

# Una

attività didattico-sperimentale  
al Museo di Fisica dell'Università degli Studi di Bologna

# didattica

# occhi negli occhi

a cura di **Giorgio Dragoni**

Realizzato con la collaborazione di:  
Servizio Pubblicazioni e Informazioni Scientifiche del CNR.

Coordinamento generale: Mario Apice

Museo di Fisica - Dipartimento di Fisica/Sistema Museale d'Ateneo -  
Università degli Studi di Bologna

Si ringraziano tutti i partecipanti alla realizzazione di questo volume e, in particolare, Ambra Tinti e Francesco Serafini per la loro preziosa collaborazione redazionale e informatica.

Si ringraziano altresì il Professor Attilio Forino, le Professoresse Maria Luisa Fiandri e Gloria Nobili per i loro consigli, e le gentili Signore Magda Giorgi e Paola Fortuzzi per i suggerimenti e la rilettura delle bozze.

Si ringrazia, infine, l'Ingegnere Marco Messina per l'assistenza informatica.

Foto: G. Artusi, G. Dragoni, P. Fortuzzi, A. Grilli, F. Minucci, F. Serafini, M. Stabellini,  
F. Varoli, E. Verardi.

Progetto: Orfeo Pagnani, **om** grafica - roma

## Premessa Generale

Il presente volume ripropone con integrazioni, modifiche, correzioni il volume didattico "Farfare Fisica", pubblicato nel 2000 in occasione della Mostra internazionale "Communication", tenutasi a Bologna in Palazzo Re Enzo e nel Palazzo del Podestà dal 30 Agosto al 6 di Novembre dello stesso anno. L'attuale edizione, e la sua migliorata veste grafica e tipografica, si deve all'incoraggiamento ricevuto dal Magnifico Rettore dell'Università di Bologna, Prof. Pier Ugo Calzolari, nell'ambito delle iniziative per la realizzazione del Museo della Scienza e della Tecnologia Contemporanea della nostra Università. Realizzazione che avverrà, e sta avvenendo, per tappe successive, a partire dai materiali storici, recenti e didattici, appunto, dell'attuale Museo di Fisica. Le ricerche e i lavori per la realizzazione di questo nostro volumetto si devono, inoltre, al sostegno, anche economico, ricevuto nel corso di questi anni dal Prof. Renzo Predi, Direttore dello SMA (Sistema Museale d'Ateneo), dai Direttori della Sezione di Bologna dell'INFN e dai Progetti Finalizzati Beni Culturali del CNR. In particolare, la presente stampa si deve a un finanziamento ottenuto dal Curatore grazie ai fondi per l'Innovazione Didattica messi a disposizione dal Pro Rettore per la Didattica della nostra Università, Prof. Walter Tega.

Nell'ambito degli studi condotti per promuovere nuove attività didattiche, all'interno del corso di Storia della Fisica e in altri insegnamenti del corso di Laurea in Fisica della Facoltà di Scienze mm. ff. nn., si sono elaborati nuovi modelli didattico-sperimentali utilizzabili appunto in quegli insegnamenti. Tra questi ricordiamo le schede didattiche emerse dal lavoro di Tesi della Dott.ssa Elena Verardi riguardante il modello atomico di J.J. Thomson e, analogamente, quello del Dott. Marco Stabellini, relativo al Calorimetro di J.R. Mayer.

Altre indagini storiografiche e altri modelli sono stati progettati e sono in via di realizzazione grazie ai finanziamenti ricevuti per l'Innovazione didattica. In particolare, tra poco dovrebbero essere completati i lavori e le ricerche per integrare questa nostra pubblicazione (che deve essere considerata un Work in Progress) con altri due modelli. Uno riguardante il Modello Atomico di Rutherford, consistente nella replica dell'apparato utilizzato da H. Geiger e E. Marsden nel 1909 su suggerimento di Rutherford, ricerca che ha portato ad individuare il famoso *back scattering* delle particelle alfa quando vengono inviate contro sottili lamine di metallo, quali per esempio l'oro e il platino che fungevano da bersaglio (*Target*). Questo modello troverà una sua realizzazione grazie al lavoro di Tesi del laureando Enrico Maraffino e alla collaborazione offerta dal Sig. Giulio Pancaldi (INFN, Officina della Sezione di Bologna). Altri modelli in via di studio sono la Camera a Nebbia che mostri, visivamente, la pioggia di raggi cosmici sulla nostra Terra (Lavoro di Tesi di Antonella Dessi); il laureando Andrea Stabellini si sta dedicando alla riproduzione di semplici modelli didattici riguardanti l'Elettromagnetismo. In particolare, tali modelli verranno ispirati dalle ricerche sperimentali di M. Faraday. Un altro modello ancora riguarderà la ricostruzione di una Bilancia di Cavendish, per evidenziare gli effetti di attrazione tra corpi materiali in accordo alla legge di Gravitazione Universale newtoniana.

Man mano che questi dispositivi didattici verranno realizzati, si allegheranno le relative schede didattiche al presente volume.

## Foreword

This volume is a re-edition, featuring a number of integrations, amendments and corrections, of the teaching catalogue “*Farfare Fisica*” published in 2000 for the International Exhibition “Communication” held in Bologna in *Palazzo Re Enzo* and *Palazzo del Podestà* from the 30th August to 6th November of the same year. We owe the publication of this edition, with its new, more attractive layout, by the encouragement received from the Rector of the University of Bologna, Prof. Pier Ugo Calzolari, as part of the initiatives involved in the creation of our University’s Museum of Contemporary Science and Technology. This project will be realised, and is already gradually coming about, starting from historical, recent and teaching materials pertaining to the current Museum of Physics. The research and work involved in the publication of this volume have been made possible by the support, financial and otherwise, received over the years from Prof. Renzo Predi, Director of the SMA (University Museum System), the Directors of the Bologna Section of the INFN and the sums received through the CNR’s Cultural Heritage Fund. In particular, to the funds made available by the Pro Rector for Academic Activity of our University, Prof. Walter Tega, to whom we express our gratitude.

As part of the studies conducted in order to promote new teaching activities, within the History of Physics course and other courses taught as part of the Physics Degree syllabus at the Faculty of Mathematical, Physical and Natural Sciences, new experimental teaching models were developed for use in the aforesaid subjects. These included the fact sheets derived from the thesis by Elena Verardi on J. J. Thomson’s atomic model and that of Marco Stabellini, on J. R. Mayer’s Calorimeter.

The Teaching Innovation funds have also been used to develop and realise other histographic investigations and models, including, in particular, the work and research required to integrate this publication (to be considered as work in progress) with two further models. One of these is Rutherford’s atomic model, a replica of the equipment used by H. Geiger and E. Marsden in 1909, as suggested by Rutherford, in the research work that led to the breakthrough identification of the *back scattering* of alpha particles projected against a thin sheet of metal, such as gold or platinum, acting as a target. The creation of this model will be enabled by the thesis work of undergraduate Enrico Maraffino and the cooperation offered by Mr. Giulio Pancaldi (of the Workshop of the Bologna Section of the INFN – Italian Institute of Nuclear Physics). Other models currently being worked on include the Fog Chamber that visually shows the shower of cosmic rays on the Earth (thesis work of Antonella Dessi) and the reproduction of simple models for teaching electromagnetism, fruit of the thesis work of university student Andrea Stabellini, model inspired by M. Faraday’s experimental research. Moreover, another model will involve the reconstruction of a Cavendish balance, in order to highlight the attraction between material bodies in agreement with Newton’s Universal Law of Gravitation.

The relevant fact sheets of these last quoted models will be added to this volume as the teaching devices are completed.

## Riflessioni sulla didattica museale attuale. Attività didattica al Museo di Fisica.

### Tra ritorno al passato e immersione nel futuro.

La designazione del 2005 come World Year of Physics costituisce un'occasione di grande richiamo internazionale, favorisce l'organizzazione di numerose iniziative culturali, dalle semplici Conferenze, ai Dibattiti su temi scientifici scottanti, agli Incontri con Esperti in situazioni "rilassanti" quali quelle dei Caffè Scientifici, alla proiezione di Filmati scientifici, alla presentazione di spettacoli teatrali inerenti grandi momenti o grandi personaggi nella scienza fisica pura o applicata. Naturalmente, al centro di tutte queste iniziative, si situa il tema fondamentale delle modalità della diffusione della cultura scientifica, della maniera per renderla efficace, del confronto con lo stato attuale delle cose segnato, finora, da un'attenzione forse non sufficientemente mirata alla didattica e alla sua diffusione con conseguenze gravi in tutto il mondo, espresse e manifestate, da un profondo calo dell'interesse dei giovani per le materie scientifiche e dalla conseguente diminuzione delle iscrizioni nei corsi di Laurea delle Facoltà scientifiche.

In particolare, quindi, in questo contesto, troviamo nuove e importanti ragioni per riflettere sui musei e sulle loro implicazioni e potenzialità didattiche attuali. La riflessione è, come sappiamo, tanto più produttiva, quanto più si esercita su casi concreti e vissuti personalmente.

Nel mio caso, si tratta di una riflessione su un'esperienza che si è esercitata e si esercita su un periodo ormai molto lungo di tempo, e che comprende aspetti sia positivi, che negativi. Per un doveroso rispetto verso i nostri Lettori e me stesso citerò gli uni (gli aspetti positivi), senza tacere gli altri (quelli negativi). Sono sicuro infatti che da un confronto franco e sincero non possa che derivare qualcosa di utile per tutti noi, e per i nostri Allievi. Almeno questo è quello che mi auguro.

Mi sia consentito di presentare, spero efficacemente, il tema con due provocazioni. La prima provocazione: "Non c'è miglior modo di imparare che giocando" a cui corrisponde, simmetricamente, "Non c'è modo migliore d'insegnare che divertendo!"

E' un richiamo a superare quei blocchi, quegli ostacoli, quelle difficoltà individuali nell'apprendere, che ognuno di noi trova in se stesso, ma che spesso vengono accentuate dal comportamento del docente, troppo spesso "in cattedra", troppo spesso compenetrato nel suo sapere, per comprendere, vedere e ascoltare le reali esigenze del discente.

La provocazione sta, naturalmente, nel voler ripetere queste ben note affermazioni. La necessità di questa riproposizione deriva dal fatto che anche se individualmente molti di noi sono convinti - per sensibilità personale, per competenze pedagogiche, per esigenze derivate dal proprio esercizio e dalla propria professione didattica sul campo - della fondamentale correttezza di quanto ora sostenuto, socialmente, collettivamente, la situazione che ci troviamo di fronte nelle scuole reali è ancora molto spesso autoritaria. Altro aspetto di queste considerazioni, e altra ragione di voler parlare di una provocazione, che il "principio ludico" su accennato, pur importantissimo didatticamente, non risolve tutto, anzi, come vedremo tra un istante, è spesso mistificato.

Infatti, la seconda provocazione, in contrasto apparente con la precedente, riguarda la sostanziale inutilità didattica di certe forme "ludiche" - ma sarebbe meglio dire "ginniche" - nell'apprendimento, ora molto di moda in molte strutture museali. Questa affermazione si basa su una mia esperienza personale in anni e anni di frequentazione delle principali strutture museali europee: Science Museum di Londra, Deutsches Museum di Monaco di Baviera, La Villette a Parigi, Heureka a Vantaa, Helsinki. La provocazione consiste nel dire che la scelta di far "giocare" gli allievi che visitano i Musei è - questa la mia personale impressione, di cui mi assumo ogni responsabilità - almeno in buona parte inutile, sbagliata, fuorviante ai fini dell'apprendimento.

In molte delle strutture museali in cui si è adottato uno stile da Science Centre, e almeno una sezione di questo tipo è presente in tutte le principali strutture europee, quando l'intera struttura non è totalmente ad es-

sa dedicata, se si realizzassero dei controlli reali, non falsati, non “drogati” statisticamente sull’apprendimento degli allievi dopo la visita al Museo, i risultati culturali raggiunti sarebbero fallimentari. L’incremento nell’apprendimento sarebbe quasi nullo, lo spreco di energie e di costi sociali ed economici enorme, in confronto agli scarsi risultati conseguiti. L’unico risultato rilevante sarebbe quello della maggior motilità, del maggior esercizio fisico, ginnico, effettuato dagli allievi, che si verifica in certe strutture in cui i discenti possono scatenare le proprie energie contro determinati dispositivi didattici lasciati a loro discrezione.

In realtà - al di là delle mie volute provocazioni - un risultato positivo importante, - e naturalmente anche più di uno - si ottiene, quello di consentire il superamento di un blocco verso il Museo, quello cioè di ottenere la familiarizzazione del piccolo visitatore con il museo stesso. Ci troviamo di fronte ad una situazione analoga con gli stessi risultati (ma di segno opposto) a quanto avveniva quando anni fa era di moda far funzionare *exhibit a pulsante*. In molte occasioni in Germania, in Inghilterra e in altri Paesi osservavo gli studenti avviare la macchinetta, premendo il bottone, ed allontanarsene immediatamente, senza osservare lo svolgimento di contenuti dell’*exhibit*; questo quando non si accanivano premendo ripetutamente il bottone, ad esaurimento e/o rottura dello stesso. Non credo di essere stato il solo a fare queste osservazioni, e, spero, che qualcuno possa confermare queste mie impressioni. D’altra parte, alcuni psicologi hanno già offerto un’interpretazione psicoanalitica di questi comportamenti. Mi si potrà forse dire che gli educatori presenti nei Science Centre servono proprio a mediare tra esercizio ginnico ed apprendimento. In molti casi, visti i numeri molto alti dei frequentatori, gli educatori, o meglio il personale addetto alle esercitazioni, possono permettersi solo un ruolo di sorveglianza. Un esempio specifico recente per chi volesse verificare le mie impressioni? Basta recarsi a visitare il Launch Pad del Science Museum di Londra. Queste mie parole, a scanso di equivoci, sono dettate da una grande ammirazione per quanto fatto nel settore museale dagli inglesi, dai tedeschi, dai francesi, dai cechi, dai finlandesi... in confronto a quanto si fa a tutt’oggi in Italia. Quindi le mie parole sono dettate da amore e apprezzamento per quelle strutture. Amore non cieco, però.

Presentato un atto d’accusa, perché questo non resti un’operazione intellettuale vuota, mi sento in obbligo di offrire alla vostra cortese riflessione un’alternativa, una possibile alternativa. Quella di un’autentica didattica “occhi negli occhi”, cioè una didattica diretta, mirata alle esigenze dell’allievo, una didattica in cui ci sia il tempo “per pensare”, un modo per “fare fisica” agli allievi, e lasciarli intervenire senza blocchi, rifiuti o impedimenti, sull’attività per essi preparata. Recuperando, senza timore di essere considerati passatisti, molte cose, attività, modelli didattici preparati nei secoli dai nostri predecessori. Rilegendoli, naturalmente, con i nostri occhi, con la nostra cultura, con i mezzi tecnologici e informatici di cui ora disponiamo.

