borda; a destra, coltello di sospensione del pendolo. Dal catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Il coltello di sospensione poggia su un piano per evitare disturbi nelle oscillazioni libere; davanti ad un orologio a pendolo viene posto il pendolo di Borda per valutarne il periodo tramite il metodo delle coincidenze. Misurata anche la lunghezza del pendolo, si calcola il valore di g .

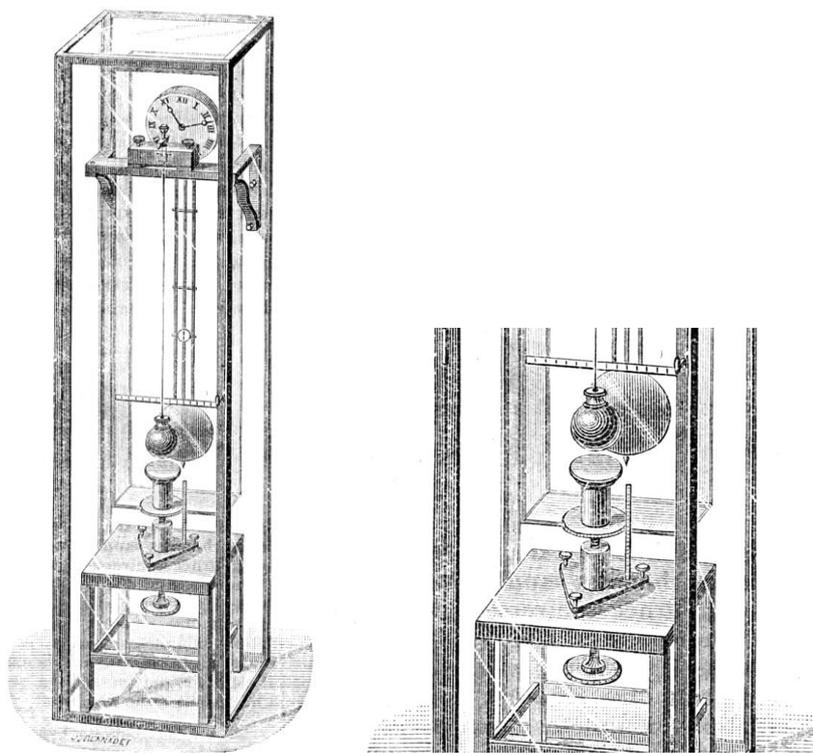


Figura 3.50: apparato costituito dal pendolo di Borda posto dinnanzi a un orologio astronomico; l'immagine è tratta dal catalogo di strumenti francesi presente sul sito dell'Association de Sauvegarde et d'Etude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement.

Metodo delle coincidenze

Il pendolo semplice viene posto dinnanzi a un orologio a pendolo (Fig. 3.50), che è scelto di lunghezza tale da battere approssimativamente il secondo. Sul pendolo dell'orologio viene posto un segno di riferimento che coincide con il filo del pendolo semplice quando entrambi sono in posizione di riposo. Vengono poi fatti entrambi oscillare e sono osservati con un cannocchiale posto

ad una certa distanza. Se i due periodi di oscillazione sono uguali, il filo del pendolo semplice e il riferimento sul pendolo dell'orologio risultano essere sempre coincidenti; se il filo ad ogni oscillazione si allontana un po' dal riferimento, sopravanzandolo o rimanendo indietro, i periodi sono diversi.

Si rilevano all'orologio i tempi delle coincidenze successive fra il filo e il riferimento; per facilitare la misura si fa coincidere il filo verticale del reticolo del cannocchiale con la posizione di riposo del pendolo. Si ricava così il periodo T del pendolo e, dopo averne misurato anche la lunghezza, si calcola il valore di g tramite la seguente formula:

$$g = 4 \pi^2 L / T^2.$$

Per la misurazione della lunghezza del pendolo, si utilizza un regolo di sezione rettangolare, munito in alto di un coltello di sospensione (simile a quello del pendolo di Borda), e in basso di una sorta di sferometro; quest'ultimo è costituito da un disco perpendicolare all'asse del regolo e sul cui lato è fissato perpendicolarmente un righello.

Per misurare la lunghezza del pendolo dal piano di sospensione alla sfera, si dispone al di sotto del pendolo un piano metallico orizzontale che può essere alzato mediante una vite micrometrica (Fig. 3.50, a destra); si fa poi salire lentamente il piano finché non tocca la sfera, senza sollevarla. A questo punto si sostituisce al pendolo il regolo che, tramite il suo sferometro consente di determinare con grande precisione il valore della lunghezza.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Il pendolo venne messo a punto dal matematico e fisico francese Jean Charles de Borda e fu testato da lui stesso e da Jean Dominique Cassini presso l'Osservatorio di Parigi.

Borda era già noto all'epoca per il circolo di riflessione - messo a punto dal meccanico francese E. Lenoir - e per le vicende riguardanti la creazione di un sistema di misurazione standardizzato e condiviso da tutti, da tempo auspicato dalla comunità scientifica. Nel 1791 l'Académie Royale des Sciences nominò una *Commissione dei pesi e delle misure*, composta da J. C. de Borda, J. A. de Condorcet, J. L. Lagrange, P. S. de Laplace e G. Monge, che scelse come unità di misura per le lunghezze la decimilionesima parte di un quadrante di meridiano, il "metro". A questo seguì l'impresa di sette anni della misura dell'arco di meridiano, i cui risultati portarono alla costruzione nel 1799 del regolo in platino di lunghezza prestabilita, successivamente nominato metro legale. Il sistema metrico decimale venne tuttavia adottato in Francia e poi negli altri Paesi soltanto verso la metà dell'Ottocento.

Nel 1792 J. C. de Borda e J. D. Cassini utilizzarono il pendolo sperimentale per determinare la lunghezza del pendolo dei secondi a Parigi. Il pendolo consisteva di una sfera di platino di 1 pollice e 1/2 (3,8 cm) sospesa ad un filo di ferro di 12 piedi (3,66 m) (F,Q in Fig. 3.51). Era sospeso davanti al pendolo (B) di un orologio di precisione (A). Ricavarono inoltre, sempre tramite il pendolo, il valore della costante di accelerazione gravitazionale g , trovandola pari a $9,8088 \text{ m/s}^2$.

Tenendo conto della correzione richiesta dell'inequale perdita di peso di un corpo nell'aria quando esso è in moto o a riposo, F. W. Bessel, astronomo di Königsberg, trovò che il vero valore di g a Parigi era di $9,8096 \text{ m/s}^2$. Conosciuto il valore di g in ciascun luogo, se ne poteva dedurre con il calcolo la corrispondente distanza dal centro della terra e, per conseguenza, la forma di questa.

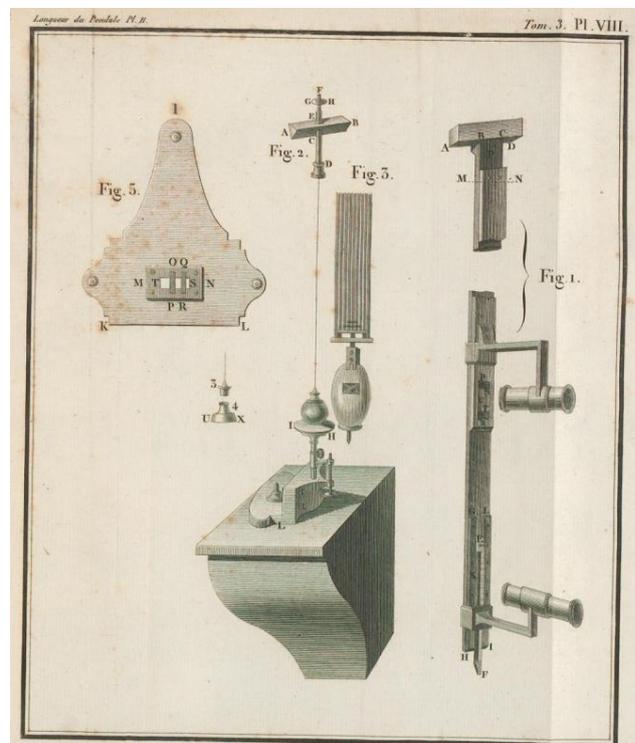
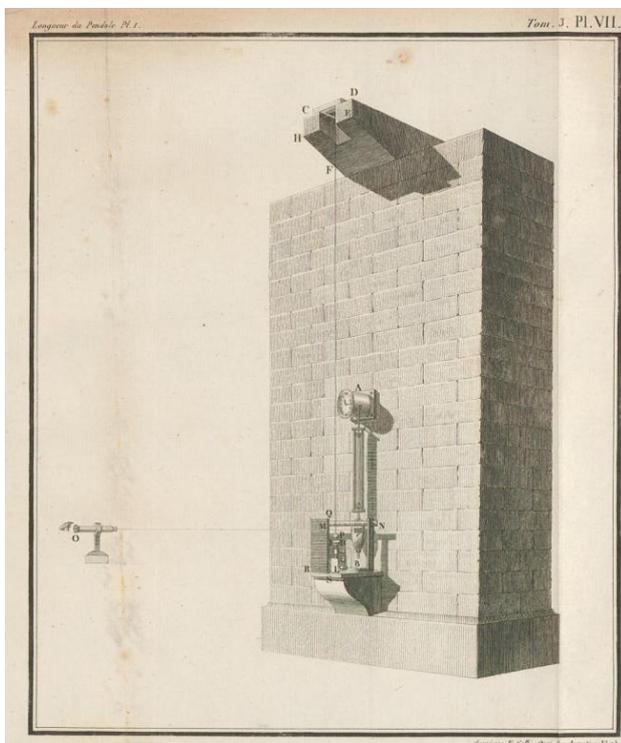


Figura 3.51: rappresentazioni relative all'esperimento del pendolo per determinare la lunghezza del pendolo dei secondi a Parigi, condotto nel 1792 da Jean-Charles de Borda e Jean-Dominique Cassini. Le immagini sono tratte dal Tomo III di *Base du Système Métrique Décimal, ou Mesure de l'Arc du Méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone* di P. Méchain e J. B. Delambre (1810), Planche VII e VIII, dove è riportata la memoria 'Experiences pour connaitre la longueur du pendule qui bat les secondes à Paris' di J. C. Borda and J. D. Cassini.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Maison Lerebours & Secretan. Sulla targa all'interno della cassetta si legge "Secretan, successeur Opticien de S.M. l'Empereur de l'Observatoire & de la Marine. Magasins: 13, Place du Pont-Neuf, Ateliers: 73, Rue du Faubourg St. Jacques, Paris".

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

ALTRA: nell'Inventario del 1870, nella sezione di *Meccanica*, si legge "pendolo di Borda con ferramenti e

misuratori di lunghezza".



Figura 3.52: sfera del pendolo e coltello di sospensione, a sinistra. Interno della cassetta con targa, a destra.