La forma alternativa di didattica che da anni proponiamo è quella praticata presso i Musei universitari bolognesi - nella struttura che fu il CISMA (Centro interdipartimentale per i Servizi Museografici ed Archivistici) e che attualmente è lo SMA (Sistema Museale d’Ateneo) dell’Università degli Studi di Bologna - e che ha una sua decennale attuazione presso il Museo di Fisica di Bologna, nonostante le difficoltà economiche, le incomprensioni, la scarsità degli spazi a disposizione, i numerosi traslochi senza fine, e purtroppo senza scopo, a cui siamo stati sottoposti. Tale attività è basata su un ritorno dell’insegnamento alla sua forma originale, di rapporto diretto maestro/allievo mediata attraverso modelli didattici estremamente semplici, ma ricchi di contenuti culturali, mediante la riproduzione concreta (non virtuale, anche se in qualche caso l’unico mezzo per diffondere la conoscenza su certi esperimenti può essere solamente di tipo virtuale) di apparati didattico storici in scala, o attraverso un restauro conservativo e funzionale di grandi apparati di eminenti personalità scientifiche del passato, o, ancora, mediante la costruzione di repliche di questi dispositivi. Nel prosieguo di questo fascicolo troverete numerosi specifici esempi di quanto voglio dire. E nella pratica esercitata dal nostro Museo in tanti anni - tramite l’Aula Didattica del Comune di Bologna costituita presso il Museo e le sue insegnanti - possiamo trovare una maniera semplice, modesta ma concreta per operare in quel difficile mondo che è la didattica.

E’ chiaro che la mia è una proposta controcorrente ed ha una portata di semplice esempio personale. Ma alcuni colleghi ed amici che collaborano da anni con me in questa forma di didattica diretta - guardando negli occhi l’allievo - al di là delle forme “moderne” e di “moda” mi confortano del loro appoggio. Così pure mi auguro che gli insegnanti che dagli ormai lontani anni 1970 vengono in visita al Museo di Fisica dell’Università di Bologna potranno confermare una certa qualità didattica non superficiale, da noi offerta e praticata. Non aspiriamo, però, ad una patente di unicità. Per fortuna siamo di fronte ad una realtà che va rapidamente modificandosi. Il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica di Milano ha, a mio parere, cambiato rotta. Positivamente. Muovendosi ormai sulla base di un rapporto didattico molto più diretto tra sperimentatori e visitatori. E di questo notevole sforzo è giusto dargliene atto. D’altra parte, alcuni filoni della pedagogia contemporanea - basta seguire i dibattiti

ti tra steineriani, montessoriani e tradizionalisti, per esempio, per rendersene conto - stanno proponendo una sorta di ritorno al passato, per favorire un futuro didattico migliore. Un ritorno al passato esente, naturalmente, dai difetti che lo hanno caratterizzato.

Nella esperienza di cui diamo testimonianza con il presente volume, i materiali didattici sono stati realizzati grazie all'esperienza del Signor Sergio Tamburini e dell'amico Antonio Grilli, in altri, grazie all'impegno di miei laureandi o ex laureandi e a quello dell'officina della Sezione INFN di Bologna (grazie all'aiuto del signor Giulio Pancaldi e alla collaborazione offerta dai Direttori Professori Antonio Vitale, Paolo Giusti e Maurizio Basile). Ricordo i nomi della Dott.ssa Annalisa Bugini, della Dott.ssa Laura Forti, del Dott. Francesco Serafini e della Dott.ssa Ambra Tinti, ... Per far solo qualche nome. Ma tutti i loro nomi saranno riportati nelle proposte didattiche che seguiranno.

L'obiettivo, l'indicazione culturale, l'esempio suggerito ai mie laureandi è stato quello del recupero di una concezione didattica notevolmente produttiva e pregnante che è stata impiegata per secoli e sino agli anni Cinquanta nelle nostre Università e in molte Scuole Superiori e cioè quella di illustrare fenomeni, concetti e leggi della fisica mediante l'uso di apparati didattico-sperimentali perfettamente funzionanti. Dando modo all'allievo di vedere, toccare con mano, comprendere di che cosa si stesse parlando, in che cosa consisteva un concetto, quali erano le basi osservative di una legge. Una volta compreso questo, il docente poi potrà passare a più alti livelli di astrazione e di formalizzazione matematica. Celebri furono da questo punto di vista le grandi conferenze sperimentali del passato. Si può pensare ad esempi anche non troppo lontani da noi nel tempo e nello spazio: Augusto Righi (1850-1920), Quirino Majorana (1871-1957). Altri esempi ancora sono individuabili nell'opera e nell'insegnamento di stelle di prima grandezza nel firmamento della scienza: André-Marie Ampère, James Clerk Maxwell...

Ma è possibile rinnovare guardando al passato? Utilizzando materiali didattici del passato o loro repliche? Crediamo di sì. Anche perché molti degli strumenti (o loro repliche) che utilizziamo per queste nostre attività didattico-sperimentali hanno ancora a tutt'oggi, dopo molti anni o, addirittura secoli, che sono stati realizzati, una sorprendente vitalità e attualità didattica.

Gli strumenti del passato, inevitabilmente costruiti secondo le concezioni del tempo, secondo teorie allora attuali, ora tramontate, dimostrano una sorprendente capacità di sopravvivenza. Si adattano e superano senza difficoltà le concezioni e le teorie che sono succedute a quelle sulla base delle quali erano nate. Un solo esempio. Un microscopio, un telescopio, costruiti nel sei-settecento sulla base delle convinzioni del tempo sono passati inalterati attraverso le varie teorie formulate successivamente: corpuscolari, ondulatorie e, persino, attraverso le attuali formulazioni quanto-ondulatorie. E' un indice del fatto che gli strumenti sono come un'isola, una *costante*, un'*invariante* in un universo fisico continuamente in mutazione? Forse sì! Certo è che gli strumenti non invecchiano, gli exhibit sì! Almeno certi exhibit delle prime generazioni.

Il presente volume, che illustra concretamente con esempi i temi sopraccennati, è articolato nelle seguenti sezioni che seguono la Premessa e l'Introduzione. Una prima sezione: *Onde*, illustra i fenomeni ondulatori da quelli acustici a quelli elettromagnetici. Una seconda sezione: *Elettromagnetismo Classico* propone i concetti fondamentali dell'elettromagnetismo mediante un CD-ROM e la presentazione di apparati quali il Banco d'Ampère, il Modello per l'Induzione elettromagnetica di Maxwell, ma anche con applicazioni e esempi legati alle macchine e ai motori elettrici quali la Dinamo di Pacinotti o il Motore Asincrono Trifase di Galileo Ferraris. Una terza sezione: *Telecomunicazioni* è dedicata ad illustrare tutta una serie di modelli di apparati didattici, dai primi storici prototipi a quelli del Novecento, con particolare riferimento ai sistemi di trasmissione dei segnali elettrici via filo e ai sistemi senza fili. Naturalmente, questa nostra attenzione è dipesa dal ruolo che la città di Bologna ha avuto nella storia della radiazione. In una quarta sezione *Conservazione dell'Energia* sono presentati interessanti dispositivi per comprendere, o almeno avvicinarsi al principio di Conservazione dell'Energia: il Calorimetro di Joule, il Rotore elettrico di Joule, il Calorimetro di Meyer. Nella successiva sezione *Dagli Elettroni al Modello Atomico* sono presentati il Tubo a raggi catodici di J.J. Thomson e il suo modello atomico. Una sesta parte del volumetto ha per titolo: *Scuole, Modelli e Strumenti Didattici* e riguarda l'attività dell'Aula Didattica del Museo di Fisica dal 1986-1987 ad oggi – anche se il Museo ha svolto attività didattica sin dagli anni Settanta e almeno dalla sua rifondazione nel 1982 – in cui troverà spazio una documentazione e una breve presentazione delle sue realizzazioni didattiche, delle sue iniziative e delle sue *Pubblicazioni*.

E' sulla base di questa speranza nelle possibilità del conoscere e dell'apprendere, e di cui abbiamo parlato più sopra, che abbiamo ancorato le nostre scelte didattiche. Privilegiando nel comunicare con gli allievi la forma diretta, personale, soggettivamente sensibile alle esperienze dei singoli, mediata attraverso modelli didattici

concreti e strumentazioni appositamente elaborate. E' una maniera costosa? Diremmo proprio di no, se da anni la si porta avanti con 2 o 3 unità ( Insegnanti elementari distaccate dal comune di Bologna nella nostra Aula Didattica), con alcuni laureandi, borsisti e volontari e con l'aiuto di alcuni Colleghi, Spiccano fra i nomi quelli di P. Fortuzzi, S. Tamburini e M. Giorgi, M. L. Fiandri, P. Todesco, G. Tomassetti ed altri Amici. Tutti i loro nomi, comunque, sono riportati negli articoli che seguiranno e che illustrano modelli didattici attuali, ricostruzioni e repliche storiche, considerazioni sulle metodologie del restauro (A. Grilli), e qualche prima indicazione a bilancio delle attività svolte.

A nostro parere il vero spreco, come detto, è l'altro. Si potrà obiettare che la nostra esperienza è troppo ristretta, troppo specifica per fare testo. Può essere, anche se da tempo si è allargata non senza difficoltà sul territorio. Pensiamo all'esperienza di Tecnoscienza, a San Giovanni in Persiceto. O a tante attività svolte dai nostri operatori didattici direttamente sul campo, presso le sedi scolastiche che ci invitano, per superare certe e persistenti difficoltà di spazio nella nostra sede.



# Reflections on Current Museum Teaching. Teaching Activities at the Museum of Physics of Bologna University. Halfway between a Return to the Past and a Voyage into the Future.

The designation of 2005 as World Year of Physics constitutes an occasion of great international importance and favours the organisation of cultural initiatives of various kinds: from simple conferences to debates on controversial topics, meetings with experts in “informal” settings such as those of Scientific Cafés, the projection of scientific films, the staging of theatrical productions centring on great moments or great personalities in the history of pure or applied physics. These initiatives will naturally centre around the fundamental theme of diffusing scientific culture, the right way to make it efficient and a comparison with the current state of affairs, marked to date by the arguably inadequate specific attention dedicated to teaching and its diffusion with serious consequences throughout the world, expressed and demonstrated by the dramatic drop in the interest of youngsters in scientific subjects and the consequential reduction in the number of students enrolling for degree courses in science faculties.

This context therefore provides important, new reasons to reflect on museums and their current implications and teaching potential and as we all know, reflections are all the more productive when based around concrete cases and personal experiences.

In my specific case, it is a reflection based on longstanding experience and one that includes both positive and negative aspects. Out of respect for the Reader and myself, I will discuss the positive aspects without neglecting the negative ones and firmly believe that a frank, sincere exchange can only be of benefit to us all and to our Students. At least I hope that this is the case.

The first provocation: “There’s no better way to learn than through play”, which symmetrically corresponds to “There’s no better way to teach than by entertaining!”

This is a call to overcome all those blocks and obstacles, those individual difficulties in learning, that each one of us finds in him/herself, but that are often exacerbated by the behaviour of the teacher, who is all too often “in the pulpit”, all too often too caught up in his/her own knowledge to understand, see and listen to the real needs of the students.

The provocation lies, of course, in the desire to repeat these well-known affirmations, a repetition made necessary by the fact that although as individuals many of us are convinced – out of personal sensitivity, academic competence, or needs arising from personal practice and professional teaching on the field – of the fundamental correctness of these statements, socially and collectively, the current situation in schools is still very often authoritarian. Another aspect of these considerations, and another reason to want to talk of a provocation, is that, as we will see shortly, despite being of extreme didactical value, the aforesaid “ludic principle” is not only inadequate as a universal remedy but also often only serves to complicate matters.

The second provocation, in apparent contrast with the first, relates to the substantial uselessness for teaching purposes of certain “ludic” or, better still, “active” forms of teaching currently in vogue in many museums. This statement is based on my very lengthy personal experience as a visitor to Europe’s most important museums: the London Science Museum, Munich Deutsches Museum, La Villette in Paris and Heureka in Vantaa, Helsinki. My provocation consists in stating that the choice of making Students visiting museums play is, in my personal opinion (for which I accept full responsibility), at least partly useless, wrong and misleading for teaching purposes.

In the many museums that adopt Science Centre styles, and at least one section, if not the entire structure, of this type is present in all leading European museums, if real, non-doped, non-fixed statistical checks were to be carried out on students' learning after a visit to the Museum, the cultural outcome would be a failure. The increase in learning would be next to none and the waste of energy and social and economic costs would be enormous when compared with the poor results achieved. The only result of any consequence would be that of greater movement and physical exercise of the students, as witnessed in certain structures in which students are given the opportunity to unleash their energy on teaching devices as they see fit.

In actual fact, provocations aside, one important positive result, and naturally more than one, is obtained: that of overcoming the block towards Museums and making young visitors familiar with them. We are currently faced with a similar situation with the same results (but with an opposite sign) to that experienced years ago when it was fashionable to use *button-operated* exhibits. On many occasions in Germany, England and other countries, I would observe students start a mechanism by pressing a button and then promptly disappear without so much time as to observe the performance of the content of the exhibit; on other occasions they would press the button again and again until it ran down or broke. I do not believe that I was the only one to make this kind of observation and, I hope, others will be able to confirm my impressions. Certain psychologists have already provided a psychoanalytical interpretation of this behaviour. One could try telling me that the role of Science Centre educators is to mediate between exercise and learning. In many cases, given the very large number of visitors, the educators, or rather those in charge of the exercises, are forced to restrict themselves to surveillance activities. One recent specific example for those who wish to verify my impressions is the Launch Pad at London's Science Museum. Just to set the record straight, these words are dictated by great admiration for the contribution made by the British, Germans, French, Czechs and Finns to the Museum sector, in sharp contrast with the results achieved in Italy. My words are dictated by love and appreciation. However, that love is not blind.

Having presented my charges, in order to prevent this remaining an empty intellectual operation, I feel obliged to offer your kind reflection an alternative, a possible alternative. That of authentic "eye – to – eye" teaching, direct teaching focused on the student's needs, a teaching that leaves time for thinking, a way of getting pupils to "do" physics and allowing them to intervene without blocks, refusals or hindrances on the activities prepared for them. In this way, without the fear of being considered old-fashioned, we can recover the many teaching aids, activities and models prepared throughout the centuries by our predecessors, reinterpreted through our eyes, our culture and using the technological resources and computer equipment that we now have access to.

The alternative form of teaching that we propose is that practised for years in the Museums of Bologna University – in the structure that was formerly known as CISMA (Interdepartmental Museum and Archive Services Centre), with the new denomination of SMA (University Museum System) of the University of Bologna – and that has been employed for the past ten or so years at the Museum of Physics, despite the economic hardships, misunderstandings, limited space and the endless and unfortunately senseless moves, that we have had to deal with. This activity is based on a return to teaching in its original form, the direct teacher – student relationship mediated by teaching models that are extremely simple yet rich in cultural content, through the concrete (not virtual, although in certain cases the only way to diffuse knowledge on certain experiments is virtually) reproduction of historical teaching equipment made to scale, or through a conservative and functional restoration of the larger apparatus of eminent scientific personalities of the past or, again, through the construction of replicas of such devices.

In this short volume you will find numerous examples of what I mean to say and in the contribution made by our Museum over the years – through the Teaching Room set up by Bologna City Authority at the Museum and its teachers – we can find a simple, modest yet concrete, way of operating in that difficult world that is teaching.