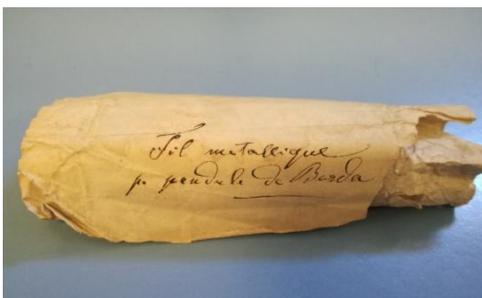


Figura 3.53: filo metallico per il pendolo di Borda, all'interno di un foglio arrotolato.

19. Apparecchio per lo studio degli urti elastici

CONCETTO

L'apparato si compone di un telaio in legno recante due aste alle quali sono appesi tramite fili di seta delle sfere d'avorio e di ottone, che fungono da pendoli semplici.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Variando i parametri in gioco, cioè masse, materiali delle sfere e lunghezza dei fili, è possibile svolgere diverse esperienze e studiare sistematicamente i fenomeni relativi agli urti.

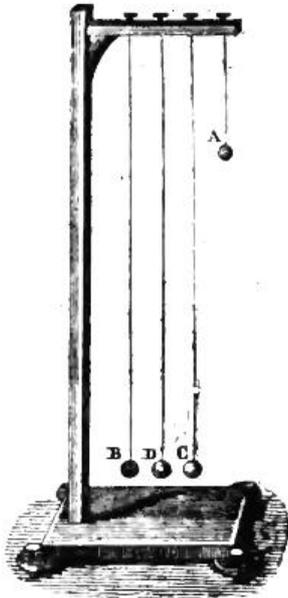


Figura 3.54: rappresentazione di un modello di apparato per lo studio degli urti elastici, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia* di Adolphe Ganot, p. 51.

Verifica della legge di isocronismo delle piccole oscillazioni

*Per un medesimo pendolo, le piccole oscillazioni sono isocrone*¹⁸.

Si consideri soltanto uno dei pendoli appesi al telaio, e si sospenda all'estremità del filo sottile una piccola sfera di una sostanza densa come piombo o platino. Si fa oscillare il pendolo e si conta il numero delle oscillazioni che esso esegue, in tempi uguali, quando l'ampiezza è successivamente di 3, 2 o 1 grado. Si osserva in tal modo che il numero delle oscillazioni è costante.

Verifica della seconda legge di oscillazione del pendolo

*Per pendoli della medesima lunghezza, la durata delle oscillazioni è uguale, qualunque sia la sostanza della quale sono formati i pendoli*¹⁹.

Si prenda l'apparato per lo studio degli urti elastici e si sospendano alle estremità dei fili, che dovranno avere uguale lunghezza, sfere dello stesso diametro ma di materiali diversi, come piombo,

¹⁸ Ganot, A., *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, p. 48-49.

¹⁹ Ibidem.

ottone e avorio. Si osserva che, a prescindere da piccole differenze dovute alla resistenza dell'aria, tutti questi pendoli, nello stesso tempo, eseguono lo stesso numero di oscillazioni. Si conclude che la gravità agisce su tutte le sostanze con la stessa intensità.

Verifica della terza legge di oscillazione del pendolo

Per pendoli di diversa lunghezza, la durata delle oscillazioni è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza²⁰.

Facendo oscillare pendoli di diverse lunghezze, con i successivi al primo di lunghezza rispettivamente 4, 9 e 16 volte più grande, si osserva la durata delle oscillazioni crescere di 2, 3 e 4 volte. Dunque per raddoppiare il periodo di un pendolo bisogna quadruplicare la sua lunghezza, per triplicarlo allungare il filo che lo sostiene di 9 volte e così via.

Conservazione della quantità di moto

La lunghezza dei fili viene regolata in modo tale da allineare i centri delle palline, a contatto tra di loro, lungo un asse orizzontale. Facendo compiere alla prima pallina un arco di cerchio, essa ricade colpendo la seconda e l'impulso si trasmette alle successive fino ad arrivare all'ultima che, a sua volta, oscilla in alto. Ricadendo, l'ultima pallina riavvia il ciclo in senso opposto. L'impulso viene quindi integralmente trasmesso alla palla che si trova all'estremità opposta, che rimbalza.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

L'apparato fu introdotto dal filosofo francese Edme Mariotte per studiare il comportamento dei pendoli e la trasmissione elastica del moto attraverso le collisioni. Nel XVIII secolo, il fisico olandese Willem 's Gravesande, il fisico francese Jean Antoine Nollet e altri studiosi lo utilizzarono per studiare la collisione elastica e anelastica. Nollet diede una descrizione dello strumento nelle *Leçons de physique expérimentale* che furono pubblicate a Parigi tra il 1743 e il 1748. Gravesande e Pieter van Musschenbroek realizzarono i modelli più sofisticati di questo apparato.

Alla fine del secolo XVIII, l'apparato per lo studio degli urti elastici era comune in ogni Gabinetto di fisica come strumento puramente didattico e rimase, nel corso dei secoli XIX e XX un classico apparecchio dimostrativo.

²⁰ Ganot, A., *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, p. 49.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: Louis Joseph Deleuil

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: una sfera d'avorio o d'ottone

ALTRA: Donazione Seminario Arcivescovile, Milano
(Venegono Inferiore, Varese).

Nell'Inventario del 1870, sezione Meccanica e Forze Molecolari, si legge "Apparecchio per le leggi del pendolo".

2.7 La Termologia e la Termodinamica ottocentesche e gli apparati della Collezione di Fisica

La formulazione della termodinamica partì dalla pratica. La Rivoluzione Industriale in Gran Bretagna, innescata dall'introduzione della macchina a vapore (seconda metà del '700), investì tutta l'Europa e il Nord America, portando ad una rapida industrializzazione.

All'inizio del XIX secolo si approfondì lo studio sui fenomeni relativi alla fisica dei gas grazie ai lavori di Joseph Gay Lussac, John Dalton, Pierre Dulong, Alexis Petit e Victor Regnault. Furono costruiti calorimetri di vario tipo per determinare i calori specifici e i calori latenti necessari ai cambiamenti di stato; vennero fatti inoltre progressi nella costruzione dei termometri (ad aria, mercurio o alcool) utilizzati sia per scopo didattico che per misure di precisione.

Macedonio Melloni si interessò ai fenomeni relativi al calore raggianti ed ideò un banco per misurare la quantità di radiazione infrarossa trasmessa, assorbita, riflessa, rifratta o polarizzata da varie sostanze (Appendice B, riga 240).

Nel corso dell'Ottocento si assistette ad un notevole progresso sia a livello teorico con la sistematizzazione delle conoscenze e la nascita della termodinamica, sia a livello pratico nel perfezionamento degli strumenti, anche al fine di applicarli in ambito industriale.

La teoria del *calorico*, secondo la quale sarebbe esistito un fluido invisibile responsabile della diversa temperatura dei corpi con la sua minore o maggiore concentrazione, venne gradualmente abbandonata. L'esistenza del fluido calorico era accreditata perché permetteva di

descrivere in modo adeguato l'equilibrio termico di due corpi: il calorico fluiva dal corpo caldo al corpo freddo fino a quando non raggiungeva la stessa concentrazione nei due corpi, che assumevano quindi la stessa temperatura. Non spiegava invece i cambiamenti di stato. Si affermò nel corso del secolo l'idea che calore e lavoro fossero strettamente correlati e rappresentassero forme diverse di energia.

Joseph Fourier si dedicò allo studio della propagazione del calore nei solidi. Sadi Carnot fu nel 1824 il primo a dimostrare che fosse possibile ottenere lavoro dallo scambio di calore tra due sorgenti a temperature differenti. Pur ragionando ancora in termini di fluido calorico, partendo dallo studio della macchina a vapore e dalla ricerca dell'incremento di efficienza su di essa, Carnot introdusse i concetti di ciclo termodinamico e di rendimento. La portata dell'opera di Carnot inizialmente non fu compresa e i suoi scritti rimasero ignoti fino al 1834, quando furono notati da Émile Clapeyron. Clapeyron sviluppò il lavoro di Carnot ed arrivò all'enunciazione dell'equazione di stato dei gas perfetti, sintetizzando le leggi di Boyle, Volta, Gay-Lussac e Amontons. Nel 1843 James P. Joule dimostrò che lavoro e calore sono grandezze dello stesso tipo e determinò l'equivalente meccanico della caloria. Le ricerche portarono Hermann von Helmholtz allo sviluppo del principio di conservazione dell'energia.

William Thomson, utilizzando la macchina di Carnot introdusse nel 1848 una scala di temperatura assoluta, indipendente dalle proprietà fisiche dei materiali. Estendendo il lavoro di Carnot, W. Thomson e Rudolf Clausius arrivarono alla formulazione del secondo principio della termodinamica. Nella seconda metà del secolo il concetto di calore trovò una sua interpretazione definitiva nell'ambito di una descrizione corpuscolare e statistica, grazie Maxwell e a Ludwig Boltzmann; si costituì così una struttura teorico-matematica della termodinamica, che trovò anche tante applicazioni pratiche.

Nel XIX secolo si estesero inoltre le osservazioni e misure meteorologiche grazie all'istituzione di una rete di osservatori e all'introduzione di strumenti registratori. Si diffusero diversi tipi di barometri sia per le misure da laboratorio che per quelle sul campo; i barometri a mercurio provenivano dalle esperienze torricelliane del Seicento, mentre gli aneroidi furono ideati all'inizio dell'Ottocento. In questa tipologia di barometri i cambiamenti di pressione deformano leggermente una capsula metallica evacuata, collegata ad una lancetta indicatrice.

Si diffusero anche i termometri a massima e a minima, che indicavano le temperature più alte e più basse raggiunte in un dato periodo di osservazione.

SCHEDE

20. Apparecchio di 's Gravesande per la dilatazione termica

CONCETTO

L'anello di 's Gravesande consente di mostrare la dilatazione termica cubica dei corpi. Un sostegno metallico verticale regge tramite una catenella una sfera piena di ottone. Un anello dello stesso diametro, montato su un perno munito di impugnatura, è collegato al sostegno verticale.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

A temperatura ambiente la sfera può passare attraverso l'anello. Sottoposta a riscaldamento, la sfera si dilata e non entra più nell'anello.

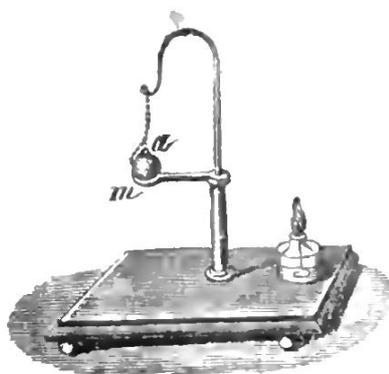


Figura 3.55: rappresentazione di un modello di anello di 's Gravesande, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 228.