Naturally, my proposal goes against the flow and has the capacity of a simple personal example. However, I am comforted by the support of a number of colleagues and friends who have been working with me for years in this direct eye-to-eye form of teaching, which goes beyond the "modern" and "fashionable" approaches. In the same way, I hope that the teachers that have been coming to the University of Bologna's Museum of Physics since the now distant 1970s, can confirm that we offer and practice a certain non-superficial quality of teaching. We do not, however, aspire to a certificate of uniqueness. Fortunately, this situation is changing rapidly and the National Museum of Science and Technology in Milan has, in my opinion, changed direction, for the better, by ope-

rating on the base of a far more direct relationship between experimenters and visitors. And this considerable commitment deserves acknowledgement. After all, as demonstrated by the debates between Steinerians, Montessorians and traditionalists for example, certain contemporary educational science philosophies suggest a return to the past in the interests of better teaching in the future. A return to the past, that is, devoid of the defects that characterised it.

In the experience to which we bear witness with this volume, the teaching materials were created thanks to the expertise of Mr. Sergio Tamburini and our friend Antonio Grilli and in others through the commitment of my undergraduate students, graduates and the workshop of the Bologna section of the INFN (with the help of Giulio Pancaldi and the cooperation of directors as Professors Antonio Vitale, Paolo Giusti and Maurizio Basile). I would like to thank Annalisa Bugini, Laura Forti, Francesco Serafini and Ambra Tinti, ... to mention just a few. However, the names of all those who contributed will be given in the teaching proposals that follow.

The objective, cultural indication and the example suggested to my undergraduates was the recovery of an extremely productive, highly effective teaching concept that was used for centuries and until the 1950s in our universities and many higher secondary schools, namely that of illustrating physical phenomena, concepts and laws using perfectly functional teaching-experimental apparatus. This technique gave students the chance to physically touch, to understand the topic being studied, of what that concept consisted and what the observational bases of a law were. Once this has been grasped, teachers can then move on to higher levels of abstraction and mathematical formalisation. The great experimental lectures of the past were famous for this, those of Augusto Righi (1850-1920) and Quirino Majorana (1871-1957) to mention two, not too distant, examples. Others can be identified in the work and teaching of some of the biggest names in science: André-Marie Ampère, James Clerk Maxwell, etc.

But is it possible to innovate by looking back to the past? Using historical teaching aids or copies of them? We believe it is, partly because many of the instruments (or replicas thereof) that we use for these teaching-experimental activities, after many years or even centuries, still possess surprising teaching vitality and pertinence to modern life.

The instruments of the past, inevitably constructed according to the concept of the time and the theories that were current and were later overcome, show a surprising ability for survival. They adapt and overcome without difficulty, the concepts and theories that followed those on the basis of which they were born. An example? A microscope, a telescope built in the 1600-1700s on the basis of the convictions of the time passed unchanged through the series of corpuscular, undulatory and even the current quantum-undulatory theories that were formulated subsequently. Could it be an index of the fact that instruments are like islands, *constant* and *invariant* in a continuously changing physical universe? Maybe! What we can say for sure is that instruments do not age, whereas exhibits, at least certain first generation exhibits, do.

This volume, which provides concrete examples of the abovementioned matters, is broken down into the following sections that follow the Foreword and Introduction. A first section: *Waves*, illustrates phenomena ranging from acoustic to electromagnetic waves. A second section *Classic Electromagnetism* deals with the fundamental concepts of electromagnetism using a CD Rom and the presentation of apparatus such as an Ampère's table, Maxwell's model of electromagnetic induction, and applications and examples connected to machines and electric motors such as Pacinotti's dynamo or Galileo Ferraris' three-phase asynchronous motor. A third section, *Telecommunications* is dedicated to illustrating a whole series of teaching apparatus models, from the first historical prototypes to those of the 1900s, with particular reference to the systems that transmitted electric signals along wires and wireless systems. Naturally, this attention of ours is dictated by the role played by the city of Bologna in the history of radiation. In a fourth section, entitled *Conservation of Energy*, interesting devices are presented for understanding, or at least coming closer to the principle of the Conservation of Energy: Joule's Calorimeter, Joule's electric Rotor and Meyer's Calorimeter. In the subsequent section, *From Electrons to the Atomic Model*, J. J. Thomson's cathode ray tube and his atomic model are presented. A sixth part of the volume is entitled: *Schools, Models and Teaching Instruments* and focuses on the activities performed in the Physics' Museum's teaching room from 1986-87 to the present day – although the Museum's teaching activities started in the seventies and at least since its re-foundation in 1982 – that provides documentation on and a brief presentation of its teaching creations, initiatives and Papers.

It is on the basis of this belief in the abovementioned possibilities of getting to know and understanding that we have based our teaching philosophy, thus favouring a direct, personal approach that is subjectively

sensitive to the experience of individuals and mediated through concrete teaching models and purpose-built instruments for communicating with students. To those who ask whether it is a costly method, we would say that it would not appear to be so, given that for years it has been implemented through 2 or 3 members of staff (the junior school teachers assigned to our classroom by Bologna City Authority), by undergraduates, fellows and voluntary workers with the aid of a number of colleagues, most notably P. Fortuzzi, S. Tamburini and M. Giorgi, M. L. Fiandri, P. Todesco, G. Tomassetti and other friends. However, the names of all contributors will be included in the articles that follow and that illustrate current teaching models, historical reconstructions and replicas, considerations on restoration methods (A. Grilli) and a preliminary assessment of the results of the activities performed.

In our opinion, it is the other method that represents a true waste. It could be argued that our experience is too limited, too specific to be given as evidence. This may be so, although over time it has spread to throughout surrounding area without difficulties. One example is the Tecnoscienza workshop in San Giovanni in Persiceto. Or the many activities performed directly by our teachers in the field, in schools to which we are invited, in order to overcome the certain, persistent limits of the space available in our premises.

Attività didattica al Museo di Fisica

---



# Onde / waves

Acustiche

Meccaniche

Luminose

Elettromagnetiche

# Il Sonometro

> *Ambra Tinti*



**Bibliografia:** Catalogo degli Strumenti Antichi del Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna (numero St.An. 817) — A. Ganot, *Traité Élémentaire de Physique*, Librairie Hachette, Parigi, 1884, pp. 324-328 — A. Righi, *Fisica Sperimentale*, Appunti compilati da Adolfo Franchini, secondo le lezioni del Prof. A. Righi, Regia Università di Bologna, a.a. 1901-02, Soc. Ed. Universitas, Bologna, pp. 22-23, pp. 95-99 — Q. Majorana, *Appunti delle lezioni di Fisica Sperimentale*, raccolti da C. Bortolotti e B. Rossi presso la R. Università di Bologna nell'a.a. 1926-1927, ed. Valentinuzzi, Bologna, pp. 131-133 — E. Perucca, *Fisica Generale e Sperimentale*, UTET, Torino, (1932), 1941, pp. 597-598 — G. Nobili, *La strumentazione acustica di A. Righi*, dagli Atti dell'XI Congresso Nazionale di Storia della Fisica, G.N.S.F. del C.N.R., 1990, pp. 353-355 — A. Tinti, *Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente*, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1999-2000).

L'apparato del sonometro, appartenente alla collezione di strumentazione acustica del Museo di Fisica del Dipartimento di Fisica di Bologna, rappresenta uno dei più antichi strumenti della raccolta giunti fino ad oggi. Infatti di esso si fa menzione nel "Catalogo del Gabinetto di Fisica", redatto nel 1835, quando ancora il numero degli apparati dedicati all'Acustica era esiguo e la costruzione di una teoria composta su tale materia, sviluppatasi a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, era ancora lontana. D'altra parte, l'interesse su questo argomento risale, addirittura, alla Scuola Pitagorica, che ne seppe ricavare importanti relazioni matematiche. Il sonometro (chiamato anche monocorde) è uno strumento costruito per studiare le vibrazioni trasversali di una corda elastica. Quest'ultima è un corpo solido filiforme teso tra due estremi fissi, che risponde a una deformazione trasversale grazie alla propria elasticità di tensione. In generale l'apparato presenta tre corde metalliche, tese lungo una sottostante cassa di risonanza in legno, sostenuta da due supporti. Le due corde laterali sono mantenute in tensione tramite piroli metallici. L'esemplare manca della corda centrale, dotata solitamente di un'estremità fissa e di una libera, posta su una carrucola ad un estremo della cassetta. Tale dispositivo permette di sottoporre la corda a diversi pesi tensori. Un cavalletto mobile, inserito tra la cassa e i fili tesi, permette di variare a piacere la porzione vibrante delle corde. In tale spazio, lungo tutta la cassetta di risonanza, sono riportate tre scale di cui la centrale, millimetrica, consente la misura della lunghezza variabile delle corde mentre le laterali riportano due diverse serie di divisioni: una rappresenta la cosiddetta *gamma naturale* delle note musicali, l'altra indica la *scala temperata*, introdotta dal grande compositore tedesco J.S. Bach (1685-1750).

**Funzionamento:** pizzicata una corda elastica in un punto, essa trasmette la perturbazione verso gli estremi, dove l'onda si riflette, tornando indietro. Per un breve intervallo di tempo si verifica una sovrapposizione disordinata di onde, dovuta alle riflessioni multiple ai margini, fino a che si raggiunge un sistema con carattere di stazionarietà. Lungo la corda esistono punti fissi in cui si ha massima ampiezza di vibrazione (detti *ventri*) e altri di oscillazione nulla (*nodi*). La zona tra due nodi si definisce *concamerazione*. Utilizzando una corda del sonometro e il cavalletto mobile si può compiere una prima indagine qualitativa del suo comportamento. Si perturbi la corda nel suo punto di mezzo: il sistema emette un suono di una determinata altezza e visivamente si osservano due nodi agli estremi e un ventre centrale, per cui complessivamente l'occhio percepisce una forma a "fuso". Collocato il cavalletto nella posizione media della lunghezza totale della corda e perturbata ad un suo quarto, si ottiene un suono più acuto e la configurazione è di due concamerazioni. L'osservazione è più agevole utilizzando dei cavalieri leggeri, disposti lungo il mezzo. Variando la collocazione del cavalletto a un terzo, un quarto, ecc., della lunghezza della corda, si ottengono suoni sempre più acuti e rappresentazioni di tre, quattro, ecc., concamerazioni. Al carattere uditivo dell'altezza di un suono corrisponde la grandezza fisica della frequenza,  $\nu$ , indicata come il numero di vibrazioni complete che avvengono in un secondo. Si chiama *vibrazione fondamentale* (o *prima armonica*) della corda, quella con cui essa vibra quando forma un solo fuso; si chiama seconda, terza, quarta, ecc., armonica la vibrazione che realizza una configurazione a due, tre, quattro, ecc., fusi. Un orecchio allenato riesce a percepire le frequenze di seconda, terza, ... armonica rispettivamente di valore doppio, triplo, ... della frequenza fondamentale. Ciò è verificabile per confronto con un sistema precedentemente tarato in altezza, o utilizzando la scala naturale riportata sul sonometro stesso. Ugualmente si ottiene tale risultato compiendo le seguenti considerazioni di carattere teorico-sperimentale. Se si osservano le configurazioni per le diverse armoniche e si applica la definizione di *lunghezza d'onda*  $\lambda$  (la distanza tra due punti del mezzo che oscillano in concordanza di fase), si può scrivere:

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \text{ nella prima armonica; } L = 2 \frac{\lambda_2}{2} \text{ nella seconda armonica;}$$

$$L = 3 \frac{\lambda_3}{2} \text{ nella terza armonica, ecc., } L = n \frac{\lambda_n}{2} ,$$

ove  $\lambda_n$  è la lunghezza d'onda della  $n$ -esima armonica,  $L$  è la lunghezza della corda. Avvalendosi della costanza della velocità di propagazione  $U$  per uno stesso mezzo, ed essendo  $U = \lambda \cdot \nu$ , con  $\nu$  frequenza dell'onda, si deduce

$$\nu_n = \frac{U}{\lambda_n} = n \frac{U}{2L}, \text{ cioè le frequenze armoniche sono multiple della frequenza fondamentale della corda, } \frac{U}{2L}.$$

Compiuta questa premessa, l'utilizzo dello strumento in esame permette di sviluppare didatticamente, secondo scopi e finalità diverse, due indagini sperimentali:

1) ricavare empiricamente le leggi che regolano le vibrazioni trasversali di una corda elastica; 2) note le leggi (dedotte teoricamente), compierne una verifica sperimentale.

Uno sviluppo della prima possibilità consiste nell'eseguire le seguenti misure:

- data una corda a tensione costante, si registrano le frequenze fondamentali dei suoni prodotti dal filo, *al variare della sua lunghezza*;
- data una corda di lunghezza costante tesa secondo un peso tensore (tramite la carrucola), si misurano le frequenze fondamentali dei suoni prodotti, *al variare della tensione applicata*;
- date più corde, di uguale lunghezza, tensione applicata e materiale, si valuta l'altezza fondamentale, *in funzione della sezione* dei fili;
- date più corde, di pari lunghezza, tensione e sezione, si vaglia l'altezza fondamentale, *in funzione del materiale* costituente.

Ottenuta la legge fondamentale, che stabilisce la relazione di inversa proporzionalità tra la lunghezza della corda elastica e la frequenza fondamentale del suono prodotto, essa permette di valutare l'altezza di un qualsiasi suono, evitando l'uso di ogni altro strumento esterno. Infatti, se si vuole misurare la frequenza del suono prodotto da una corda, si farà variare la lunghezza di un'altra corda di frequenza fondamentale nota che servirà da misuratrice, fino a che i due suoni siano all'unisono. Per conoscere la frequenza incognita basterà stabilire una proporzione sulla corda misuratrice tra frequenza e lunghezza, prima e dopo il confronto. È possibile quindi trovare o verificare sperimentalmente attraverso il sonometro la seguente relazione fondamentale di una corda elastica:

$$\nu = \frac{1}{rL} \sqrt{\frac{P}{\pi \delta}}, \text{ dove } \nu \text{ è la frequenza del suono prodotto, } r \text{ il raggio di sezione della corda, } L \text{ la sua lunghezza, } \delta \text{ la sua massa per unità di volume, } P \text{ la tensione a cui è sottoposta e } \pi \text{ è il numero di Archimede, uguale a } 3.141592654\dots$$

La verifica di tale espressione può essere anche compiuta utilizzando la scala naturale riportata sullo strumento. Questa scala musicale è costituita da sette note fondamentali: do, re, mi, fa, sol, la, si. Le frequenze di tali suoni stanno tra loro in rapporti semplici e determinati; se  $\nu$  è la frequenza del do, preso come nota di riferimento, valgono i seguenti rapporti:

do <sub>1</sub>	re	mi	fa	sol	la	si	do <sub>2</sub>
$\nu$	$\frac{9}{8} \nu$	$\frac{5}{4} \nu$	$\frac{4}{3} \nu$	$\frac{3}{2} \nu$	$\frac{5}{3} \nu$	$\frac{15}{8} \nu$	$2\nu$

Il rapporto di frequenza tra due note si chiama *intervallo*. Gli intervalli più piacevoli all'orecchio sono quelli esprimibili attraverso un rapporto i cui termini sono numeri interi piccoli. Ad esempio, l'intervallo do<sub>1</sub>-do<sub>2</sub> è il più gradevole poiché la frequenza del suono più acuto è nel rapporto 2:1 con il suono più grave. La gamma naturale è propria degli strumenti musicali a corda. Si verifica la relazione di proporzionalità inversa tra frequenza e lunghezza, allorché, considerata una corda del sonometro, si definiscono, tramite il cavalletto mobile, estensioni che siano, rispetto alla lunghezza totale, in rapporti inversi a quelli sopra riportati. Ciò che si ottiene è la successione di tutte le note della gamma, che prova così la legge di proporzionalità inversa.

Altre possibilità di utilizzo del sonometro possono essere:

- a) disponendo sul sonometro due corde uguali, le cui tensioni applicate sono tra loro in un rapporto, per esempio, di 4/9, si osserva che la seconda corda produce rispetto alla prima un intervallo di 3/2, cioè nel linguaggio musicale il secondo suono è la *quinta* del primo. In questo modo si verifica che le frequenze stanno tra loro come le radici quadrate delle tensioni;
- b) confrontando due corde di uguale lunghezza, tensione e materiale, ma con raggi di sezione in un rapporto, per esempio, di 3/2, la seconda dà ancora la *quinta* della prima;
- c) infine, poste sul sonometro due corde diverse solo per il materiale costituente, si cerca, nella corda di maggiore densità volumetrica, tramite un cavalletto mobile, la posizione per cui le due sorgenti sonore vibrano all'unisono. Si trova che le lunghezze delle due corde stanno tra loro come le radici quadrate delle rispettive densità. Avvalendosi della legge fondamentale tra frequenza e lunghezza, si deduce l'inversa proporzionalità tra altezza del suono emesso e densità volumetrica della corda.

**Applicazione didattica:** il problema della corda vibrante è molto antico e già il filosofo greco Pitagora (570-496 a.C.), lo studiò con il monocorde (strumento simile al sonometro usato dai Pitagorici più come uno strumento di studio che strumento musicale). Egli osservò che si ottenevano coppie armoniche di suoni, quando le lunghezze delle rispettive corde stavano tra loro secondo un rapporto di piccoli numeri interi. Lo stesso Galileo Galilei (1564-1642) indagò sulle relazioni quantitative tra la frequenza della vibrazione e lunghezza, diametro, densità

e tensione della corda. Queste ricerche furono condotte, indipendentemente, anche dal fisico francese Marin Mersenne (1588-1648), i cui risultati furono pubblicati nel 1636. Le relazioni contenute nell'espressione

$$v = \frac{1}{rL} \sqrt{\frac{P}{\pi\delta}}, \text{ sono dette } \textit{leggi di Mersenne}.$$

Le intenzioni didattiche da perseguire nell'utilizzo del sonometro, sono già state evidenziate nella descrizione del funzionamento. Dal punto di vista teorico tale apparato permette di introdurre diversi fenomeni connessi alla propagazione di un impulso lungo una corda tesa, quali la riflessione agli estremi fissi e la generazione di onde stazionarie. Dal punto di vista sperimentale l'aspetto didattico più importante consiste nell'applicare il metodo scientifico nella ricerca della legge che governa un fenomeno. Tale lavoro si articola in diverse fasi: osservare qualitativamente il fenomeno; individuare quali grandezze fisiche lo caratterizzano; compiere misure su tali grandezze, variando i valori di una e mantenendo costanti i valori delle rimanenti; riportare eventualmente i dati sperimentali su tabelle o grafici in modo da estrapolarne il legame funzionale tra le variabili, così da formalizzare matematicamente il fenomeno studiato. Sotto questo aspetto, lo studio del sonometro offre una buona occasione per avvicinarsi al significato e alla pratica della sperimentazione.

●  
Onde acustiche e meccaniche

## Modello dimostrativo di Wheatstone della Propagazione delle onde sonore

> *Ambra Tinti*

**Bibliografia:** Catalogo degli Strumenti Antichi del Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna (numero St.An. 818) — E. Perucca, Fisica Generale e Sperimentale, UTET, Torino, (1932), 1941, pp. 577-582, 584-586 — A. Tinti, Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a.1999-2000).

L'apparato didattico conservato presso il Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna risale al XIX secolo e consiste in una copia originale del "modello dimostrativo della propagazione delle onde sonore di Charles Wheatstone" (1802-1875) (dal catalogo del Museo, ST.AN. numero 818), forse fatto acquistare da A. Righi, come molti apparati di Acustica, presso il laboratorio parigino dell'"Instrument Maker" tedesco Karl Rudolph Koenig (1832-1901). Il modello è costituito da un cilindro di legno, sul quale sono dipinte manualmente delle righe, di larghezza variabile, alternativamente bianche e nere. Ogni riga chiara si snoda intorno al cilindro, secondo una curva quasi sinusoidale chiusa su se stessa. L'analisi da noi compiuta sulla superficie laterale del rullo ha evidenziato - grazie ad una nostra ricostruzione grafica che ha riportato le immagini su un unico piano - un fascio di linee generate da una medesima curva, periodica nello spazio, traslata in successione. Il cilindro è riposto in una cassetta lignea di colore nero, dotata di una manovella in grado di farlo ruotare intorno al proprio asse. Una faccia del contenitore è provvista di una stretta fenditura, lungo tutta la lunghezza del cilindro, che permette di vedere solo un piccolo tratto delle linee sopra citate (Foto 1).

**Applicazione didattica:** l'apparato, pur non sperimentando direttamente il fenomeno fisico in esame, ha grande utilità didattica nella sua rappresentazione. La propagazione di un'onda meccanica periodica, unidirezionale, longitudinale, progressiva in un fluido, si svolge secondo modalità caratteristiche: le particelle materiali, investite dalla perturbazione, oscillano intorno alla loro posizione di equilibrio lungo la medesima direzione,

senza determinare alcun trasporto di materia; gli strati di una regione di fluido subiscono alternativamente compressioni e dilatazioni; lungo la direzione di vibrazione dei corpu-

**Funzionamento:** ruotando la manopola, attraverso l'apertura si osserva una configurazione, variabile nel tempo, di zone chiare e scure. L'impressione che si ottiene è che le righe si comprimano e si dilatino alternativamente e che tali compressioni e rarefazioni si muovano uniformemente in un solo verso, lungo la direzione della fenditura. Ciò costituisce una simulazione, fruibile visivamente, delle modalità di "propagazione di un'onda sonora", come cita l'indicazione dello strumento nel catalogo del Museo. In passato, e attualmente solo in alcuni





scoli avviene un avanzamento di stati di compressione e rarefazione del mezzo. Ora, l'osservazione, compiuta sullo strumento a cilindro in rotazione, permette di fare le seguenti annotazioni:

- fissando un qualsiasi punto lungo la fenditura, ci appaiono macchie nere o bianche in movimento; esse non si allontanano progressivamente lungo l'apertura, ma compiono un'oscillazione periodica nella stessa direzione, intorno a un proprio punto fisso;
- ugualmente, nella stessa regione, al variare del tempo, uno strato compresso di macchie viene sostituito da uno dilatato e così via;
- ciò porta a concludere che ciò che si sposta e propaga, nello spazio e nel tempo, lungo la fenditura, sono gli stati di compressione e rarefazione.

Parimenti, l'osservazione a cilindro fermo può essere interpretata come la "fotografia" ad un certo istante di tempo della successione degli strati di compressione con quelli di rarefazione. La conclusione che se ne trae è che l'apparato riproduce la trasmissione di un'onda longitudinale progressiva in tutte le sue modalità.

testi di Acustica, si definivano le onde sonore come le oscillazioni meccaniche udibili da un ascoltatore attraverso l'aria. Più modernamente si può parlare della rappresentazione di trasmissione di un'onda meccanica, longitudinale, unidirezionale, in un mezzo fluido.

Onde acustiche e meccaniche

## Tubo di Kundt

> *Ambra Tinti*

**Bibliografia:** A. Righi, *Fisica Sperimentale*, Appunti compilati da Adolfo Franchini, secondo le lezioni del Prof. A. Righi, Regia Università di Bologna, a.a. 1901-02, Soc. Ed. Universitas, Bologna, pp. 59-61 — Q. Majorana, *Appunti delle lezioni di Fisica Sperimentale*, raccolti da C. Bortolotti e B. Rossi presso la R. Università di Bologna nell'a.a. 1926-1927, ed. Valentinuzzi, Bologna, pp. 153-155 — E. Perucca, *Fisica Generale e Sperimentale*, UTET, Torino, (1932), 1941, pp. 598-599 — A. Tinti, *Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente*, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1999-2000).

Lo strumento fu ideato dal fisico tedesco August Adolph Kundt (1839-1894) nel 1866. L'esemplare conservato al Museo di Fisica ne costituisce una copia risalente alla fine del XIX secolo. Esso è un apparato per lo studio delle onde stazionarie longitudinali che si formano all'interno di un tubo di gas, chiuso agli estremi. Il condotto è di vetro, di una decina di cm di diametro ed è lungo un metro e mezzo (Fig.1). All'interno si trova un'asta metallica, fissata nel suo punto di mezzo tramite un tappo che fa da chiusura a un estremo del tubo. La punta interna della verga termina con un dischetto di diametro inferiore a quello del condotto. La seconda estremità del tubo è otturata da un sistema a pistone scorrevole. Per poter evidenziare i fenomeni, sulle pareti interne del condotto è distribuita della polvere finissima di spore di lycopodio (o di limatura di sughero, come nel nostro caso), in modo da registrare visivamente i movimenti del gas.

**Applicazione didattica:** l'uso del tubo di Kundt permette diverse considerazioni sia di carattere teorico che sperimentale. Innanzitutto va osservato che, dato un sistema chiuso forzato a vibrare secondo una frequenza stabilita, affinché esso sia sede di onde stazionarie, è necessario che la sua dimensione, lungo la quale avviene la propagazione, contenga un numero intero di semi-lunghezze d'onda. Verificata tale condizione, il condotto chiuso diventa sonoro, vibrante per conto proprio (cioè risonatore). Nella ricerca manuale di un'onda stazionaria, si individua così la lunghezza del tubo sonoro, del quale uno dei *modi normali* di vibrazione coincide con la frequenza eccitatrice. Si può compiere inoltre una valutazione quantitativa della lunghezza d'onda, misurando il passo tra due nodi non consecutivi oppure dividendo la distanza tra i due nodi più lontani per il numero di cammerazioni contenute e raddoppiando il valore ottenuto. Valutata la lunghezza d'onda  $\lambda$ , si possono ottenere misure indirette di altre grandezze fisiche relative alla propagazione:

- nota la lunghezza d'onda  $\lambda$  e la frequenza  $\nu$  di vibrazione, riempito il tubo di un qualsiasi gas, si calcola la velocità di propagazione  $U$  delle onde meccaniche in tale mezzo, attraverso la formula  $U = \lambda \cdot \nu$ ;
- riempito il tubo d'aria, misurata la lunghezza d'onda e nota la velocità del suono nell'aria per altra via, si valuta la frequenza di vibrazione secondo l'espressione:  $\nu = U/\lambda$ ;

**Funzionamento:** se si strofina periodicamente la verga secondo la sua lunghezza con un panno imbevuto in alcool, si genera in essa un sistema di onde longitudinali periodiche, le quali si trasmettono al gas del tubo riflettendosi ripetutamente agli estremi. La sovrapposizione delle onde nel mezzo porta la polvere a turbinare in maniera caotica, senza mostrare alcun fenomeno facilmente descrivibile. Variando la lunghezza del condotto, cambiando di posizione il pistone, si ottiene una interferenza dotata di carattere di stazionarietà; infatti si creano zone, tra loro equidistanti, in cui l'agitazione della polvere è maggiore. Esse sono intervallate da altre in cui il turbinio è pressoché nullo. Buona parte della polvere è distribuita co-

- nota la velocità  $U$  del suono nell'aria e misurate le lunghezze d'onda per l'aria stessa,  $\lambda$ , e per un gas,  $\lambda'$ , vale la relazione:

$$U' = \frac{\lambda'}{\lambda} \cdot U$$

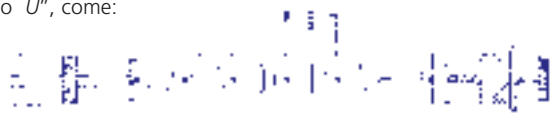
la quale misura indirettamente la velocità del suono in un gas, senza necessariamente conoscere la frequenza di vibrazione;

- l'apparato permette di misurare la velocità di propagazione del suono nel mezzo solido, di cui può essere costituita l'asta vibrante; quest'ultima, fissa nel suo punto di mezzo e strofinata a un suo estremo, forma un nodo al centro e due ventri alle estremità; la lunghezza della verga  $L$  rappresenta così la semi-lunghezza dell'onda che si propaga al suo interno; misurata la frequenza di vibrazione attraverso il tubo pieno d'aria, come sopra riportato, si calcola la velocità nel mezzo solido  $U''$ , come:

$$U'' = \frac{U}{\lambda} \cdot 2L$$

Si può sostituire all'asta, la lamina vibrante di un telefono oppure di un microfono collegato a un generatore di onde.

si sulla parete, secondo mucchietti ugualmente distanziati. In tale modo si rende "visibile" l'onda stazionaria longitudinale presente nel gas del tubo, con le proprie concamerazioni e i rispettivi punti nodali e ventrali.



● Onde acustiche e meccaniche

Modello dimostrativo della

## Propagazione di un'onda trasversale sinusoidale

➤ *Ambra Tinti*

**Bibliografia:** Catalogo degli Strumenti Antichi del Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna (numero St.An. 820) — Price list of apparatus, Baird & Tatlock (London) Ltd, ottobre 1904, pp.1-3 — E. Perucca, Guida pratica per esperienze didattiche di Fisica Sperimentale, Nicola Zanichelli editore, Bologna, 1937, pp. 332-334 — A. Tinti, Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a.1999-2000).

Il Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna comprende, nella sua collezione di strumentazione acustica, un apparato per la simulazione di un'onda trasversale unidirezionale sinusoidale. Lo strumento è originale e risale al XIX secolo, ma proviene dal laboratorio del Gabinetto di Fisica presso Palazzo Poggi in Bologna (1907). Molto diffusa è infatti, nella seconda metà dell'Ottocento, l'ideazione e la produzione di modelli didattici per la rappresentazione della trasmissione per onde, come dimostrano diversi testi di Meccanica e Acustica, e alcuni cataloghi per la vendita di apparati scientifici (si veda il catalogo della "Baird & Tatlock (London) Ltd", 1904, pp.1-3). Lo strumento ha una struttura di contenimento in legno e parti mobili in ferro e ceramica. Il corpo metallico è composto da due serie di aste di uguale lunghezza, equidistanti, allineate verticalmente, lungo due guide di legno, e disposte su due piani paralleli. La sequenza anteriore in mostra, cioè immediatamente visibile ad un comune osservatore, termina superiormente con una successione di sferette bianche in ceramica ed è collegata, inferiormente, alle sbarrette della fila posteriore tramite giunzioni orizzontali. Queste ultime poggiano su una guida sagomata ad elica cilindrica. Attraverso questa costruzione le palline vengono a descrivere per punti il luogo di proiezione dell'elica su un piano verticale e parallelo al suo asse. Dalla geometria analitica ricordiamo che tale proiezione ha andamento sinusoidale. Il sistema è dotato di una manovella che permette di ruotare la guida curvilinea intorno al proprio asse, evidenziando così le caratteristiche di un'onda sinusoidale.