Dimostrazione del fenomeno di dilatazione termica cubica dei corpi

Sfera e anello devono essere conservati ben puliti e lisci. Si mostra che a temperatura ambiente la sfera piena di ottone passa attraverso l'anello senza impedimenti, avendo i due oggetti lo stesso diametro. Si sposta poi l'anello per scaldare la sfera, appesa alla sua catenina, con la fiamma areata del becco Bunsen; aiutandosi con le pinze si poggia la sfera calda sull'anello. In un'esperienza preliminare si determina il tempo necessario a riscaldare la sfera, in modo che essa resti appoggiata sull'anello circa 5 minuti, prima di cadere. È importante non scaldare eccessivamente la sfera e attendere prima che essa cada; l'ossido sulla sfera la rende infatti poco atta a passare attraverso l'anello. Se la sfera non dovesse fermarsi sull'anello, per riscaldamento insufficiente, la si può rimettere sulla fiamma per 15-20 secondi²¹.

Se si riscalda oltre alla sfera anche l'anello, esso si dilata a sua volta e la sfera può passarvi attraverso.

²¹ E. Perucca, *Guida pratica per esperienze didattiche di fisica sperimentale*, N. Zanichelli, Bologna 1937.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

Lo strumento è costruito secondo il modello ideato dal matematico e fisico olandese Willem Jacob's Gravesande (1688 – 1742), professore di filosofia naturale all'università di Leida, che fu tra i primi a servirsi di strumenti da lui ideati per la spiegazione dei fenomeni fisici. L'anello permetteva di dare una immediata dimostrazione del fatto che il volume di un solido aumenta all'aumentare della temperatura.

Secondo Rinaldo Pitoni, la priorità dell'esperienza di 's Gravesande spetta all'Accademia del Cimento, che invece di una sfera aveva adoperato un cilindro. Il Cimento dimostrò che la dilatazione dei solidi è minore di quella dei liquidi e confutò la teoria, allora dominante dell'*antiperistasi*, secondo cui un corpo scaldato produce del freddo, e raffreddato produce del caldo.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

:::: ALTRO: sul Catalogo del 1835, nella sezione *Calorico*, si legge “palla di ottone col suo anello, per provare la dilatazione operata dal calore”.

21. Calorimetro a ghiaccio di Lavoisier e Laplace

CONCETTO

Si tratta di uno strumento composto da tre scomparti di latta concentrici che consente di determinare il calore specifico di un corpo attraverso il metodo della fusione del ghiaccio.

FUNZIONAMENTO ED ESEMPI DI CONDUZIONE DELL'ESPERIMENTO

Il corpo in esame viene collocato nel recipiente più interno (M in Fig.3.56), mentre gli altri due scomparti (A e B) sono riempiti con ghiaccio tritato; il recipiente più esterno funge da isolante. In base alla quantità di acqua che fuoriesce dal recipiente intermedio tramite un rubinetto (D), essendo

noto il calore latente di fusione del ghiaccio, si risale al calore ceduto dal corpo e quindi al suo calore specifico.

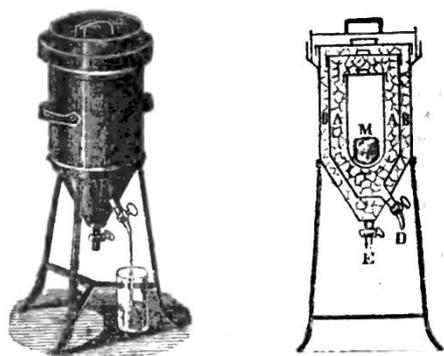


Figura 3.56: rappresentazione di un modello di calorimetro a ghiaccio di Lavoisier e Laplace, dal *Trattato elementare di fisica sperimentale e applicata e di meteorologia*, di Adolphe Ganot, p. 343.

Gli scomparti A e B sono riempiti in anticipo con ghiaccio in modo che la temperatura iniziale dell'apparecchio sia uniforme. Si pesa il corpo (M) e lo si porta ad una temperatura nota T, tenendolo per qualche tempo in un bagno di acqua calda o d'olio, oppure in un getto di vapore

acqueo. I rubinetti (D ed E in Fig. 3.56) vengono chiusi e il corpo (M) si inserisce nello scomparto centrale. I coperchi vengono immediatamente rimontati e ricoperti di ghiaccio. Si apre il rubinetto D dello scomparto intermedio e si raccoglie l'acqua che scorre in un vaso. Non appena il flusso si interrompe, segnale del raggiungimento della temperatura di equilibrio tra il corpo in esame e il ghiaccio interno, viene pesata l'acqua

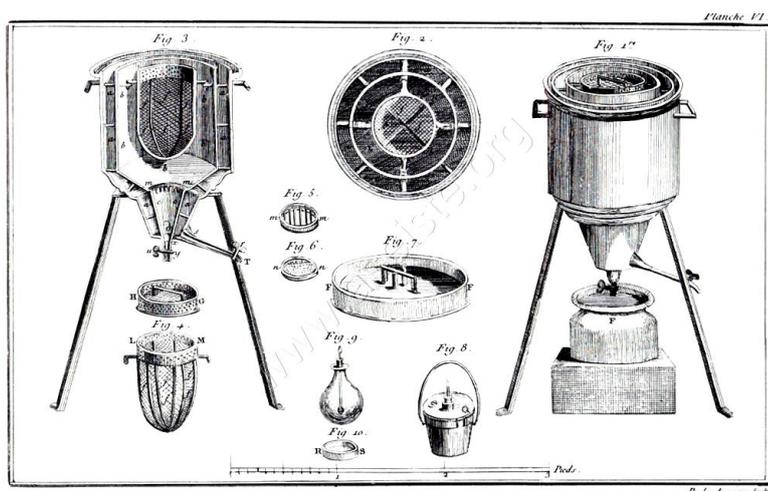


Figura 3.57: rappresentazione delle varie parti di cui si compone il calorimetro a ghiaccio di Lavoisier e Laplace. L'immagine è presente nelle *Mémoire sur la chaleur* di Lavoisier e Laplace (1784), Planche IV.

raccolta (m') in chilogrammi, corrispondente alla massa del ghiaccio fuso. Poiché, a pressione atmosferica, sciogliendo 1 Kg di ghiaccio, questo assorbe 79,25 Kcal, (m') Kg hanno assorbito una quantità di calore pari a: $79,25 \times m'$ Kcal.

Trascurando qualsiasi trasferimento di calore diverso da quello tra il corpo M e il ghiaccio del compartimento A, questa quantità di calore è necessariamente uguale a quella ceduta dal corpo M mentre si raffreddava da T a 0° C, cioè uguale al prodotto $m \times T \times c$.

Si deduce quindi l'espressione che permette di calcolare il calore specifico del corpo studiato:

$c = 79,25 \text{ m}' \text{ mT}$.

INVENTORE E DATI STORICI (storia della strumentazione scientifica)

La parola “calorimetro” venne coniata nel 1789 dal chimico Antoine Laurent Lavoisier per riferirsi allo strumento che misurava il calore che lui e il matematico, fisico e astronomo Pierre Simon Laplace avevano sviluppato nel 1782. Il nome evidenzia la credenza che il calore fosse una sostanza materiale, il calorico. Oggi è riferito agli strumenti che misurano il calore attraverso effetti termoelettrici, differenze di temperatura dipendenti dal tempo e locali, così come a strumenti come quello di Lavoisier e Laplace, che misurano il calore in termini di transizione di fase. La storia del calorimetro quindi, è un tributo all’abilità di uno strumento di trascendere la teoria che originariamente doveva incarnare e il problema storicamente complesso di legare parole a oggetti.

LO STRUMENTO DELLA COLLEZIONE DI FISICA



COSTRUTTORE: ---

NUMERO DI SERIE: ---

PEZZI MANCANTI: nessuno

::: ALTRO: lo strumento è presente nel Catalogo del 1865 come “Calorimetro di Lavoisier e Laplace” e nell’Inventario del 1870, nella sezione *Calorico*, dove si legge “Calorimetro di Laplace, detto di raffreddamento, detti colle mescolanze”.



Figura 3.58: interno del calorimetro.

Capitolo 4: Conclusioni

Dopo un'introduzione dedicata alla storiografia scientifica moderna e all'analisi della situazione attuale dei principali Musei italiani ed esteri e delle più importanti Collezioni di Fisica, con riferimento alle opere di recupero e restauro a carico dei singoli Enti, si è ripercorso il processo di strutturazione della fisica, che nel corso del XIX secolo acquisì un ruolo dominante tra le scienze. È stata quindi ricostruita la storia dell'Istituto delle Scienze di Bologna e in particolare del Gabinetto di Fisica, da cui provengono gli strumenti che sono parte dell'attuale Collezione del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna, conservata presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "A. Righi", che ha sede in via Irnerio 46.

L'Ottocento, caratterizzato dall'invenzione di numerosi nuovi apparecchi e dai notevoli perfezionamenti di quelli già esistenti, può essere considerato il secolo in cui l'uso degli strumenti scientifici si estese a quasi tutti i campi del sapere, influenzando il progresso in ambito industriale e l'evoluzione delle attività professionali. Risale a questo periodo la diffusione dei primi laboratori e Gabinetti di Fisica, dove gli strumenti venivano sia conservati e collezionati, sia utilizzati per la ricerca sperimentale e per dimostrazioni a scopo didattico.

Il lavoro di ricerca della tesi prevedeva una parte di ricostruzione storica del Gabinetto ottocentesco di Fisica di Bologna, e una di comprensione e studio degli strumenti.

Presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia è stato eseguito l'inventario di tutti gli apparati della Collezione di Fisica: gli strumenti sono stati fotografati singolarmente e si è preso nota dei dati provenienti da didascalie o vecchi documenti descrittivi. Gli apparati sono stati quindi identificati e ne è stato compreso il funzionamento confrontandoli con immagini e descrizioni tratte da trattati ottocenteschi di fisica e da cataloghi di collezioni italiane ed estere.

La collezione ottocentesca è risultata essere composta in totale da 244 apparati appartenenti a diverse aree della fisica: 82 appartenenti alla sezione di ottica, 13 a quella di geodesia, 52 a quella di fisica elettrica, in cui sono stati inclusi gli strumenti sia di elettrostatica sia di magnetismo, 7 alla sezione di pneumatica e idrostatica, 28 a quella di acustica, 14 a quella di meccanica e 48 a quelle di termologia e termodinamica.