**Funzionamento:** girando uniformemente la manopola dell'apparecchio, la guida ad elica cilindrica ruota su se stessa, comunicando il proprio movimento al sistema ad aste. Le sferette di ceramica, dovendo per costruzione descrivere (come abbiamo visto sopra) la proiezione dell'elica sul loro piano, assumono configurazioni variabili nel tempo, di forma sinusoidale. Durante il funzionamento, attraverso l'osservazione delle sfere, si possono notare i seguenti aspetti:

- si mostra come una disposizione a sinusoidi si muove nel tempo lungo una direzione, parallela all'asse dell'elica, con una specifica velocità;
- ogni pallina oscilla lungo la direzione della propria asta di sostegno, perpendicolarmente al cammino della configurazione rappresentata, così come avviene nel fenomeno fisico corrispondente.

**Applicazione didattica:** l'apparato costituisce un modello didattico del fenomeno della propagazione di un'onda unidirezionale, trasversale, sinusoidale e progressiva. Si può presumere che l'intenzione dell'ideatore, riguardo alla natura dell'onda rappresentata, fosse quella di evidenziare una perturbazione meccanica in un mezzo continuo. Così il moto delle sferette descrive il movimento dei corpuscoli di un solido percorso da un'onda trasversale o delle particelle di una superficie d'acqua perturbata: i punti materiali del mezzo vibrano nel tempo perpendicolarmente alla direzione di propagazione, senza subire trasporto di materia ma permettendo una trasmissione di energia. Il modello può essere anche utilizzato per rappresentare onde di tipo diverso, come le onde elettromagnetiche. Infatti per un'onda polarizzata linearmente le estremità dei vettori del campo elettrico (o magnetico), - perpendicolare alla direzione di propagazione e variabile nel tempo - sono simulate dalle sfere dell'apparato. Pur riconoscendo nel modello dimostrativo la mancanza della sperimentazione diretta del fenomeno fisico, esso possiede un grande valore didattico come "rappresentazione di realtà", elemento, questo, che fa parte integrante della conoscenza e della comprensione da parte dell'allievo. E' possibile dare una descrizione formale e matematica del fenomeno di propagazione e verificarne la compatibilità col modello didattico in esame. Sono qui necessarie semplici nozioni di analisi matematica. Un'onda unidirezionale, sinusoidale, progressiva, trasversale, è rappresentata da una funzione di espressione:

$$f(z,t) = A \cos \omega \left( t - \frac{z}{U} \right),$$

dove  $f$  è la grandezza perturbata, detta funzione d'onda, l'asse  $z$  e  $U$  sono rispettivamente la direzione e la velocità di propagazione e  $\omega$  la pulsazione di perturbazione (definita, ricordando la frequenza  $\nu$  di una perturbazione periodica, come  $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$ , ove  $T$  è l'intervallo di tempo, detto periodo, dopo il quale la funzione d'onda riassume lo stesso valore). Ora, le sferette dell'apparato rappresentano, per punti discreti, la proiezione rispetto a un piano determinato, di un'elica cilindrica rotante intorno al proprio asse. In un sistema  $S'$  di assi cartesiani  $x' y' z'$ , le equazioni parametriche di un'elica cilindrica di asse  $z'$  hanno espressione:

$$\begin{cases} x' = r \cos \xi \\ y' = r \sin \xi \\ z' = k \xi \end{cases}$$

dove  $k$  e  $r$  sono costanti caratteristiche dell'elica ( $r$  è il raggio dell'elica e  $2\pi k$  è il suo passo) e  $\xi$  è una variabile reale. Si osservi che la proiezione della curva su un piano parallelo al piano  $x' z'$  ( $y=a$  con  $a$  costante  $>r$ ), è:

$$\begin{cases} x' = r \cos \xi \\ y' = \text{cost} \\ z' = k \xi \end{cases} \quad \begin{cases} x' = r \cos \frac{z'}{k} \\ y' = a \end{cases}, \text{ cioè una curva piana, di forma sinusoidale.}$$

Sia  $S'$  il sistema solidale con la guida ad elica cilindrica e sia  $S$  un sistema di coordinate  $xyz$  solidale con il laboratorio, con  $O=O'$  (origini dei sistemi  $S$  e  $S'$ ) e  $z=z'$ .

Qualora l'elica - e quindi  $S'$  - ruoti nel tempo  $t$  intorno all'asse  $z$  con pulsazione  $\omega$  (rotazione oraria), tra i due sistemi di coordinate vale la seguente trasformazione di rotazione:

$$\begin{cases} x = x' \cos \omega t + y' \sin \omega t \\ y = -x' \sin \omega t + y' \cos \omega t \\ z = z' \end{cases}$$

Si può così riscrivere l'equazione parametrica dell'elica nel sistema  $S$ , utilizzando la trasformazione. Si ottiene:

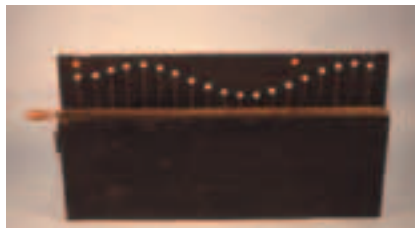
$$\begin{cases} x = r \cos (\omega t - \xi) \\ y = -r \sin (\omega t - \xi) \\ z = k \xi \end{cases}$$

Questa è l'equazione parametrica dell'elica rotante intorno al proprio asse, nel sistema di coordinate del laboratorio  $xyz$ . Compiendo una proiezione su un piano parallelo al piano  $xz$  ( $y = b$  con  $b$  costante  $>r$ ) si ricava:

$$\begin{cases} x = r \cos \left( \omega t - \frac{z}{k} \right) \\ y = b \end{cases}$$

Posto  $k = \frac{\lambda}{2\pi}$ , l'espressione diventa:  $x = r \cos \omega \left( t - \frac{z}{U} \right)$  con  $U = \omega k$ ,

del tutto simile alla funzione d'onda  $f(z,t) = A \cos \omega \left( t - \frac{z}{U} \right)$ , sopra riportata.



# Le Lastre di Chladni

➤ *Ambra Tinti*

**Bibliografia:** A. Ganot; *Traité Élémentaire de Physique*, Librairie Hachette, Parigi, 1884, pp. 340-341 — A. Righi, *Fisica Sperimentale*, Appunti compilati da Adolfo Franchini, secondo le lezioni del Prof. A. Righi, Regia Università di Bologna, a.a. 1901-02, Soc. Ed. Universitas, Bologna, pp. 103-106 — Q. Majorana, *Appunti delle lezioni di Fisica Sperimentale*, raccolti da C. Bortolotti e B. Rossi presso la R. Università di Bologna nell'a.a. 1926-1927, ed. Valentinuzzi, Bologna, pp. 136-138 — A. Tinti, *Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente*, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a.1999-2000).

L'apparato, conservato al Museo di Fisica, risale al XIX secolo e consiste in un supporto ligneo, che raccoglie cinque lastre metalliche, disposte orizzontalmente e fissate al banco tramite sostegni verticali. Le piastre hanno forme geometriche regolari, e possono variare nel materiale costituente; in generale sono dotate di un unico foro centrale rispetto al quale si fissa il supporto. Questo banco rappresenta un esempio, seppur limitato, della varietà di lastre vibranti, studiate dal fisico tedesco Ernest Chladni (1756-1827). Egli si dedicò ampiamente, nell'arco della sua vita, ai problemi teorici e sperimentali dell'Acustica, motivato dal fatto che tale disciplina mancava, ancora in parte, di una struttura teorica e formale di base. Una delle sue più importanti ricerche fu compiuta sulle vibrazioni di superfici, un campo a quel tempo del tutto inesplorato, scoprendo il modo di visualizzare le oscillazioni attraverso la distribuzione di polvere finissima sulle aree in esame e ottenendo una serie di figure, da allora dette di Chladni. Si pensi che il fisico ottenne più di duecento configurazioni per la sola superficie quadrata. Il risultato di questo lavoro venne pubblicato nel 1802 nell'opera *Acustik*.

**Applicazione didattica:** il principale scopo didattico del nostro banco è quello di osservare il formarsi delle linee nodali sulle lastre, tenendo conto che il sistema di onde stazionarie generato, seppur complesso, deve soddisfare a certe condizioni imposte dal problema fisico: il bordo libero di una superficie è luogo di una linea ventrale; i punti dell'area fissati al sostegno sono punti nodali. Consideriamo alcuni semplici casi di figure di Chladni, riproducibili attraverso l'apparato in esame.

- Sia data una lastra quadrata, fissata nel centro delle sue diagonali: se si perturba il punto medio di un lato, mentre con un dito si blocca uno dei due vertici vicini, ciò che si ottiene sono due linee nodali, disposte lungo le diagonali della superficie quadrata; diversamente, eccitata la lastra in un vertice e fissato un punto medio di uno dei due lati adiacenti, le linee nodali formate sono due segmenti, tra loro perpendicolari, di cui uno è passante per il centro del quadrato e per il punto fisso.

- Sia data una lastra circolare, bloccata al sostegno nel suo centro: fissati sul bordo due punti a 90 gradi, se si eccita il punto della circonferenza che sta a 45 gradi da essi, si ottengono due linee nodali, disposte secondo due diametri perpendicolari, passanti per gli stessi punti fermi sulla circonferenza; nella stessa maniera, fissati due punti sul bordo, a una distanza angolare di 60 gradi, se si perturba il margine nel punto medio dell'arco sotteso, la polvere si dispone secondo sei raggi del cerchio, scomponendolo in eguali settori.

- Data una lastra circolare, si fissi al centro di essa, verticalmente, una verga, la quale venga posta in vibrazione in maniera longitudinale: si generano sulla superficie linee nodali concentriche.

In generale, le linee nodali in un'area piana limitata, variano nel numero e nella forma, secondo la loro stessa figura, la posizione dei punti fissi, il materiale costituente, la frequenza propria di vibrazione. Come ogni generatore di onde meccaniche, la lastra può vibrare secondo la propria frequenza fondamentale e le armoniche superiori, sebbene queste ultime non siano in realtà vere armoniche (cioè in generale esse non sono multiple della prima frequenza).

Generalmente il numero delle linee nodali è tanto più grande quanto più è acuto il suono prodotto. Si può sperimentalmente dimostrare che, per lastre vibranti di uguale materiale, forma e conformazione delle linee nodali, la frequenza prodotta è direttamente proporzionale al loro spessore e inversamente proporzionale alle loro aree.

**Funzionamento:** Attraverso l'uso di un martelletto o l'arco di un violino (Fig.1) si perturba in un punto il bordo della lamina. Essa produce un suono e, come ogni corpo sonoro, è sede di onde stazionarie, trasversali per cui lungo la superficie si formano i luoghi dei punti nodali e ventrali. Cospargendo la lamina con polvere o con sabbia finissima, tale materiale è messo fortemente in vibrazione in corrispondenza delle zone di massima oscillazione stazionaria, mentre si raccoglie lungo le linee nodali (zone di oscillazione nulla), rendendole ben visibili.



# Ondoscopio

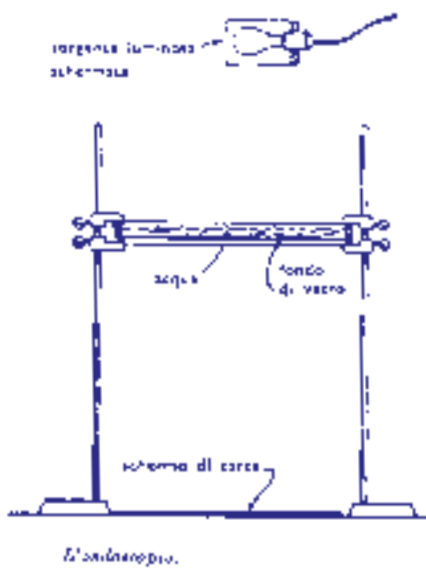
> *Ambra Tinti*

L'ondoscopio è un apparato che offre un metodo sperimentale molto semplice per l'osservazione qualitativa e quantitativa della propagazione per onde e dei fenomeni ad essa connessi. Esso serve per produrre onde sulla superficie di un liquido in quiete (in genere acqua), attraverso la perturbazione prodotta dalla lieve immersione di un oggetto appuntito o una lamina vibrante o mediante la caduta di una goccia. La superficie di un liquido costituisce un mezzo elastico, poiché la forza di gravità e la tensione superficiale determinano una forza di richiamo sulle sue particelle tendente a ripristinare il livello piano del liquido stesso. Le onde che si producono sono trasversali e si propagano sulla superficie piana. L'apparato, conservato al Museo di Fisica, è un dono della Prof.ssa Nella Tomasini Grimellini, costruito sul finire degli anni '60 presso il laboratorio dell'Istituto Tecnico "Aldini Valeriani" di Bologna, dove si realizzava il materiale didattico per i Corsi Pilota del PSSC (Comitato per lo Studio della Scienza Fisica) ed è simile ai molti esemplari diffusi ancor oggi in diversi laboratori delle scuole medie superiori. Esso è costituito da un recipiente con fondo piano orizzontale, trasparente, illuminato dall'alto da una lampada con schermatura puntiforme (Fig. 1). Riempita la bacinella d'acqua, con profondità di qualche millimetro, ciò che avviene sulla superficie del liquido è proiettato sullo schermo bianco sottostante, parallelo al piano del contenitore. I bordi della vasca sono rivestiti di materiale di smorzamento (in generale garza metallica), in modo da evitare qualsiasi riflessione che possa disturbare il fenomeno in osservazione. L'apparato è infine dotato di un sistema a motorino, che fa oscillare periodicamente punte o sbarrette leggere.

**Applicazione didattica:** la versatilità e l'utilizzo di questo apparato sono estremamente vasti, tale da poter essere impiegato non solo per l'osservazione della propagazione per onde - qui sopra sommariamente descritta - ma anche per introdurre sperimentalmente molti altri fenomeni ondulatori connessi alla trasmissione, quali la riflessione, la rifrazione, l'interferenza, la diffrazione. Il suo utilizzo costituisce un mezzo didattico estremamente potente poiché, oltre che permettere l'osservazione diretta di un fenomeno fisico, offre la possibilità di uno studio quantitativo e quindi di poter formulare delle ipotesi o di eseguire delle verifiche. Tutto ciò è alla base del metodo sperimentale. Si può avere una visione completa ed estremamente dettagliata sull'impiego dell'ondoscopio, consultando il Corso del PSSC, Comitato per lo Studio della Scienza Fisica (Fisica a cura del PSSC, ed. Zanichelli, Bologna, III edizione italiana 1985, pp. 436-472).

**Bibliografia:** Comitato per lo Studio della Scienza Fisica, Fisica a cura del PSSC, ed. Zanichelli, Bologna, III edizione italiana 1985, pp. 436-472 — A. Tinti, Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm.ff.nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a.1999-2000).