Gli strumenti sono stati confrontati con quelli riportati dai documenti ottocenteschi del Gabinetto di fisica di Bologna, in particolare con il Catalogo del 1835, che era preceduto da una prefazione dell'allora direttore Silvestro Gherardi, la quale è stata utile alla ricostruzione della storia del Gabinetto, e con l'Inventario del 1870. I cataloghi e l'inventario sono stati rinvenuti presso

l'Archivio Storico dell'Università di Bologna, insieme ad un altro importante documento del 1780 di Giuseppe Angelelli, sull'origine e sui progressi dell'Istituto delle Scienze, di cui il Gabinetto di Fisica faceva parte. È stato inoltre consultato il libro di viaggi di Jérôme Lalande, *Voyage d'un François en Italie fait dans les années 1765 et 1766*, citato da Gherardi nella *Prefazione* e contenente un capitolo interamente dedicato all'Istituto delle Scienze. Nei volumi di Angelelli e di Lalande in particolare, erano riportate descrizioni dettagliate delle Stanze della Fisica del Gabinetto; è stato in tal modo possibile tenere traccia degli strumenti di fisica dal Settecento fino a oggi.

Lo studio attento degli strumenti ha permesso di comprendere meglio le intricate relazioni esistenti tra attività scientifiche e pratiche tecnologiche, aiutando a tracciare il percorso della diffusione delle conoscenze scientifiche.

Il confronto con la letteratura e i documenti storici, poi, ha permesso di riconoscere in uno degli strumenti conservati, che apparentemente nel Catalogo del 1835 era stato erroneamente attribuito a Giuseppe Campani, un modello di microscopio perfezionato nel Seicento da Wilhelm Homberg.

In seguito, si è scelto di organizzare le fotografie e i dati raccolti sugli strumenti in schede descrittive comprendenti quattro voci: concetto e funzionamento; esempi di funzionamento; inventore e dati storici; lo strumento della collezione di fisica (che comprende *costruttore, numero di serie, pezzi mancanti e altro*). Punto centrale delle schede sono gli esempi di funzionamento, dove si è cercato di dare una spiegazione chiara e completa, anche tramite illustrazioni originali provenienti da trattati ottocenteschi, di come gli apparati funzionassero e di cosa abbiano permesso di osservare e dimostrare. È importante evidenziare come gli strumenti fossero classificabili in tre categorie fondamentali: strumenti per la ricerca sperimentale, strumenti per la didattica e strumenti per la spettacolarizzazione, utilizzati soprattutto per diffondere le nuove scoperte tra la gente comune e allo stesso tempo divertirla, rendendo la fisica popolare.

Sono state compilate 21 schede, corrispondenti a due o tre strumenti per sezione. La suddivisione della fisica in diverse branche risale proprio al XIX secolo ed è presente anche sui Cataloghi ottocenteschi.

Si è pensato in tale modo di dare uno spaccato sull'Ottocento e in particolare di fare emergere l'immagine della fisica ottocentesca, che ha influenzato fortemente, se non addirittura rivoluzionato, la società dell'epoca da ogni punto di vista. Un aspetto interessante che è possibile cogliere dall'eleganza formale che contraddistingue gli strumenti del passato, è l'attenzione all'estetica che avevano studiosi e scienziati.

L'analisi degli strumenti componenti la Collezione di Fisica presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia e il confronto tra il nuovo inventario e i documenti conservati in Archivio Storico, ha messo in luce il fatto che la collezione oggi non sia l'immagine esatta del Gabinetto ottocentesco: le vicende storiche e i progressi in ambito fisico hanno portato ad una evoluzione sistematica. Negli ultimi decenni del Settecento le Stanze della Fisica all'interno dell'Istituto delle Scienze erano quattro, poi il Gabinetto si ampliò gradualmente con l'acquisizione di nuovi strumenti sia per volere dei direttori del Gabinetto, sia per donazioni da privati. Da qui emerge tra l'altro l'aspetto della partecipazione pubblica e privata ai fatti della scienza sperimentale: mecenati ed enti pubblici si impegnavano a favore del patrimonio strumentale dell'Istituto delle Scienze. Durante l'occupazione dei francesi a partire dal 1796, avvennero furti e sparizioni di macchine; in seguito, il Gabinetto fu arricchito dagli strumenti recuperati dalle Congregazioni e Istituzioni religiose soppresse, per poi essere spogliato di altri apparati quando il governo italico decise di formare un Gabinetto a Brescia.

Nel 1835, anno della stesura del catalogo curato da Silvestro Gherardi e conservato presso l'Archivio Storico dell'Università di Bologna, si contavano sei sale dedicate agli strumenti del Gabinetto di Fisica. Nel Catalogo del 1865 è riportato lo stesso numero di stanze, mentre nell'Inventario del 1870 non c'è un riferimento a questo dato, ma si evidenzia in entrambi i documenti un processo di evoluzione rispetto al 1835: alcuni strumenti sono rimasti gli stessi, altri non ci sono più, altri ancora sono stati aggiunti ex novo.

Con la nascita del Nuovo Istituto di Fisica in via Imerio 46 e il conseguente trasferimento del Museo di Fisica in questa sede, si assistette ad ulteriori cambiamenti. Furono aggiunte ad esempio le attrezzature didattiche e sperimentali di Augusto Righi e in seguito quelle di Quirino Majorana, le quali non sono state discusse in questa tesi ma aggiungono prestigio alla collezione di strumenti storici e cimeli del Dipartimento.

Gli anni delle guerre mondiali, della Seconda in particolare, furono deleteri per il Museo; varie parti furono distrutte e molti strumenti riportarono forti danni. Nonostante le operazioni di recupero e restauro che partirono dagli anni Settanta del secolo scorso, diversi apparati riportati sui Cataloghi ottocenteschi oggi non sono più presenti. È probabile che siano andati perduti in quel frangente, distrutti, venduti come rottami metallici o gettati in occasione di ristrutturazioni di laboratori ed edifici scolastici, in un periodo in cui gli strumenti ottocenteschi erano considerati manufatti ingombranti e obsoleti.

Un aspetto importante che si coglie da questo studio, è che sin dalla costituzione dell'Istituto delle Scienze e del Gabinetto si sia sempre riscontrata la volontà di creare continuità tra il lavoro di ricerca, alla base del progresso delle scienze, e la didattica. Già alla fine del XVIII secolo Angelelli

riportava nel volume dedicato all'origine e ai progressi dell'Istituto, la presenza di una camera tra le Stanze della Fisica destinata agli esercizi della fisica sperimentale, con una tavola su cui potevano essere portati gli strumenti necessari alle ricerche o alle dimostrazioni didattiche per i giovani studiosi (Angelelli, 1780). Nella Prefazione del Catalogo del Gabinetto del 1835, Gherardi elencava tra le Sale della fisica un'apposita stanza per il laboratorio, probabile evoluzione della camera citata da Angelelli. Il tentativo di creare unità tra la ricerca e la didattica si evince anche dal lavoro di Augusto Righi, che mostrava a lezione le esperienze di Hertz sulle proprietà delle onde magnetiche e mise a punto il suo oscillatore a tre scintille, proseguendo poi le ricerche sperimentali presso il Gabinetto di Fisica in via Zamboni 33. La continuità era stabilita anche tra gli apparati storici e quelli più innovativi e sofisticati, adatti alle esperienze più recenti.

Fino a questo momento, all'inizio del Novecento, l'insegnamento della fisica era strettamente legato alla ricerca sperimentale e storica, ed era inconcepibile svolgerlo senza una collezione di strumenti e un'aula appositamente studiata. C'erano trattati e cataloghi pensati appositamente per guidare gli insegnanti e i professori nella scelta e nell'acquisizione dei giusti apparati, al fine di imparare a sperimentare e manipolare gli strumenti correttamente dopo gli studi teorici.

Nel clima di cambiamento che caratterizzò la fine del XIX secolo e l'inizio del XX, si evidenziò la necessità di modernizzare anche l'insegnamento delle scienze: l'approccio deduttivo, dogmatico e storico doveva essere abbandonato a favore di un metodo induttivo (Brenni, 2010). La presenza di strumenti antichi di interesse solamente storico, ma non più funzionali per le moderne ricerche e dimostrazioni, iniziò ad essere considerata superflua. Quando le riforme si concretizzarono, tra il secondo e terzo decennio del Novecento, gran parte delle collezioni di strumenti accumulati nei secoli precedenti furono gradualmente trascurate e sconvolte durante le guerre.

Un rinnovato interesse per gli strumenti storici venne a partire dagli anni Settanta del secolo scorso, unitamente alla crescente sensibilità nei confronti del patrimonio materiale del passato. Si assistette allora ad un processo diffuso in tutto il mondo occidentale, di recupero, restauro e catalogazione delle raccolte di fisica, soprattutto all'interno di istituti superiori ed università, che ha portato lentamente alla sistemazione delle collezioni e alla nascita di musei dedicati agli strumenti di fisica. Oggi questi strumenti raccontano la storia di un'epoca di grande sviluppo e splendore nell'evoluzione della fisica.

Appendice A

Lista di alcuni tra i principali Musei e Collezioni di Fisica esteri

- [A.1] *University Museum Utrecht*, 1928, Utrecht. Fondato da Pieter Hendrik van Cittert.
- [A.2] *Rijksmuseum Boerhaave*, 1931, Leiden. Fondato da Claude Auguste Crommelin.
- [A.3] *Palais de la Decouverte*, 1937, Parigi. Creato da Jean Baptiste Perrin.
- [A.4] *Collection of Historical Scientific Instruments*, 1948, Harvard University. Curata da David P. Wheatland.
- [A.5] *Cavendish Museum* presso Cavendish Laboratory, 1950 circa, Cambridge University.
- [A.6] *Whipple Museum of the History of Science*, 1944, Cambridge University. Fondato a partire dalla collezione di strumenti scientifici di Robert Whipple.
- [A.7] *Collection of Historical Scientific Instruments*, 1960 circa, Dartmouth College. Curata da Allen King.
- [A.8] *Rutherford Collection*, 1967 (curata da Ferdinand Terroux), *Mc Pherson Collection*, 1970 circa (curata da Anna Mc Pherson), McGill University.
- [A.9] *Exploratorium*, 1969, San Francisco. Fondato da Frank Oppenheimer.
- [A.10] *QUESTACON - the National Science and Technology Centre*, 1988, Canberra. Fondato da Mike Gore.
- [A.11] *Osaka Science Museum*, 1989, Osaka. Creato da Tadao Nakano.
- [A.12] *Phänomena*, 1980 circa, Flensburg. Ideato da Lutz Fiesser.
- [A.13] *Historical Collections*, 2004, Université de Rennes 1. Curate da Dominique Bernard e Jean-Paul Tache.
- [A.14] *CosmoCaixa - Science Museum*, 2004, Barcellona. Creato da Jorge Wagensberg.
- [A.15] *Deutsches Museum*, 1903, Monaco di Baviera. Fondato su iniziativa di Oskar von Miller.
- [A.16] *Science Museum of the University of Coimbra*, 2005, Coimbra.
- [A.17] *Musée de Physique de l'UNIL*, 2009, Losanna.
- [A.18] *NEMO Science Museum*, 1997, Amsterdam.
- [A.19] *Technisches Museum Wien*, 1918, Vienna. Curato da Wilhelm Exner e Ludwig Erhard.
- [A.20] *GUM – Gents Universitair Museum*, 2020, Ghent.