**Funzionamento:** si possono creare impulsi oppure onde periodiche con fronte d'onda a forma diversa, attraverso le punte e le asticelle che vanno ad eccitare superficialmente l'acqua. Gli avvallamenti e le creste, generate da tali perturbazioni, fungono da lenti piano-concave e piano-convesse rispetto alla luce proveniente dalla lampada, così da disperderla o concentrarla sullo schermo. Su quest'ultimo appaiono zone a fasce debolmente o fortemente illuminate, corrispondenti agli effetti del moto ondoso sull'acqua e delle relative illuminazioni. Ad una visione diretta delle immagini tali strisce appaiono generalmente in movimento. Una prima analisi qualitativa consente di osservare le modalità di propagazione di impulsi e di onde periodiche e la loro riflessione su ostacoli: ciò permette di introdurre i concetti di fronte d'onda, direzione e velocità di propagazione. Tale studio può essere migliorato, consentendo un'indagine quantitativa, attraverso l'uso dello stroboscopio (dal greco "strobos" - corpo girante). Questo strumento permette la misura della frequenza di un fenomeno periodico. Esso è costituito da un disco rotante, dotato di fenditure, distribuite, radialmente, uniformemente lungo la relativa circonferenza. Attraverso la variazione della velocità di rotazione e dei numeri di fenditure aperte, è possibile "fermare" l'immagine sullo scher-





studio quantitativo (valutazione della lunghezza d'onda e della velocità di propagazione) della trasmissione per onde in un mezzo bidimensionale, in una forma estremamente accessibile a molti osservatori. Ciò rende evidente ancora la grande attualità d'impiego di tale strumento.



figurazione ottenuta, si rileva che il luogo descritto è un fascio di rami di iperbole, di cui il fuoco è situato nel centro della perturbazione e l'asse è perpendicolare alla direzione del regolo. La distanza tra due successivi vertici delle iperboli (punti nodali) rappresenta la mezza lunghezza dell'onda sulla tela,  $\lambda/2$ . Misurata  $\lambda$  e nota la frequenza di vibrazione  $\nu$  del diapason elettrico, si calcola la velocità di propagazione  $U$  attraverso la formula  $U = \lambda \cdot \nu$ .

Si può sostituire il regolo con un ostacolo di contorno diverso: per esempio, un cerchio di legno appoggiato sulla tela nel cui centro venga posta la sorgente d'onda. Ciò che si ottiene sono linee nodali concentriche. Ugualmente per un contorno ellittico o parabolico, fatto corrispondere il punto di eccitazione con uno dei due fuochi, si formano linee nodali rispettivamente ellittiche o paraboliche. Mantenuto sulla tela un ostacolo ellittico, si vada a perturbarla con due diapason all'unisono, nei punti coincidenti coi fuochi geometrici dell'ostacolo: ciò che si osserva sono linee nodali a forma di ellissi e altre, ortogonali alle prime, a forma di iperboli. I fuochi delle une e delle altre coincidono con gli stessi fuochi dell'ellisse riflettente. Prodotti sulla superficie due punti di scuotimento che vibrano all'unisono, le linee nodali che si formano sono fasci di iperbole, coi fuochi nei due centri sonori. La distanza tra due successivi vertici di tali curve rappresenta una semi lunghezza d'onda. La configurazione ottenuta coincide, rispetto all'asse di simmetria delle iperboli, a quella prodotta per riflessione da un'onda circolare rispetto ad un ostacolo rettilineo. Ciò suggerisce la seguente considerazione sul fenomeno della riflessione: l'onda riflessa da un ostacolo rettilineo ha le stesse caratteristiche dell'onda incidente, come se esistesse un secondo centro di scuotimento, uguale al primo, posizionato simmetricamente ad esso aldilà del regolo. Date due sorgenti con numero di vibrazioni di poco diverso (ottenute per esempio con due diapason uguali, a cui uno è stato attaccato un pesino ai rebbi), si visualizza sulla tela il fenomeno dei battimenti: si formano ancora linee nodali a forma di iperboli, in moto uniforme lungo la tela in direzione del centro di scuotimento di minor frequenza. In generale tale fenomeno è generato in un mezzo da due sorgenti d'onda vibranti con numero di vibrazioni leggermente differenti. Il termine "battimenti" deriva dal corrispondente effetto sonoro registrato nell'aria: un ascoltatore fermo rileva una variazione periodica dell'intensità del suono.

Onde acustiche e meccaniche

## Apparato di Koenig per l'analisi dei suoni

> *Ambra Tinti*

**Bibliografia:** Catalogo degli Strumenti Antichi del Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna (numero St.An. 813) — A. Ganot; *Traité Élémentaire de Physique*, Librairie Hachette, Parigi, 1884, pp. 342-344 — A. Righi, *Fisica Sperimentale*, Appunti compilati da Adolfo Franchini, secondo le lezioni del Prof. A. Righi, Regia Università di Bologna, a.a. 1901-02, Soc. Ed. Universitas, Bologna, pp. 66-69 — A. Tinti, *Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente*, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1999-2000).

Lo strumento, conservato al Museo del Dipartimento di Fisica di Bologna, risale alla seconda metà dell'Ottocento e proviene dal laboratorio parigino dello scienziato e "Instrument Maker" tedesco Karl Rudolph Koenig (1832-1901), a cui si deve l'invenzione (1864). La realizzazione dell'analizzatore costituisce il risultato finale dello studio di Koenig, fatto sul lavoro teorico e sperimentale del fisico tedesco Herman L.M. von Helmholtz (1821-1894) sull'analisi dei suoni. Nel 1863, infatti, quest'ultimo, costruendo i risonatori che prendono il suo nome, aveva ideato un metodo, basato sul fenomeno della risonanza, in grado di dimostrare che i suoni semplici (ad una sola frequenza) sono rari (per es., il suono del diapason) e che quelli prodotti e uditi abitualmente sono suoni composti. Ciò a riprova della teoria armonica sviluppata nel 1807 dal fisico e matematico francese J.B.J. Fourier (1768-1830), il quale, a sua volta, aveva ipotizzato che un moto periodico comunque complesso può essere descritto mediante la sovrapposizione di

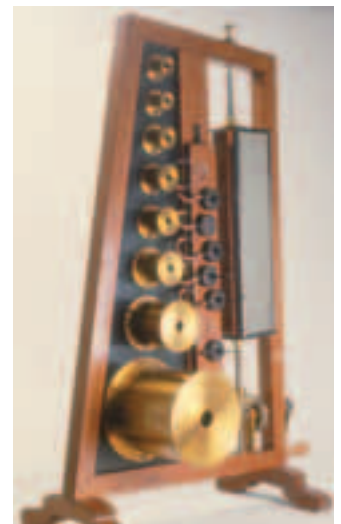
una serie di oscillazioni armoniche di frequenze multiple (armoniche secondarie) di una frequenza detta fondamentale. Un suono così composto risulta armonioso al nostro orecchio; in caso contrario, esso è discordante e viene riconosciuto normalmente come "rumore". I risonatori di Helmholtz sono costituiti da sfere metalliche e, per così dire, dall'aria in esse contenuta. Le sfere sono dotate di due aperture opposte: una, piccola e conica, da appoggiare all'orecchio dello sperimentatore, l'altra, più ampia e cilindrica, da rivolgere verso l'ambiente circostante. Se l'aria è messa in vibrazione, essa funge da sorgente e genera un suono la cui frequenza è determinata e dipende dalle dimensioni della sfera e del foro maggiore. Parimenti, se la sfera, precedentemente non perturbata, viene sottoposta a una vibrazione esterna di frequenza uguale alla sua frequenza caratteristica, l'aria contenuta entra in oscillazione (in risonanza), rafforzando l'intensità del suono perturbatore. Helmholtz costruì vari risonatori accordati a diverse note e alle loro armoniche. Sottoposto un suono complesso all'ascolto attraverso un risonatore, quest'ultimo risulterà risonante o "muto" a seconda che la sua frequenza appartenga o meno all'insieme di frequenze che compongono il suono stesso. Con tale metodo il fisico tedesco analizzò il timbro dei suoni emessi da alcuni strumenti musicali e dalla voce umana. Successivamente Koenig modificò la forma del risonatore di Helmholtz, sostituendo la calotta ricevente con un cilindro telescopico, in grado di variarne il volume (Fig. 1) e, quindi, di ricoprire un maggiore numero di altezze per il riconoscimento di un numero maggiore di frequenze. L'analizzatore di Koenig si compone di tre parti fondamentali:

- serie di otto risonatori sferici di Helmholtz o cilindrici, disposti in verticale lungo un supporto in ghisa;
- serie di otto capsule manometriche, collegate ognuna a ciascun risonatore e poste verticalmente secondo lo stesso ordine;
- specchio girante con asse verticale.

La capsula manometrica, ideata e brevettata dallo stesso Koenig, è costituita da una cassetta, divisa in due parti tramite una membrana elastica sottilissima: una camera comunica con un risonatore attraverso un tubo, l'altra è dotata di due aperture, in cui due condotti permettono l'entrata e l'uscita di una corrente di gas. Il condotto superiore termina con un beccuccio, il cui combustibile aeriforme uscente viene incendiato, formando una fiammella. Quest'ultima viene riflessa tramite lo specchio girante verso l'osservatore. Tale apparato è costituito da un prisma a facce riflettenti, rotante intorno al proprio asse.

**Applicazione didattica:** l'analizzatore di Koenig si presta alla discussione didattica di diversi argomenti. Esso, nelle sue parti componenti, può costituire da introduzione ad alcuni fenomeni e concetti fisici, quali i suoni semplici, i suoni composti e la relativa analisi - permettendo la comprensione del concetto di timbro - ecc. Trattati per altra via queste entità, l'uso dello strumento rappresenta un grande momento di verifica sperimentale di teorie presentate e formulate agli allievi, quali, per esempio, l'analisi armonica di Fourier. Interessante è valutare nell'acquisizione della conoscenza, le interazioni biunivoche e conseguenti tra l'osservazione, la ricerca teorica, la sperimentazione, la verifica sia teorica che sperimentale, e, non ultimo, il lavoro di ideazione e perfezionamento degli apparati strumentali. Lo strumento di Koenig dimostra come, elaborando i risonatori di Helmholtz, si sia acquisito in versatilità e sia stato possibile rendere "visibili" i suoni e le componenti armoniche ad un gran numero di ascoltatori. È stato considerato come il primo.. "oscilloscopio-oscillografo".

**Funzionamento:** Prodotto un suono in prossimità dell'analizzatore, le sfere che entrano in risonanza con le armoniche componenti, trasmettono le loro vibrazioni alle rispettive capsule manometriche attraverso i tubi di collegamento. Per ognuna delle capsule interessate, l'aria della prima camera oscilla e, tramite la membrana, propaga la perturbazione al gas del secondo settore. L'aeriforme subisce così un aumento o una diminuzione di pressione, a seconda che arrivi sul setto un'onda compressa o rarefatta. Tale variazione determina così un cambiamento periodico dell'altezza della fiamma, non apprezzabile ad occhio nudo. Compiendo l'osservazione tramite lo specchio girante, per il fenomeno della persistenza delle immagini sulla retina, apparirà una striscia orizzontale, luminosa e seghettata, i cui denti e incavature corrispondono rispettivamente ai massimi e minimi di pressione. Diversamente, per le fiammelle relative a sfere non risonanti, comparirà una fascia continua. In questo modo diventa facile individuare le componenti armoniche di un suono complesso. L'apparato del Museo di Fisica è uno dei pochi perfettamente funzionanti. Il ripristino di questa funzionalità è avvenuto grazie all'abilità e all'impegno del Signor Antonio Grilli, coadiuvato dal Signor Andrea Sabbioni. Le difficoltà tecniche superate sono state notevoli. Un noto storico della scienza e della strumentazione scientifica aveva definito questo restauro come: "impossibile".





# Il Tubo di Quincke

➤ *Ambra Tinti*

**Bibliografia:** Catalogo degli Strumenti Antichi del Museo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna (numero St.An. 815) — A. Righi, Fisica Sperimentale, Appunti compilati da Adolfo Franchini, secondo le lezioni del Prof. A. Righi, Regia Università di Bologna, a.a. 1901-02, Soc. Ed. Universitas, Bologna, pp. 38-42 — Q. Majorana, Appunti delle lezioni di Fisica Sperimentale, raccolti da C. Bortolotti e B. Rossi presso la R. Università di Bologna nell'a.a. 1926-1927, ed. Valentinuzzi, Bologna, pp. 162-163 — E. Perucca, Fisica Generale e Sperimentale, UTET, Torino, (1932), 1941, pp. 593-595 — A. Tinti, Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a.1999-2000).

Il tubo di Quincke, conservato al Museo del Dipartimento di Fisica, proviene dal laboratorio parigino del fisico e costruttore tedesco Karl Rudolph Koenig (1832-1901) e risale alla seconda metà dell'Ottocento. Ideato da Georg Hermann Quincke (1834-1924) esso costituisce un buon apparato sperimentale per lo studio quantitativo dell'interferenza delle onde acustiche nell'aria. Tale fenomeno, insieme alla diffrazione, rappresenta una conferma della natura ondulatoria del suono e delle modalità di trasmissione delle perturbazioni meccaniche, già verificate con gli apparati precedentemente presentati. Tali fenomeni, scoperti negli studi sulla luce (T.Young, A.Fresnel), portarono dall'inizio del 1800 all'affermarsi del modello ondulatorio anche in questo campo. Si dice che si ha interferenza quando due o più onde distinte si incontrano in una data regione dello spazio. L'esperienza dimostra che, in tale luogo, esse sommano tra loro i propri effetti per poi continuare nella propagazione indisturbate e invariate nelle loro caratteristiche. La proprietà additiva delle onde va sotto il nome di principio di sovrapposizione. Uno dei casi d'interferenza più interessanti si ha quando le onde sono armoniche di uguale frequenza e ampiezza: esistono punti determinati del mezzo in cui gli effetti si vengono a rafforzare (interferenza costruttiva), altri dove vengono ad annullarsi (interferenza distruttiva). Considerando la definizione di lunghezza d'onda, come abbiamo già visto, come la distanza percorsa dall'onda in un periodo (o la distanza tra due punti di un mezzo in concordanza di oscillazione), e supponendo che le sorgenti vibrino in fase, il luogo di interferenza costruttiva è dato dai punti per cui la differenza dei cammini delle onde è pari a un multiplo della lunghezza d'onda; parimenti, il luogo di interferenza distruttiva è dato dai punti per cui la differenza dei cammini delle onde è pari a un multiplo dispari di mezza lunghezza d'onda. Tali risultati si possono ottenere in maniera formale applicando il principio di sovrapposizione alle funzioni d'onda. L'apparecchio di Quincke (Fig.1) permette di evidenziare sperimentalmente i fenomeni di interferenza costruttiva e distruttiva. Esso è costituito da un tubo in metallo con due diramazioni, una di lunghezza fissa e l'altra di lunghezza variabile (tramite condotti rientranti l'uno nell'altro). Davanti a una delle due estremità a forma di imbuto, viene posta una sorgente sonora (in generale un diapason), mentre alla rimanente si accosta l'orecchio di un ascoltatore o un microfono. Il tubo è fissato ad una tavola di sostegno, dotata di una scala millimetrica in grado di misurare la differenza di lunghezza tra i due bracci.



**Funzionamento:** posta in vibrazione la sorgente sonora, il suono si propaga tutto intorno, e in particolare, lungo le due diramazioni, così da creare come due generatori acustici coerenti. Le onde prodotte eseguono cammini diversi fino a sovrapporsi nella regione di uscita del tubo. Variando la differenza tra i due percorsi è possibile registrare gli effetti del fenomeno interferometrico. Lo strumento offre così la possibilità di compiere diverse osservazioni e misure.

**Applicazione didattica:** Una prima indagine qualitativa è quella di porsi in ascolto dell'apparecchio mentre in maniera uniforme si fanno scorrere i condotti l'uno nell'altro. Ciò che si segnala è una variazione ripetuta della intensità del suono, da un valore nullo a un valore massimo, poi di nuovo a un valore nullo e così via. Riconosciuto l'effetto registrato come risultato della interferenza, si impiega lo strumento per una misura indiretta della lunghezza d'onda  $\lambda$  del suono nell'aria. Allo scopo si misura la distanza  $\Delta l$  sulla scala graduata, della quale bisogna spostare il braccio mobile per ottenere due minimi di intensità. Per definizione di interferenza distruttiva, la differenza dei percorsi delle due onde ( $2\Delta l$ ) vale una mezza lunghezza d'onda, cioè  $\lambda=4\Delta l$ . In pratica, visto la portata della scala graduata di qualche decina di centimetri (dell'ordine di  $10^{-1}m$ ), lo strumento va usato per misure di lunghezze d'onda comprese in un intervallo medio del range acustico (range acustico nell'aria:  $\lambda$  compresa tra

$3\text{cm} \div 20\text{m}$ ). Ora, misurata la lunghezza d'onda e nota la frequenza, attraverso la formula della velocità ( $U=\lambda \cdot \nu$ ), si è in grado di calcolare così la velocità di propagazione del suono nell'aria.

Inversamente, nota per altra via la lunghezza d'onda nell'aria, misurando sul tubo le varie differenze di cammino ( $2\Delta l$ ) per cui si verificano massimi e minimi di intensità, si può sperimentalmente constatare che essi si registrano quando  $2\Delta l$  assume un valore rispettivamente multiplo della lunghezza d'onda e multiplo dispari della semi-lunghezza d'onda. Tale apparato ha quindi grande valore didattico sia nell'indagine che nella verifica sperimentale, permettendo di introdurre il concetto di misura indiretta di una grandezza fisica (come la velocità o la lunghezza d'onda di un suono nell'aria) attraverso un fenomeno (l'interferenza) ad essa collegato. Il suo utilizzo, così come è stato descritto, è permesso ad un ascoltatore per volta. Il che sottolinea un rapporto diretto e personale tra docente e discente. Aspetto sempre di enorme importanza nella didattica. Si potrebbe superare però questo carattere individuale collegando i due rami del tubo di Quincke all'entrata ad aria di due capsule manometriche modificate, le cui due fiammelle vengono riflesse da uno specchio girante. In generale la capsula manometrica (v. Apparato di Koenig) è una scatola divisa in due parti tramite una membrana elastica. La prima camera è collegata, tramite un beccuccio e l'aria che la riempie, ad una sorgente sonora; la seconda è dotata di due aperture, i cui tubi permettono l'entrata e l'uscita di una corrente di gas fino ad un beccuccio in cui l'areoforme viene incendiato, formando la fiamma della capsula. Le capsule impiegate per il tubo di Quincke sono provviste, nel settore a gas, di un terzo foro supplementare. Queste aperture mettono in contatto i due dispositivi manometrici tramite due tubi che si ricongiungono ad un solo condotto fino ad una terza fiammella. Essa risentirà così degli effetti della sovrapposizione delle due onde provenienti dai bracci dell'apparato di Quincke. Lo studio del fenomeno interferometrico è compiuto confrontando le immagini delle tre fiammelle sullo specchio girante: due strisce luminose sono relative alle onde dei due rami, mentre la terza, intermedia nel sistema riflettente, è il risultato della loro interferenza. Se le due ramificazioni hanno uguale lunghezza appaiono tre fasce luminose seghettate, identiche per posizione di "denti" e incavature. Variando la differenza dei due percorsi, si ottiene una configurazione in cui la striscia intermedia è lineare, non dentellata, mentre le rimanenti sono comunque seghettate, ma complementari per locazione di denti e incavature (interferenza distruttiva). Continuando a mutare la differenza di cammino, si raggiunge un valore in cui la fiamma intermedia riprende a vibrare e lo specchio offre la stessa immagine ottenuta per bracci uguali. Tale dispositivo permette di rappresentare visivamente i suoni e il fenomeno d'interferenza a molti osservatori.

---

**Onde** Acustiche e Meccaniche

## Gli apparati didattici di Righi sulla Composizione dei Moti Pendolari

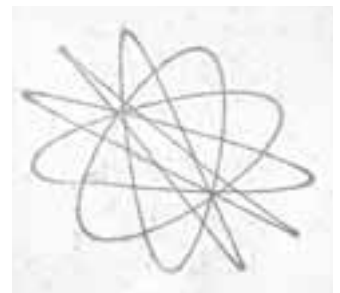
> *Ambra Tinti*

Il fisico Augusto Righi (1850-1920), ordinario di Fisica Sperimentale presso l'Istituto di Fisica dell'Ateneo bolognese, si dedicò profondamente alla didattica e all'ideazione di apparati per l'insegnamento di tutti i rami della fisica e, quindi, anche dell'Acustica. Tre sono gli strumenti originali di sua concezione, le cui Note furono presentate alla Reale Accademia delle Scienze di Bologna:

- "Di un nuovo apparecchio per l'interferenza delle onde sonore" (1892);
- "Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari" (1894);
- "Descrizione di un nuovo apparecchio per la composizione delle oscillazioni di due pendoli" (1898).

La composizione dei moti armonici fu argomento di studio per molti fisici che si interessarono di Acustica. La caratteristica distintiva di un suono, data dal suo timbro, permette di compiere due tipi di indagine, una sull'analisi (si veda l'apparato di Koenig) e l'altra sulla sintesi di un suono composto. Gli apparati ideati nel 1894 e 1898 riguardano la composizione dei moti pendolari, le cui leggi rappresentano formalmente le stesse leggi che regolano la sovrapposizione delle vibrazioni sonore. I due dispositivi hanno costruzioni simili e descrivo-

**Bibliografia:** Scelta di scritti di Augusto Righi, a cura di G. C. Dalla Noce e G. Valle, Nicola Zanichelli Editore, Bologna, 1950, pp. 261-266 — A. Righi, Fisica Sperimentale, Appunti compilati da Adolfo Franchini, secondo le lezioni del Prof. A. Righi, Regia Università di Bologna, a.a. 1901-02, Soc. Ed. Universitas, Bologna, pp. 75-95 — G. Nobili, La strumentazione acustica di A. Righi, dagli Atti dell'XI Congresso Nazionale di Storia della Fisica, G.N.S.F. del C.N.R., 1990, pp. 370-374 — A. Tinti, Ricerca storica sulle modalità didattiche in Acustica tra passato e presente, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm.ff.nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1999-2000).



no il moto di un punto materiale soggetto contemporaneamente a due moti, rispettivamente perpendicolari e paralleli tra loro.

#### *Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari (1894)*

È data una base orizzontale di legno su cui poggia un robusto telaio rettangolare. Dalla sommità partono due piccoli bracci, perpendicolari alla traversa superiore, che sostengono un primo pendolo, con piano di oscillazione coincidente con quello della cornice. La massa pendente è data da un anello di piombo, nel cui vano è posto un imbuto, pieno di sabbia finissima (o polvere di marmo). Un sistema di scorrimento lungo un regolo centrale, che scende verticalmente dalla traversa superiore, permette di variare la lunghezza del pendolo e quindi il suo periodo di oscillazione. Un secondo pendolo è appeso alla sommità del telaio ed è costituito da una tavoletta che può oscillare in un piano perpendicolare a quello della cornice di sostegno. In ultimo, un congegno apposito rende possibile variare la differenza di fase delle due vibrazioni.



#### *Nuovo apparecchio per la composizione delle oscillazioni di due pendoli (1898)*

Lo strumento in questione ha una struttura simile al pendolo doppio sopra descritto. I due pendenti, uno ad imbuto e di periodo variabile secondo il regolo centrale, l'altro a tavoletta e di numero di vibrazioni fisso, possono oscillare parallelamente al piano del telaio di sostegno, con fase relativa variabile. La tavoletta è dotata di due guide parallele, disposte lungo la sua dimensione trasversale (perpendicolarmente al piano della cornice portante), su cui scorre uniformemente a velocità regolabile (tramite un sistema di trazione a filo, carrucola e roteggio) un carrello metallico. Quest'ultimo porta nel suo vano un foglio di carta cosparsa di colla su cui viene a cadere la polvere.

**Applicazione didattica:** L'apparato del 1894 permette di ottenere la traiettoria di un punto materiale soggetto contemporaneamente a due moti vibratori, perpendicolari l'uno all'altro. Lo strumento del 1898, diversamente, ricava la funzione di composizione di due moti oscillanti parallelamente al variare del tempo. Benché le figure fossero già state sperimentalmente realizzate da Lissajous attraverso il metodo ottico, gli strumenti di Righi hanno il merito di basarsi esclusivamente su sistemi e movimenti meccanici, che consentono di conseguire figure stabili, regolari e complete, di facile analisi. Nel caso della composizione di moti ortogonali si assiste al ripetersi della medesima traiettoria per intervalli di tempo uguali, così da poter valutare la periodicità del moto composto in relazione ai periodi componenti e alla fase relativa. Ogni figura, opportunamente interpretata, contiene diverse informazioni. In generale essa è inscritta in un rettangolo che ha per lati la doppia ampiezza delle vibrazioni componenti. Se il rapporto tra i periodi è esprimibile attraverso una relazione semplice di numeri naturali, tale valore si ricava osservando quante volte la figura viene ad essere tangente ai due lati del rettangolo circoscritto.

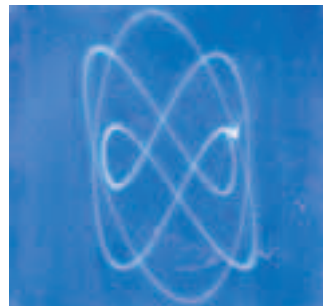
La validità sperimentale e didattica degli apparecchi di Righi è confermata dal loro agevole utilizzo da parte di molteplici osservatori e dalla facile acquisizione di rappresentazioni permanenti delle figure di Lissajous. In ultimo, essi permettono la discussione teorica sulla sintesi dei suoni. Si noti, però, che le intenzioni didattiche di Righi avevano una valenza ben più vasta, ponendo in relazione questi fenomeni di base indagati in campo acustico o in quello meccanico (il primo campo della fisica esplorato dall'uomo) con altri fenomeni ben più complessi, quali quello dell'ottica e dell'elettromagnetismo.

#### **Funzionamento:** *Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari (1894)*

Quando i due pendoli oscillano contemporaneamente, la sabbia liberata dall'imbuto descrive su carta, precedentemente spalmata di colla e posta sulla tavoletta, le figure di composizione di due moti armonici e perpendicolari tra loro. I grafici ottenuti, letti secondo un sistema piano di assi cartesiani (rappresentanti le due direzioni di oscillazione), indicano la traiettoria del moto di un punto materiale sul piano, soggetto ai due moti componenti. Le figure che si ottengono, variando il rapporto tra i periodi dei due pendoli e la fase relativa, sono molteplici. Esse furono precedentemente prodotte e studiate dal fisico francese J. Antoine Lissajous (1822-1880), da cui prendono il nome. L'apparato utilizzato da Lissajous consisteva essenzialmente di due diapason, di posizione reciproca variabile, ai cui rebbi era applicato uno specchietto: un raggio di luce viene riflesso dal primo diapason per poi incidere sul secondo e infine essere di nuovo riflesso. La luce, subite le due riflessioni, è raccolta su uno schermo o uno specchio girante.

#### *Apparecchio per la composizione delle oscillazioni di due pendoli (1898)*

Per ottenere la curva che descrive nel tempo la composizione di due moti pendolari, che avvengono nella stessa direzione, occorre comporre alle due oscillazioni un moto uniforme, di direzione perpendicolare a quella delle vibrazioni stesse. Ciò è ottenuto attraverso il sistema a carrello scorrevole. Sulla carta cosparsa di colla è così registrata la curva di oscillazione risultante. Gli studi vengono compiuti variando il rapporto tra i periodi e la fase relativa.



# Concetti introduttivi alla Microscopia

> Giovanni Pietro Sini

## Riduzione e percezione nell'osservazione degli oggetti

Nella nostra esperienza quotidiana, abbiamo a che fare con oggetti che possiamo esplorare con i nostri sensi, specialmente il tatto e la vista, per trarne "informazioni" (forma, dimensioni, colore, struttura interna, ecc.).

Se gli oggetti sono troppo lontani e ci appaiono troppo piccoli, possiamo averne un'immagine ingrandita o "ravvicinata" con appositi strumenti ottici, come se ci fossero più vicini; si tratta di strumenti assai diversi quanto a prestazioni, ma basati sullo stesso principio: cannocchiale, telescopio, binocolo, ecc. Questo mondo di oggetti direttamente percepibili con i nostri sensi può essere chiamato "macroscopico" (dal greco "macro" = lungo, grande, e "scopeo" = vedere). Se indaghiamo per capire quale è l'oggetto più piccolo che possiamo percepire, cioè quale è il limite inferiore del "mondo macroscopico", dobbiamo subito distinguere due problemi:

- 1) Quali dimensioni minime deve possedere un oggetto per essere percepito dai nostri sensi? (limite di percezione).
- 2) Quale è la distanza minima fra due "punti" perché noi possiamo distinguerli, cioè vederli separati, risolti? (limite di risoluzione).

In questa indagine dobbiamo precisare alcune convenzioni, che schematizzano le condizioni di osservazione al fine di ottenere risultati semplici e riproducibili:

- per "punto" si intende un oggetto così piccolo che, se fosse più piccolo, l'occhio "medio" non vedrebbe alcuna differenza;
- si suppone che le osservazioni siano compiute da una persona dotata di un "occhio medio" (le cui prestazioni corrispondono alla media di quelle delle persone con occhi sani);
- si suppone che la luminosità dell'oggetto sia adeguata alla sensibilità dell'occhio "medio" e che il suo contrasto sia eguale ad 1 (oggetto luminoso su fondo nero oppure oggetto nero su fondo luminoso);
- l'osservazione va compiuta ad una distanza fissa "convenzionale", pari a 250 mm;
- gli oggetti osservati sono sottili (senza spessore), piani, disposti su un piano ("piano oggetto"), che è perpendicolare all'"asse visuale" (retta che congiunge il nostro occhio col centro dell'oggetto).