Appendice B

Inventario degli strumenti di fisica della Collezione del Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bologna conservata presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia "A. Righi"

| | OTTICA (82 apparati) | | |
|----|--|------------|---|
| 1 | MDF -Apparecchio per lo studio della rifrazione di Silbermann | XIX Secolo | |
| 2 | MDF -Polarimetro di Nörremberg | XIX Secolo | Citato nell'Inventario 1870 "apparato di Noremborg" |
| 3 | MDF -Polarimetro di Nörremberg | XIX Secolo | |
| 4 | MDF -Polarimetro di Nörremberg | XIX Secolo | |
| 5 | MDF -Polariscopio riflettore di Malus | XIX Secolo | Inventario 1870 "polariscopi" |
| 6 | MDF -Polarizzatore a specchio di Duboscq | XIX Secolo | |
| 7 | MDF -Oftalmoscopio | XIX Secolo | |
| 8 | MDF -Saccarimetro di Laurent | XIX Secolo | |
| 9 | MDF -Spettroscopio a visione diretta | XIX Secolo | |
| 10 | MDF -Lamine cristalline in anelli di sughero per mostrare polarizzazione | XIX Secolo | |
| 11 | MDF -Cristalli da utilizzare con polarimetro | XIX Secolo | |
| 12 | MDF -Fosforiscopio | XIX Secolo | |
| 13 | MDF -Lamine utilizzate per proiezione o interferenza | XIX Secolo | Inventario 1870 "pezzetti di vetro temperato" "cristalli birifrangenti" |
| 14 | MDF -Lamine | XIX Secolo | |
| 15 | MDF -Pinze alla tormalina | XIX Secolo | Inventario 1870 "pinzette a tormalina" |
| 16 | MDF -Spettroscopio di Hoffmann-Dubosq | XIX Secolo | |
| 17 | MDF -Spettroscopio Sorby | XIX Secolo | da adattare al posto di un oculare per microscopio |
| 18 | MDF -6 Prismi per dispersione della luce | XIX Secolo | |
| 19 | MDF -Apparecchio per mostrare gli anelli di Newton | XIX Secolo | Inventario 1870 "apparecchio da anelli di Newton" |
| 20 | MDF -3 prismi a liquido | XIX Secolo | |
| 21 | MDF -Prisma ad angolo variabile porta liquidi | XIX Secolo | |
| 22 | MDF -Pressa per polarizzazione accidentale del vetro | XIX Secolo | Inventario 1870 "apparecchi per comprimere il vetro" |
| 23 | MDF -Prisma a visione diretta | XIX Secolo | |
| 24 | MDF -4 lenti di Duboscq con supporto | XIX Secolo | |
| 25 | MDF -Spato d'Islanda | XIX Secolo | |
| 26 | MDF -Prismi conici (basso e medio) e prisma nero | XIX Secolo | |
| 27 | MDF -Porta lente | XIX Secolo | |
| 28 | MDF -Analizzatore | XIX Secolo | |
| 29 | MDF -Biprisma di Fresnel | XIX Secolo | |
| 30 | MDF -2 lenti di grandi e diverse dimensioni | X Secolo | |
| 31 | MDF -Spettroscopio | XIX Secolo | Inventario 1870 "spettroscopi 2 uno dei quali cattivo" |
| 32 | MDF -Saccarimetro di Soleil | XIX Secolo | |
| 33 | MDF -Saccarimetro | XIX Secolo | compaiono nell'Inventario del 1870 |
| 34 | MDF - Microscopio solare | XIX secolo | Donazione Seminario Arcivescovile, Milano (Vengono Inferiore, Varese) / Teca B-12 |
| 35 | MDF - Spettroscopio | | Teca B-12 |

| | | | |
|----|--|----------------------------|---|
| 36 | MDF - Microscopio da proiezioni | | Teca B-12 |
| 37 | MDF - Flaconcini con polveri coloranti usati in Microscopia | Fine XIX secolo | Costruttore Dr.Theodor Schuchardt, Chemishe Fabrik. Gorlitz/ Teca B-12 |
| 38 | MDF - Flaoncini con liquidi coloranti usati in Spettroscopia | Fine XIX secolo | Teca B-12 |
| 39 | MDF - Micrometri oculari | 1929 | 13/luglio/1929 / Teca B-12 |
| 40 | MDF - Camera lucida di Abbe | Fine XIX- Inizio XX secolo | Inventata nel 1807 da W.H. Wollaston (1766-1828)/ Costruttore E. Leitz, Wetzlar / Teca B-12 |
| 41 | MDF - Microscopio semplice | XIX secolo | |
| 42 | MDF - Microscopio semplice | | Prototipo dei microscopi semplici costituito da una piccola lente biconvessa, da un portaoggetti e da una ruota dentata per la regolazione della messa a fuoco. Probabilmente, venne costruito in Olanda da Antoon van Leeuwenhoek (1632-1723), XVII-XVIII secolo |
| 43 | MDF - Micoroscopio semplice di Campani | | Giuseppe Campani in Roma / Teca B-12, XVII secolo |
| 44 | MDF - Microscopio composto | | Teca B-12, Inizio 1900 |
| 45 | MDF - Microscopio composto Hartnack | | Costruttore : Ditta E. Hartnach, Paris et postdam-Donazione Istituto Anatomia Comparata (prof. G. Minelli) /Teca B-12, fine XIX secolo |
| 46 | MDF - Microscopio composto Hartnack | | Costruttore : Ditta E. Hartnach, Paris et postdam-Donazione Istituto Anatomia Comparata (prof. G. Minelli) /Teca B-12, fine XIX secolo |
| 47 | MDF - Microscopio composto Hartnack | | Costruttore : Ditta E. Hartnach, Paris et postdam-Donazione Istituto Anatomia Comparata (prof. G. Minelli) /Teca B-12, fine XIX secolo |
| 48 | MDF - Otto obiettivi e un contenitore Koritska di Milano | | Teca B-12 , XIX secolo |
| 49 | MDF - Dispositivo Ottico di C. Zeiss | | Teca B-12, XX secolo |
| 50 | MDF- Camera per raccogliere gas | | Teca B-12, fine '700 |
| 51 | MDF- Microscopio orizzontale con lampada ad alcool | | Costruttore: Samuel Highley, Londra /Donazione Istituto DI Anatomia Comparata (Prof. G. Minelli)/ Teca B-12, XIX secolo |
| 52 | MDF - Cassetta oculistica | | Costruttore: A. Lucas-Cretes, Paris / Teca B-12 , 1870 circa |
| 53 | MDF- Portaluca non munito di microscopio con 5 diaframmi | | Teca B-12 , XIX secolo |
| 54 | MDF- Scatola per micorscopio | | Teca B-12 , XIX secolo |
| 55 | MDF - Eliostato di silbermann | | Sistema per dirigere un raggio solare in una direzione fissa attraverso un movimento ad orologeria che insegue il sole nel suo moto diurno / Teca B-12 / Costruttore J.Duboscq in Paris / Inv. MDF:341, seconda meta del XIX secolo |
| 56 | MDF - Lente piano-convessa con supporto diametro 50 cm | | Teca C-9 |
| 57 | MDF - Specchio concavo con supporto diametro 46 cm | | |
| 58 | MDF - Specchio argentato e ossidato diametro 35 cm | | |
| 59 | MDF - Specchio argentato e ossidato diametro 35 cm | | |
| 60 | MDF - Specchio concavo ossidato e argentato diametro 40 cm | | Inventario 1870 |
| 61 | MDF - Lente di Fresnel con supporto diametro 48 cm | | |
| 62 | MDF - Macchina fotografica a soffiutto (Camera Bellows) | | Costruttore: Emilio Resti, milano / Donazione Seminario Arcivescovile, Milano (Venegono |

| | | | |
|----|--|------|---|
| | | | Inferiore, Varese), XIX secolo |
| 63 | MDF - Macchina fotografica a soffietto (Camera Bellows) | 1890 | |
| 64 | MDF - Macchina fotografica a soffietto | | Donazione Seminario Arcivescovile, Milano (Venegono Inferiore, Varese) / Teca C-7, XIX secolo |
| 65 | MDF - Chiassis a persiana doppia | | Supporto per lastre fotografiche / Teca C-7, seconda metà XIX secolo |
| 66 | MDF - Cinepresa con chassis in legno | | Montion Picture Camera in Wooden Case / numero inventario indicato sull'oggetto 397/ Teca C-7, XX secolo |
| 67 | MDF - Lanterna magica | | Costruttore Gallois - Lion , Francia /numero inventario indicato sull'oggetto 145/ Teca C-7/Inventario 1870 "lanterna di Duboscq con lenti da lanterna....per il fosforiscopio" |
| 68 | MDF - Obiettivi fotografici | | XIX secolo |
| 69 | MDF - Obiettivo fotografico | 1860 | Costruttore: Voigtländer & Sohn, Vienna-Braunschweig |
| 70 | MDF - Obiettivo per lampada da proiezione | | "Cinematographes Pathes" Projections Lens/Donazione Seminario Arcivescovile, Milano (Venegono Inferiore, Varese) / Teca C-7, XIX secolo |
| 71 | MDF - Microscopio catadiottrico di Amici | 1820 | inventario 464 / teca nell'antiaula |
| 72 | MDF - Banco ottico per esperimenti di diffrazione e interferenza con accessori | | Inventario 634 / Teca nell'antiaula, prima metà dell'800 |
| 73 | MDF - Spettroscopio (piano terra) | | |
| 74 | MDF - Spettroscopio a visione diretta | | Costruttore: Steinheil in München. |
| 75 | MDF - Telescopio con cassetta | | |
| 76 | MDF - Telescopio | | |
| 77 | MDF - Oculare per macchina fotografica | | Carl Zeiss Jena. F = 30cm. |
| 78 | MDF - Telescopio | | Inventario 504. Carl Zeiss Jena. |
| 79 | MDF - Telescopio Gregory a riflessione | | Di Domenico Selva |
| 80 | MDF - Ingranditore fotografico | | Costruttore: Ernst Leitz Wetzlar |
| 81 | MDF- Apparato di proiezione di Duboscq | | Inv. Ist. Fisica 654 |
| 82 | MDF- Fosforiscopio di Becquerel | | Inventario 1870 "fosforiscopio di Becquerel" |
| | | | |
| | GEODESIA (13 apparati) | | |
| | | | |
| 83 | MDF - Sestante | | |
| 84 | MDF - Livello | | Costruttore: J. Somalvico. Hatton Garden, London. |
| 85 | MDF - Cannocchiale di lettura per strumenti con metodo ottico a distanza | | Inventario 402. Edelmann, München |
| 86 | MDF - Livella a cannocchiale, Surveyor's Level | 1870 | Inventario 774. Strumento impiegato per rilevazioni geodetiche. Costruttore: Pasquale Citteli, Milano/ Inventario 1870 è in meccanica "livello a cannocchiale" |
| 87 | MDF - Catetometro semplice | | Inventario 775. Strumento per laboratorio per la rilevazione di piccoli dislivelli, ad esempio l'innalzamento capillare in un tubo. Costruttore: Secretan, Parigi. Seconda metà XIX secolo/Inventario 1870 sezione meccanica e forze molecolari |
| 88 | MDF - Catetometro doppio (ha due cannocchiali separati) | | |
| 89 | MDF- Teodolite | | Costruttore Brunner, Paris |
| 90 | MDF- Teodolite | | Costruttore Ertel und Sohn, München |
| 91 | MDF- Teodolite | | Costruttore Ertel und Sohn, München |
| 92 | MDF- Teodolite | | Costruttore Brunner n.13 |
| 93 | MDF- Teodolite | | Costruttore Brunner n.24 |

| | | | |
|-----|---|------------------------|--|
| 94 | MDF- Teodolite | | Costruttore Brunner n.54 |
| 95 | MDF- Teodolite | | Costruttore Brunner n.31 |
| | FISICA ELETTRICA (52 apparati) | | |
| 96 | MDF - Macchina elettrostatica tipo Wimshurst | Anni '30 del Novecento | Costruttore: A. Pichlers Witwe und Sohn |
| 97 | MDF- Macchina a induzione di Voss | XIX secolo | Inventario 347. Costruttore: Dall'Eco |
| 98 | MDF - Pettine per macchina elettrostatica | XIX - XX secolo | |
| 99 | MDF - Biossido di manganese | 1812 | Catalogo 1835 "due pile secche alla Zamboni" |
| 100 | MDF - Apparato di tre cilindri in vetro | | Forse per elettrolisi |
| 101 | MDF - Apparato con disco rotante | | "Ruota di Barlow" in versione moderna (fatto in casa a meta' del '900) |
| 102 | MDF - Pila di Grenet | XIX secolo | 1870 circa |
| 103 | MDF - Macchina elettrostatica a disco | Fine '800 | |
| 104 | MDF - Elettroforo di Volta | | Inventario 1870 "elettroforo grande" sezione elettrostatica |
| 105 | MDF - Pila di Volta | | Catalogo 1835 "due elementi di pila alla Wollaston" |
| 106 | MDF - Elettroforo di Volta con dischetti di metallo con manico isolante | | Catalogo 1835 "Tre elettro-fori, uno grande con piatto inferiore di rame e pelle di gatto, uno mediocre colla schiacciata di zolfo, l'altro piccolo in custodia" Inventario 1870 "elettroforo piccolo" sezione elettrostatica |
| 107 | MDF - Targa con scritto VOLTA | | Inventario 674. |
| 108 | MDF - Pila a bicchieri o a tazze | XIX secolo | Donazione Seminario Arcivescovile, Milano (Venegono Inferiore, Varese)/ Inventario 1870 sezione elettrodinamica |
| 109 | MDF - Galvanometro a magneti mobile tipo Bourbouze | '800 | Inventario 337 |
| 110 | MDF - Accessori per esperimenti di elettrostatica | '800 | |
| 111 | MDF -Voltometro elettrostatico di Lord Kelvin | '800 | Inventario 404. |
| 112 | MDF -Piccolo galvanometro Bourbouze | '800 | Costruttore : Emilio Resti/ Milano |
| 113 | MDF - motorino di Ritchie | | Per simulare l'ago magnetico |
| 114 | MDF - Spinterometro oscillatore ad olio | | Seminario Arcivescovile di Bologna/Catalogo 1835 "spinterometro con vite micrometrica" Inventario 1870 "spinterometro di Riess" sezione elettrostatica |
| 115 | MDF - Punte metalliche scaricative | '800 | |
| 116 | MDF - Elettroscopio a foglie d'oro | | XIX sec. |
| 117 | MDF - Elettrometro atmosferico di Peltier | | XIX sec. / Catalogo 1835 "un elettro-metro condensatore, con isolatore da montare il condensatore senza l'elettro-metro" |
| 118 | MDF - Elettroscopio condensatore foglie d'oro | | Catalogo 1835 "sette elettroscopi, uno a pendolini, due a foglie d'oro, quattro a pagliuzze"/Inventario 1870 "elettroscopio a foglie d'oro" sezione elettrostatica |
| 119 | MDF - Emisferi e sfere di cavendish | | XIX sec. Inventraio 685. |
| 120 | MDF - Bottiglia di Leida | | '800 |
| 121 | MDF - Bottiglia di Leida | | '800 |
| 122 | MDF - Bottiglia di Leida scomponibile | | '800 |
| 123 | MDF - Condensatore di Epino | XIX secolo | Inventario 680/Inventario 1870 sezione elettrostatica |
| 124 | MDF - Batteria di bottiglie di leida | '800 | Leyden Jars / Catalogo 1835 "Nove bocce di Leyden, una luminosa, un'altra ad armatura |

| | | | |
|-----|--|------------|---|
| | | | mobile, due senza conduttore”; “cinque mediocri bocce Leidensi della stessa forma, tre delle quali senza conduttore esterno”; “sei grandi bottiglie di Leyden, una luminosa, un’altra con piattello per la combustione dell’alcool”; Inventario 1870 “batteria di Leida” sezione elettrostatica |
| 125 | MDF - Coppia di bottiglie di Leida | '800 | |
| 126 | MDF - Voltmetro elettrostatico multicellulare | Inizi '900 | Ideato da W. Thomson (Lord Kelvin) / Costruttore Hartmann-Braun, Francoforte / num inv 603 |
| 127 | MDF - Induttanza o resistenza variabile | XIX secolo | seminario arcivescovile, Milano |
| 128 | MDF - Galvanometro | XIX secolo | Georg Bartels Gottingen |
| 129 | MDF - Galvanometro Simens | | XIX-XX secolo; Costruttore : Siemens |
| 130 | MDF - Bussola dei seni | 1837 | Claude Poulliet |
| 131 | MDF - Galvanometro balistico Simens | | XIX-XX secolo; Siemens e Halske |
| 132 | MDF - Fotometro di Wheatstone | | Costruttore Lerbours et Secretan, Parigi / Inventario 1870 “fotometro di Wheatstone” sezione ottica |
| 133 | MDF - Segnale elettromagnetico di Deprez | | Costruttore E. Zimmerman Berlin |
| 134 | MDF - Coppia di agi astatici | | |
| 135 | MDF- Galvanometro astatico di Nobili | | XIX sec. / Catalogo 1835 “Galvanometro comparabile del Nobili con pile termo-elettriche convenienti” |
| 136 | MDF - Galvanometro a magneti mobile | circa 1930 | Colore rosso e nero |
| 137 | MDF - Galvanometro o elettrometro da dimostrazione (usato a lezione, c’è scala molto grande, da controllare) | | |
| 138 | MDF - Bussola dei seni e delle tangenti | | XIX sec, Inv. 697 |
| 139 | MDF - Elettrometro di Edelmann | | Inv 394 |
| 140 | MDF - Apparato per le correnti di Foucault | | Inv. 5429/1-5429/2 / Inventario 1870 sezione elettrodinamica |
| 141 | MDF - Pendolo di Waltenhofen | | |
| 142 | MDF- Galvanometro verticale di Nobili | | |
| 143 | MDF - Elettrodinometro di Hartmann & Braun | | Inv. 339 |
| 144 | MDF - Galvanometro e magnetometro di Weber | | Inv. 340 / Inventario 1870 “elettrodinometro di Weber” sezione elettrodinamica |
| 145 | MDF - Apparecchio per le rotazioni elettromagnetiche | | |
| 146 | MDF - Telaio in legno con spira, apparato di Ampère | | |
| 147 | MDF - Bussola a declinazione o declinometro | | Catalogo 1835 “bussola di declinazione in scatola di mogany con archi graduati, e sopra tavoletta di lavagna” (sezione magnetismo) |
| | PNEUMATICA E IDROSTATICA (7 apparati) | | |
| 148 | MDF - Stalagmometro " Traube" | | |
| 149 | MDF - Serie di densimetri | | |
| 150 | MDF - Acciarino pneumatico | | |
| 151 | MDF - Acciarino pneumatico | | XIX sec; seminario arcivescovile Bologna / Inventario 1870 “altro acciarino antico con ruota di acciaio, per agire nel vuoto, come è descritto dallo ‘s Gravesande” |
| 152 | MDF - Termometri di precisione (a capillare) | | |
| 153 | MDF - Densimetri | | |
| 154 | MDF - Piezometro di Oersted | | XVIII sec; seminario arcivescovile Bologna / Inventario 1870 “è in capillarità, aerostatica, |

| | | | |
|-----|---|--|--|
| | | | idrostatica, idrodinamica” |
| | | | |
| | ACUSTICA (28 apparati) | | |
| | | | |
| 155 | MDF - Risonatori di Helmholtz | | Inventario 1870: “collezione di 10 risuonatori di Helmholtz” |
| 156 | MDF - Analizzatori armonici di König con risonatori cilindrici | | Inventario 1870: “apparecchio di 4 tubi di ottone detto di Helmholtz e Koenig” |
| 157 | MDF - Analizzatori armonici di König | | |
| 158 | MDF - Apparecchio a specchi rotanti | | |
| 159 | MDF - Diapason elettromagnetico con cassetta di risonanza | | |
| 160 | MDF - Diapason con cassa di risonanza | | |
| 161 | MDF - Diapason elettromagnetico con interruttore a mercurio | | |
| 162 | MDF - Diapason elettromagnetico | | XIX sec; inv. Istituto di Fisica A.Righi 355 |
| 163 | MDF - Diapason con cassa di risonanza | | |
| 164 | MDF - Diapason elettromagnetico con cassetta di risonanza | | Inv. Istituto di Fisica 765 |
| 165 | MDF - Diapason elettromagnetico | | Inv. Istituto di Fisica 545 |
| 166 | MDF - Serie di diapason elettromagnetici (in cassetta) per le figure di Lissajous | | Inventario 1870: “apparecchio di Lissajous” |
| 167 | MDF - Ensemble di diapason e risonatori di Helmholtz | | Inventario 1870: “cassetta di diapason con bicchieri” “apparecchio di 5 diapason e 5 risuonatori per le vocabili” Più avanti “collezione di diapason con cassetta rinforzante e cioè tre diapason ut3, 1 ut4, 1 ut4-4, 1 mi3, 1 sol3, 1 la3” |
| 168 | MDF - Metronomo | | Inventario 1870 |
| 169 | MDF - Archetti | | Catalogo 1835 “archetto di violino” Inventario 1870 “arco da violino” |
| 170 | MDF - Ruota di Savart | | Inventario 1870 “detto per il rinforzo dei suoni di Savart”; “ruota di Savart con accessori” |
| 171 | MDF - Apparato per il confronto delle vibrazioni di due colonne sonore d'aria | | Inventario 1870: “apparecchio per la trasmissione delle vibrazioni”; “apparecchio per dimostrare i nodi e ventri nei tubi sonori”; “apparecchio di interferenza con 2 tubi a capsule e specchio girante e becchi a gas”; “apparecchio di Quinke per l’interferenza con capsule e becchi a gas”; “detti per la trasmissione delle vibrazioni detto a fiamme cantanti” |
| 172 | MDF - Portavoce | | Portavoce 1870 |
| 173 | MDF - Fischietto di Galton | | |
| 174 | MDF - Imboccatura per tubo acustico | | Inventario 1870: “cornetto acustico” |
| 175 | MDF - Imboccatura ad ancia o fischietto | | Inventario 1870 “fischio da locomotiva” |
| 176 | MDF - Sirena doppia di Helmholtz | | Inventario 1870 |
| 177 | MDF - Variatore di tono di Stern (300 - 600 Hz) | | |
| 178 | MDF - Sirena di Cagniard de La Tour | | Inventario 1870 |
| 179 | MDF - Altoparlante a tromba | | |
| 180 | MDF - Piallatrice per cilindri di cera | | |
| 181 | MDF - Altoparlante con diaframma, supporto per fissarlo | | |
| 182 | MDF - Apparecchio di Trevelyan | | |
| | | | |
| | MECCANICA (14 apparati) | | |
| | | | |
| 183 | MDF - Calibro con micrometro "Demoulin | | |

| | | | |
|-----|--|--|---|
| | E Froment", Paris | | |
| 184 | MDF - Bilancia da speciale con pesetti in scatola associata | | |
| 185 | MDF - Pendolo di Borda | | Inventario 1870 "Con feramenti e misuratori di lunghezza" |
| 186 | MDF - Bilancia Analitica | | |
| 187 | MDF - Orologio cronometro da marina | | XIX sec. costruttore Joseph Koholshitter, Milano |
| 188 | MDF - Apparato per lo studio degli urti elastici | | |
| 189 | MDF - Modello di locomotiva | | dono papa Pio IX / Officina meccanica di Castel Maggiore |
| 190 | MDF - Macchina di Atwood | | XIX sec. inv: 346 / Catalogo 1835 "bella macchina d'Atwood completa, coi suoi pesi in cassetta di mogany"; "altra macchina d'Atwood descritta da Brisson (incompleta)". Inventario 1870 |
| 191 | MDF - Macchina di Morin | | XIX sec./Inventario 1870, "cilindro di Morin" |
| 192 | MDF - Giroscopio di Foucault | | Inventario 1870 "giroscopio di Foucault"; "pendolo di Foucault con tavolino e feramenti" |
| 193 | MDF - Apparato per la dimostrazione delle onde meccaniche | | |
| 194 | MDF- Bilancia di precisione con micrometro | | Costruttore Galileo Sartorius, Firenze, 900 |
| 195 | MDF- Bilancia di precisione con manopola | | Costruttore Galileo Sartorius, Firenze, 900 |
| 196 | MDF- Bilancia di precisione | | Costruttore Sartorius Werke Göttingen, 900 |
| | TERMODINAMICA (48 apparati) | | |
| 197 | MDF - Braccio sostegno snodabile | | |
| 198 | MDF - Calorimetro a ghiaccio (modello Lavoisier-Laplace) | | Inventario 1870 "calorimetro di Laplace" sezione calorico "detto di raffreddamento" "detti con le mescolanze" |
| 199 | MDF - Apparecchio di S.Gravesande per la dilatazione termica cubica dei corpi | | |
| 200 | MDF - Specchi parabolici | | |
| 201 | MDF - Morsetto in legno e avorio finemente lavorato e tornito | | |
| 202 | MDF - Apparecchio di S.Gravesande per la dilatazione termica lineare dei corpi (pirometro) | | |
| 203 | MDF - Piccolo laminatoio | | XIX sec. |
| 204 | MDF - Pompa da vuoto rotativa a bagno d'olio | | 's Gravesande |
| 205 | MDF - Termometro metallico | | XIX sec; num inv: 800 |
| 206 | MDF - Globi esperimenti sulla radiazione termica | | XIX sec. |
| 207 | MDF - Specchio parabolico | | XIX sec; num inv: 450-1 |
| 208 | MDF - Coppia di specchi parabolici con supporto in legno | | XIX sec |
| 209 | MDF -ignoto | | Meta XIX sec; num inv: 369 |
| 210 | MDF -ignoto | | XIX sec; Costruttore: Regnier di Parigi- num inv:375 |
| 211 | MDF - Termometro di Riess | | XIX-XX sec; Max Khol Chemnitz |
| 212 | MDF -Versione semplificata die vasi comunicanti | | XIX sec. |
| 213 | MDF -Manometro | | XIX sec. PIXU- Dumstier |
| 214 | MDF -Altimetro | | XIX sec. |
| 215 | MDF -Termografo | | XIX sec. |

| | | | |
|-----|---|-------------------|--|
| 216 | MDF -Termometro Tremeschini | | XIX sec. |
| 217 | MDF - Manometro ad aria libera | | XIX sec. |
| 218 | MDF - Coppia di termopile di Nobili con accessori | | costruito da laboratorio Deleuil di Parigi |
| 219 | MDF - Astuccio portatermometro in cuoio | | XX sec. |
| 220 | MDF - Astuccio portatermometro in cuoio | | XIX sec. |
| 221 | MDF - Astuccio portatermometro in cuoio | | XIX sec. |
| 222 | MDF - Barometro | | XIX sec. |
| 223 | MDF - Volumenometro | | XIX sec. |
| 224 | MDF - Barometro firmato Bellani, prima metà dell'800 | | Inv. Istituto Fisica accessori 362/2- 362/4 / Catalogo 1835 “quattro termometro grafi del celebre Bellani; due verticali da immersione, e due in tavoletta di legni; il più moderno dei quali è a doppio tubo: questo, e i primi due sono a galleggianti di ferro dolce, e ad essi appartengono le tre piccole calamite a ferro da cavallo annesse” Sezione Idronamica Aria “eccellente barometro a pozzetto mobile con doppia graduazione, inglese e francese, in tavoletta metallica, con un nonio per ciascuna graduazione, e con incassatura di radice di noce”; “barometro del celebre Bellani a pozzetto mobile, e a galleggiante di avorio” “termo-barometro del celebre Bellani” |
| 225 | MDF - Barometro a sifone francese firmato Secretan, '800 | seconda metà '800 | |
| 226 | MDF - Barometro francese Fortin francese di Salleron | metà del '900 | |
| 227 | MDF - Barometro Fortin italiano firmato SIAP | | |
| 228 | MDF - Barometro Giuseppe Brusa | | Costruttore Giuseppe Brusa |
| 229 | MDF - Barometro Fortin, fine '800 | | Inventario 1870 “con treppiedi ed astuccio” |
| 230 | MDF - Barometro a sifone Avrone | | Riccardo Avrone |
| 231 | MDF - Barometro a sifone | | |
| 232 | MDF - Barometro Fortin francese, firmato Salleron, '800 | | prima metà 800 |
| 233 | MDF -Manometro ad aria compressa | | Deleuil |
| 234 | MDF- Tachimetro Scheffer and Budenberg | | |
| 235 | MDF- Talpotasimetro Scheffer and Budenberg | | |
| 236 | MDF- Manometro Scheffer and Budenberg | | |
| 237 | MDF- Manometro Allemano Torino | | |
| 238 | MDF- Manometro C. Wilh. Stein Sohn | | |
| 239 | MDF- Campana a vetro per pompa a vuoto | | |
| 240 | MDF - Banco di Melloni per calore raggianti con accessori | | |
| 241 | MDF - Termoscopio ad aria italiano firmato Francesco Viero (1782) | | |
| 242 | MDF - Barometro a sifone | | |
| 243 | MDF - Barometro Fortin, firmato G.R. Duroni, '800 | | |
| 244 | MDF - Elettrometro capillare di Lippmann | | |

Aggiornato al 27 gennaio 2022.

Bibliografia

- Agliolo Gallitto, A., Chinnici, I. & Bartolone, F. (2018). La Collezione degli strumenti storici di Acustica dell'Università di Palermo. *Museologia Scientifica nuova serie*, 12, 48-54. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/09495d83105b06fda7db0b7aab84fa6e.pdf>
- Angelelli, G. (1780). *Notizie dell'Origine, e Progressi dell'Istituto delle Scienze di Bologna e sue Accademie con la Descrizione di tutto ciò, che nel medesimo conservasi. Nuovamente compilate, ed in questa forma ridotte per ordine, e comandamento Degli' Illustrissimi, ed Eccelsi Signori Senatori dello stesso Istituto Prefetti*. Istituto delle Scienze, Bologna. Archivio Storico dell'Università di Bologna.
- Bedini, S. A. (2021). *Giuseppe Campani, "Inventor Romae," an Uncommon Genius* (Zanetti, C., Ed.). Brill. Biblioteca Universitaria di Bologna, via Zamboni 33.
- Bellone, E. L'Ottocento. Introduzione. Le radici del sapere contemporaneo. In *Storia della Scienza* (2003). Treccani. https://www.treccani.it/enciclopedia/1-ottocento-introduzione-le-radici-del-sapere-contemporaneo_%28Storia-della-Scienza%29/
- Bernarduzzi, L., Bernardi, E. M., Garbarino, M. C. & Cusella, G. (2019, 23-25 ottobre). Collezioni di anatomia e fisica all'Università di Pavia tra ricerca, partecipazione e nuove tecnologie digitali. *Museologia Scientifica Memorie*, N.21/2020, 69-75. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/718f5e0456d32e3f65408bcfbaeff80.pdf>
- Bertozzi, E. (2019). *La materia oscura delle Università: musei di fisica e musei creati dai fisici*, relazione ad invito al 105° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, Gran Sasso Science Institute, L'Aquila, 23 - 27 settembre 2019.
- Bevilacqua, F. & Esposito, S. (2021). 40 years of history of physics in Italy. *Centaurus*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1600-0498.12422>
- Brenni, P. (1995). *Gli strumenti di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano. Ottica*. Giunti, Prato.
- Brenni, P. (2000). *Gli strumenti di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano. Eletticità e magnetismo*. Le Lettere, Firenze.
- Brenni, P. (2009). *Il Gabinetto di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano*. Edizioni Polistampa, Firenze.
- Brenni, P. (2010). *The Evolution of Teaching Instruments and Their Use Between 1800 and 1930*. Science & Education.
- Brenni, P., Giatti, A., Serra, L. & Valle, M. (2017, 25-27 ottobre). Valorizzazione di una collezione scientifica: museo e istituzioni collaborano. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 19/2019, 25-29. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/56f7cd6ce7a48f008fa9a81fc2f0ab27.pdf>
- Bud, R., Warner, D. J., Chaplin, S., Johnston, S. & Peterson, B. B. (1998). *Instruments of Science. An Historical Encyclopedia*, Garland Publishing, Inc., New York & London.

- Canadelli, E. (2011). I musei scientifici, Storia d'Italia. Annali 26. Scienze e cultura dell'Italia unita, Einaudi, Torino, 867-893. https://www.academia.edu/5954696/I_musei_scientifici
- Canadelli, E. (2018, 24-27 ottobre). Il patrimonio storico-scientifico italiano: alcune riflessioni tra passato e presente. *Museologia Scientifica nuova serie*, N. 20/2019, 16-19. <https://anms.it/upload/rivistefiles/d01c4b9666fa761c531ade73d8684b91.pdf>
- Catalogo del Gabinetto di Fisica dell'Università di Bologna (1865). Archivio Storico dell'Università di Bologna, via Zamboni 33.
- Chevalier, C. (1860). *Catalogue explicatif et illustré des instruments de Géodésie, Mathématiques, Marine*. Ateliers, 1 bis, Cour Des Fontaines près le Palais-Royal, 158, Paris, p.14. <https://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51672/>
- Comune di Reggio Emilia, Biblioteca Municipale "A. Panizzi", Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze. (1984). *L'eredità Scientifica di Leopoldo Nobili*, catalogo della mostra a cura di Brenni, P., Cadoppi, G., Galluzzi, P., Hackmann, W., Miniati, M., Principe, F., Sbrighi, G., Reggio Emilia.
- Council of the European Union (2018). *Draft Council conclusions on the Work Plan for Culture 2019-2022*. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13948-2018-INIT/en/pdf#http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13948-2018-INIT/en/pdf>
- Di Napoli, C. (1686). *Nuove invenzioni di tubi ottici*. Nella Stamparia di Gio: Giacomo Komarek Boemo, in Roma.
- European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, (2018). *Creative Europe : rediscovering our cultural heritage*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/179502>
- Farnetani, F. & Monsagrati, G. Matteucci, Carlo. In *Dizionario Biografico degli Italiani* (Volume 72) (2008). [https://www.treccani.it/enciclopedia/carlo-matteucci_\(Dizionario-Biografico\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/carlo-matteucci_(Dizionario-Biografico)/)
- Galante, D., Marino, C. & Marzari Chiesa, A. (2004, 10-12 novembre). La collezione di strumenti di Fisica dell'Università di Torino, *Museologia Scientifica Memorie*, N. 2/2008, 287-289. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/97.PDF>
- Ganot, A. (1862). *Trattato elementare di Fisica sperimentale ed applicata e di Meteorologia* (10. ed.). Dott. Francesco Vallardi, Tipografo Editore, Milano.
- Garbarino, C. & Mazzarello, P. (2009, 6 maggio). Tracce della storia: il sistema museale dell'Università di Pavia. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 7/2011, 28-37. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/312.PDF>
- Garuccio, A. & Palatella, R. (1996, 24-25 maggio), La collezione degli strumenti d'epoca di fisica dell'Università di Bari. *Atti del XVI Convegno SISFA*. <http://www.sisfa.org/wp-content/uploads/2013/03/xviGaruccio.pdf>
- Gelpi, E. et al. (2021). Western education in the 19th century. In *Education*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/education/Western-education-in-the-19th-century>

Geodesia. In *Enciclopedia on line*. Treccani. <https://www.treccani.it/enciclopedia/geodesia/>

Gherardi, S. (1835). *Catalogo del Gabinetto di Fisica della Pontificia Università di Bologna chiuso in Agosto Mille ottocento trentacinque colle Aggiunte degli Anni consecutivi*. Archivio Storico dell'Università di Bologna, via Zamboni 33.

Ghiara, M. R. (2009, 6 maggio). Musei Scientifici della “Federico II”: scienza e impegno sociale. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 7/2011,38-46. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/313.PDF>

Giatti, A. & Miniati, M. (2001). *L'acustica e i suoi strumenti. La collezione dell'Istituto Tecnico Toscano*. Giunti, Firenze.

Giatti, A. (2013, 13-15 novembre). Come funziona? La risposta al Museo FirST della Fondazione Scienza e Tecnica. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 15/2016, 144-147. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/bd011d6acc91a20b99f500e31fd41758.pdf>

Koenig, R. (1889). *Catalogue des Appareils D'Acoustique*. Quai D'Anjou 27, Parigi, p.84. <https://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/pdf/sil14-51736.pdf>

Lalande, J. (1769). *Voyage d'un François en Italie fait dans les années 1765 et 1766*. Chez Desaint, Libraire, rue du Foin, Parigi.

Legge 28 marzo 1991, n.113, “Iniziativa per la diffusione della cultura scientifica”, (1991) (Italia). <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:1991-03-28;113>

Leone, M., Paoletti, A. & Robotti, N. (2004, 10-12 novembre). Patrimoni da valorizzare: gli strumenti storico-scientifici delle scuole e degli osservatori della Liguria. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 2/2008, 266-270. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/93.PDF>

Lourenço, M. (2005). Between two worlds: the distinct nature and contemporary significance of university museums and collections in Europe [Tesi di dottorato, Conservatoire National des art set métiers],ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/274383583_Between_two_worlds_The_distinct_nature_and_contemporary_significance_of_university_museums_and_collections_in_Europe

Mayall, J. & Forbes, G. (1886, 17 settembre). The microscope. *Journal of the Society of Arts*, No. 1765, Vol. XXXIV, 1031-1054. <https://www.jstor.org/stable/23852651>

Miniati, M. (2004, 10-12 novembre). Catalogazione di strumenti scientifici: dalla scheda STS alla scheda PST. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 2/2008, 18-20. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/46.PDF>

Miniati, M. Strumenti scientifici. In *Il Contributo italiano alla storia del Pensiero, Scienze* (2013). Treccani. https://www.treccani.it/enciclopedia/strumenti-scientifici_%28Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze%29/

Ministero della Pubblica Istruzione (1870). *Inventario delle proprietà mobili dello Stato esistenti al 31 Dicembre 1870 nel Gabinetto di Fisica compilato a termine dell'art. 17 e seguenti del Regolamento Generale per l'amministrazione del Patrimonio dello Stato e per la contabilità generale, annesso al Regio Decreto 4 Settembre dell'anno 1870 N. 5851*. Archivio Storico dell'Università di Bologna, via Zamboni 33.

Morus, I. R. (2005). *When Physics became king*. The University of Chicago Press, Chicago & London.

Passigli, D. e Socj (1834). *Memorie ed osservazioni edite ed inedite del Cavaliere Leopoldo Nobili colla descrizione ed analisi de'suoi apparati ed istrumenti* (Vol. II), Firenze. Biblioteca storica di Fisica e Astronomia "Guido Horn D'Arturo" di Bologna, via Irnerio 46.

Pearsall, R. (1974). *Collecting and Restoring Scientific Instruments*. David & Charles, London.

Pellin, P. (1819). *Instruments d'Optique et de Précision* (IV Fascicule). Rue de l'Odéon, Parigi, p.4. <https://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51750/>

Schettino, E. (2004, 10-12 novembre). I Borbone a Napoli. La Collezione reale del Musei di Fisica. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 2/2008, 290-292. <http://www.anms.it/upload/rivistefiles/98.PDF>

Tarozzi G. (Cur.). (1983). *Gli strumenti nella storia e nella filosofia della scienza*. Edizioni ALFA, Bologna.

The Cambridge Scientific Instrument Co. (1906). *Physical Instruments*. LTD, Cambridge, p.8. <https://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51708/imagepages/image1.htm>

Troughton & Simms (1880). *General Catalogue of Instruments made by Troughton & Simms, opticians and mathematical instrument makers to Her Majesty's Governements*. 138 Fleet Street, London, p.6. <https://digital.tcl.sc.edu/digital/collection/ariail2/id/2758>

Troughton & Simms (1897). *Catalog*. 138 Fleet Street, London, p.6. <https://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51626/>

Turner, G. L'E. (1998). *Scientific Instruments, 1500-1900. An introduction*. Philip Wilson Publishers, London.

Sitografia

Collezioni e musei di fisica in Italia

[1] <https://www.museionline.info/musei/fisica/2>

[2] <https://fisica-astronomia.unibo.it/it/dipartimento/presentazione>

[3] <https://www.beniculturali.it/luogo/museo-della-strumentazione-storica-del-liceo-galvani>

[4] <https://www.museionline.info/musei/collezione-di-fisica-sassari>

- [5] <https://www.uniss.it/ateneo/organizzazione/musei>
- [6] <https://www.olbia.it/inaugurato-il-museo-scientifico-muniss-delluniversita-di-sassari>
- [7] https://www.unica.it/unica/it/ateneo_s03_ss07.page?contentId=STR4759
- [8] <https://www.difi.unige.it/it/dipartimento/museo>
- [9] <https://www.liceovoltacomo.edu.it/pagine/museo-di-fisica>
- [10] <http://museo.liceofoscarini.it/>
- [11] http://www.museiparma.it/site/?page_id=1347
- [12] <https://www.dsfta.unisi.it/it/dipartimento/musei-scientifici/collezione-di-strumenti-di-fisica>
- [13] <https://www.simus.unisi.it/servizi/escac/>
- [14] <https://www.gabinettostorianaturale.it/>
- [15] <https://brunelleschi.imss.fi.it/censimento/ischeda.asp?cr=408>
- [16] <https://www.beniculturali.it/luogo/museo-del-gabinetto-di-fisica-dell-universita>
- [17] <https://www.uniba.it/ateneo/sedi-strutture/sima/strutture/fisica/fisica/collezione-storico-scientifica-del-dipartimento-di-fisica>
- [18] <http://www.cmsnf.it/museo-di-fisica/>
- [19] <https://www.itbelzoni.edu.it/il-museo-storico-belzoni>
- [20] <https://www.museionline.info/musei/museo-di-storia-della-fisica-padova>
- [21] <https://www.unipa.it/Collezione-Storica-degli-Strumenti-di-Fisica-00001/>

Cataloghi

- [22] <http://www.aseiste.org/>
- [23] <https://www.fstfirenze.it/gabinetto-di-fisica/collezione-del-gabinetto-di-fisica/>
- [24] <https://sma.unibo.it/it/il-sistema-museale/collezione-di-fisica>
- [25] <https://catalogo.museogalileo.it/indice.html>
- [26] <https://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/sezioni.html>
- [27] <https://web.uniroma1.it/museofisica/collezioni>
- [28] <http://museo.liceofoscarini.it/virtuale/index.html>
- [29] <https://www.bibliotecadigitale.unipv.eu/handle/20.500.12460/444>
- [30] <https://www.msc.sma.unipi.it/collezioni/>
- [31] <http://www.museovirtualesarpi.it/home.html>
- [32] <http://itinerarivirtuali.musei.unipd.it/>

[33] <http://www.fondazionegalileogalilei.it/>

[34] <https://www.lombardiabeniculturali.it/scienza-tecnologia/>

[35] <http://www.liceoariosto.it/strumentaria/>