Ebbene, si scoprirà che il limite di risoluzione è assai maggiore di quello di percezione: due punti appaiono distinti (risolti) nelle condizioni sopra elencate quando distano fra loro almeno 80  $\mu$  o millesimi di millimetro, mentre si può percepire un oggetto nero su fondo bianco con un diametro di circa un terzo (25  $\mu$ ) ed una linea nera con una larghezza di circa un ventesimo (4  $\mu$ ). Ciò significa che un oggetto così piccolo può essere percepito, ma non si può "risolvere" la sua struttura, cioè non si può sapere se è fatto di punti o linee più piccoli raggruppati. Ogni strumento ottico destinato all'osservazione degli oggetti (compreso l'occhio), cerca quindi non solo di farci percepire la presenza di un oggetto, ma di mostrarci la sua struttura, cioè di offrircene un'immagine contenente dettagli più fini possibile. Si può verificare il limite di risoluzione e di percezione con osservazioni al microscopio di oggetti opportuni (frustoli di Diatomee, scaglie di Lepidotteri, ecc.) o con diapositive.

La "risoluzione" diviene allora:  $R=1/d$  in cui  $d$  è la distanza minima di due punti che si possono ancora percepire come distinti: il potere risolutivo è tanto maggiore quanto più piccola è quella distanza minima. Il potere risolutivo dell'occhio umano è già stato definito ( $R=1/80 \mu$ ). Per il microscopio ottico, esso è legato all'"apertura" dell'obbiettivo, cioè all'ampiezza del cono di "raggi" che provengono da un punto dell'oggetto e che possono venir utilizzati dall'obbiettivo stesso, nonché da altri fattori. In pratica, il potere risolutivo del microscopio ottico con gli obbiettivi della massima apertura, non supera  $R=1/0,2\mu$ .

Ora occupiamoci della struttura degli oggetti. Ogni oggetto può venire studiato a vari livelli di risoluzione. Tralasciando la struttura interna dell'atomo, ogni oggetto è costituito da "atomi" o da gruppi di atomi ("molecole") legati fra loro da forze chimiche. Il diametro dell'atomo è intorno a un decimo di milionesimo di mm.

Si dice che tale diametro è dell'ordine di  $10^{-7}$  mm, ma si ricordi che l'atomo non è una piccola pallina solida, ma una "nube" di particelle assai più piccole e poco conosciute, gli elettroni, che ruotano attorno ad un nucleo centrale più grande e pesante; tali particelle sono circa 10000 volte più piccole dell'atomo, il quale quindi appare come uno spazio quasi vuoto nel quale orbitano gli elettroni.

Ebbene, gli atomi sono troppo piccoli per essere visti coi microscopio ottico od elettronico. Nel mondo delle sostanze organiche però vi sono molecole, comprendenti fino a decine di migliaia di atomi, che talvolta sono visibili al microscopio elettronico o eccezionalmente al microscopio ottico. Possiamo a questo punto distinguere gli oggetti in due grandi categorie:

- oggetti senza struttura microscopica : al di sotto della struttura macroscopica, l'oggetto è omogeneo, senza struttura, finché non si arriva al livello di atomi o molecole. Es.: il vetro, i minerali, le materie plastiche, i liquidi, i gas.
- oggetti con struttura microscopica: nei limiti del microscopio ottico (risoluzione da  $100 \mu$  a  $0,2 \mu$ ), o comunque ad un livello superiore a quello atomico, sono visibili strutture che sfuggono completamente ai nostri sensi. Es.: molte rocce, molte polveri, molte leghe metalliche, quasi tutti i materiali organici, molti prodotti industriali.

In particolare, i materiali organici, cioè gli esseri viventi o loro parti, mostrano anche dopo la morte una struttura molto complessa anche a più livelli, come quella dei tessuti che risultano composti da cellule di vario tipo, ogni cellula con molti "organelli", ognuno di questi più o meno complesso, ecc. Ogni essere vivente è come una scatola cinese: via via che aumenta il potere risolutivo dell'osservatore o del suo strumento, si scoprono livelli di strutture sempre più fini, e l'osservazione produce livelli di informazioni sempre più allargati. Si possono illustrare questi concetti con serie di diapositive od osservazioni dirette dello stesso oggetto riprese a diverso ingrandimento: sezioni istologiche colorate, elitre di Cicindela, vari Licheni, foglie di Muschi, scaglie di farfalle, ecc.

## La lente d'ingrandimento

In molti schemi ottici, si traccia una retta orizzontale che collega il centro dell'oggetto col centro della lente, detta "asse ottico". A sinistra si pone l'oggetto (o la sorgente di radiazione); a destra l'immagine. Per semplicità, si schematizza spesso una sola metà dell'oggetto; poiché l'oggetto si suppone piano, nello schema l'oggetto appare in sezione, come un segmento (il piano oggetto è perpendicolare all'asse). Così, se B - B' è l'asse ottico; AB è un segmento nella metà superiore del piano oggetto; A'B' è l'immagine di questo segmento, creata dal sistema ottico dell'occhio, che si forma sulla superficie interna di esso, dove si trova uno strato di cellule nervose sensibili, detto "retina". Quando osserviamo un oggetto ad occhio nudo, come la freccia AB, sul fondo dell'occhio, sulla retina, si forma un'immagine impiccolita dell'oggetto (AB') ad opera delle "lenti" dell'occhio. Se avviciniamo l'oggetto all'occhio ( $A_0B_0$ ), l'immagine di esso risulta più grande; quando osserviamo un oggetto piccolo, istintivamente facciamo proprio questo, affinché esso ci appaia più grande.

L'occhio è dotato di un sistema ottico a focale variabile, paragonabile in parte ad un obiettivo fotografico di tipo "zoom", per cui, entro certi limiti, l'immagine in esso si forma sempre sulla retina, cioè appare sempre nitida, "a fuoco". Se avviciniamo troppo l'oggetto, questo meccanismo automatico dell'occhio, chiamato "accomodazione", non basta più. A questo punto, per avvicinare ulteriormente l'oggetto, occorre aiutare l'occhio fornendo un'aggiunta al potere convergente ("potenza") del suo sistema ottico; ciò si fa interponendo fra oggetto ed occhio una lente convergente o "lente d'ingrandimento". Aumentando la potenza della lente d'ingrandimento, si potrebbero osservare oggetti piccoli quanto si vuole, semplicemente avvicinando sempre più l'oggetto all'occhio. Ma questo rende scomoda l'osservazione. Inoltre, per aumentare la potenza di una lente, occorre aumentare la curvatura delle sue facce, e questo significa diminuire il raggio e quindi il diametro. Una lente forte e piccola comporta così una riduzione delle dimensioni osservabili dell'oggetto ("campo oggetto"). In conclusione, una lente d'ingrandimento è utilizzabile fino a circa 20 ingrandimenti. Si possono confrontare lenti di differente potenza, notando la relazione esistente fra potenza, curvatura, diametro e lunghezza focale. Si possono eseguire misure di focale creando l'immagine di un oggetto a notevole distanza. Oltre questo limite, si ricorre al "microscopio composto", cosiddetto perché è costituito da almeno due sistemi distinti di lenti, mentre la lente d'ingrandimento ("microscopio semplice") è costituita da un solo sistema e spesso da una lente semplice.

## Il microscopio composto

Negli strumenti reali, si trovano spesso sistemi di lenti o accessori di ogni tipo, ma i sistemi essenziali sono due: l'obiettivo e l'oculare. Si suppone che l'oggetto sia convenientemente illuminato, e per questo esistono numerosi dispositivi che tengono conto della natura dell'oggetto e dei risultati che si vogliono ottenere. L'obiettivo è una lente convergente di forte potenza che può sembrare simile ad una forte lente d'ingrandimento, ma opera con un principio diverso, paragonabile a quello di un obiettivo da proiettore. Infatti, l'immagine prodotta da una lente d'ingrandimento è destinata a venire raccolta dall'occhio, mentre quella dell'obiettivo deve essere "proiettata" su uno schermo. Si possono eseguire alcune prove proiettando su una parete il filamento di una lampadina elettrica con una lente convergente dotata di ingrandimento proprio di circa 2,5 x, (circa 100 mm di focale, pari a 10 diottrie). A questo punto, si potrebbe dire che anche la lente di ingrandimento produce un'immagine, ma questa è formata da raggi paralleli o divergenti per cui essa non si può raccogliere su uno schermo; essa può solo essere ricevuta dall'occhio che si avvale dei propri mezzi rifrangenti per rendere convergenti i raggi divergenti forniti dalla lente d'ingrandimento. Questo tipo di immagine, proprio perché non converge in un piano, è detta "virtuale". Se invece un sistema ottico fornisce un fascio convergente (un fascio per ogni punto dell'oggetto), esso produce un'immagine su un piano definito, nel senso che su quel piano si forma un'immagine a "fuoco" dell'oggetto. E' quanto avviene in un proiettore per diapositive. Tale immagine è detta "reale". In un microscopio, l'obiettivo fornisce un'immagine reale dell'oggetto, che è racchiuso nel "vetrino"; tale immagine, detta "immagine intermedia", si forma in un piano interno allo strumento; qui non si trova uno schermo, ma lo si potrebbe mettere, e si vedrebbe che l'immagine è ingrandita e rovesciata rispetto all'oggetto: tutti sanno che in un proiettore la diapositiva deve essere rovesciata per avere sullo schermo un'immagine diritta. Si possono mostrare questi fenomeni con un microscopio munito di un obiettivo 20:1 e focalizzando su un reticolo di passo circa 0,1 mm, o su un micrometro. L'immagine intermedia si potrà raccogliere su un vetro smerigliato posto sull'estremità superiore del tubo, dopo

tolto l'oculare; si potrà notare che un movimento del reticolo provoca uno spostamento in senso opposto della sua immagine.

Subito dopo questa "immagine intermedia", vi è un altro sistema convergente detto oculare, all'estremità superiore del "tubo" del microscopio. L'oculare "vede" l'immagine intermedia come se fosse un oggetto, e ce ne mostra un'immagine (virtuale) ulteriormente ingrandita. Dunque, l'ingrandimento totale del microscopio è dato dal prodotto di due ingrandimenti: quello dell'obbiettivo e quello dell'oculare. Con opportuni schemi ottici, si spiega la formazione delle immagini reali e virtuali, il concetto di ingrandimento e di lunghezza focale, il calcolo dell'ingrandimento per l'obbiettivo, l'oculare ed il microscopio. Si possono anche eseguire misure di queste grandezze con "micrometri" ed altri accessori.

Molti altri concetti possono essere illustrati in queste conversazioni sperimentali. Per esempio, quello di ingrandimento utile, di apertura angolare, di apertura numerica, le aberrazioni, gli obbiettivi ad immersione, il microscopio stereoscopico.

### **Le applicazioni**

Da quanto si è detto sulla struttura degli oggetti, dovrebbe riuscire chiaro come siano poche le categorie di oggetti che non possano esser meglio conosciute attraverso l'osservazione al microscopio. Vi sono intere branche di studio e di applicazione che non esisterebbero senza il microscopio o sono nate solo dopo la sua introduzione: la microbiologia (studio dei microrganismi), la citologia (studio della struttura delle cellule), ecc. Impossibile dunque elencare tutte le applicazioni, ma almeno si deve ricordare che, anche a piccolo ingrandimento, la maggioranza degli oggetti naturali può venir compresa appieno solo con l'uso del microscopio. Si possono eseguire molte osservazioni, anche attraverso un circuito chiuso televisivo:

#### *Materiali viventi in movimento:*

- Culture di microrganismi d'acqua dolce;
- Zoospore di Equiseti ed Epatiche;
- Correnti plasmatiche in peli vegetali di varie specie, ecc.

#### *Materiali a fresco:*

- Pollini, spore, sezioni vegetali a mano, epidermidi vegetali e catafilli;
- Funghi inferiori, Muschi, Licheni, Felci, anatomia dei fiori; semi (microscopio stereoscopico);
- Gusci e scheletri di microrganismi acquatici in campioni di sabbia o di argille (microscopio stereoscopico);
- farine fossili;
- Insetti di ogni genere, ragni, acari, ed altri Invertebrati; ali ed altri organi di insetti (m. stereoscopico);
- Fibre naturali od artificiali;
- Semiconduttori miniaturizzati; sezioni di campioni metallici, ecc.
- Sospensioni di particelle solide (tempera o inchiostro di china diluiti) per l'osservazione dei moti browniani (al massimo ingrandimento possibile).

#### *Materiali preparati:*

- Microrganismi in strisci o colture.
- Sezioni istologiche animali e vegetali.
- Strisci di sangue di animali di vari gruppi sistematici.
- Sezioni di legno. Sezioni di rocce. Microcristalli.

Ove possibile, si può fare un accenno ai fenomeni della radiazione polarizzata ed al loro valore diagnostico riguardo alla microstruttura di oggetti naturali ed artificiali; si possono osservare:

- Fibre artificiali e naturali, peli, ecc.
- Tessuti vegetali e loro inclusi cristallini, catafilli, ecc.
- Esoscheletri di insetti, ecc.
- Sezioni di tessuto osseo, denti, epidermidi, ecc.
- Microcristalli e sezioni di rocce.
- Fenomeni di fotoelasticità in resine sintetiche. ecc.



## SCHEDE DIDATTICHE PER L'OTTICA-FISICA

- LUCE BIANCA: scomposizione e ricomposizione dello spettro
- I COLORI
- Strumenti ottici: CENNI INTRODUTTIVI ALLA MICROSCOPIA
- RIFRAZIONE, DEVIATIONE, CONVERGENZA, RIFLESSIONE INTERNA ed ESTERNA
- SPECCHI E SPLITTER -STRATI SOTTILI INTERFERENZIALI
- OTTICA GEOMETRICA (rifrazione, lenti sferiche, approssimazione di Gauss, immagini reali e virtuali, ingrandimento, i diaframmi e l'apertura, le pupille) (Teoria)
- LE ABERRAZIONI OTTICHE (Teoria)
- LE FIBRE OTTICHE
- I FILTRI OTTICI (Teoria)
- LA FLUORESCENZA E LE SUE APPLICAZIONI
- LA POLARIZZAZIONE della RADIAZIONE OTTICA
- Strumenti ottici: LaLENTE d'INGRANDIMENTO e l'OCULARE
- Strumenti ottici: Il CANNOCCHIALE ed il TELESCOPIO
- Strumenti ottici: Osservazioni con lo SPETTROSCOPIO
- Strumenti ottici: Il LASER
- La DIFFRAZIONE e l'INTERFERENZA in campo ottico, come si realizzano a mezzo di LASER
- FOTOGRAFIA a DISTANZA RAVVICINATA e MACROFOTOGRAFIA (Corso)
- MICROSCOPIA OTTICA GENERALE (Manuale)

### *In progetto:*

- OTTICA per ASTROFILI (Manuale)
- La STORIA degli OCCHIALI
- L'OCCHIO come strumento ottico
- L'ARCOBALENO

## SCHEDE DIDATTICHE DI ARGOMENTO NATURALISTICO BIOLOGICO

- LE PIANTE "SUCCULENTE"
  - LE GALLE o CECIDIN
  - IL MIMETISMO fra gli animali ed i vegetali
  - I GRANDI GRUPPI ANIMALI (Le grandi linee della classificazione)
  - GLI ORGANISMI VIVENTI ed i loro caratteri (Problemi generali di biologia)
  - LE PIANTE "INFERIORI" o CRITTOGAME
  - CRITTOGAME: BATTERI ed ALGHE con particolare riferimento alle forme terrestri
  - CRITTOGAME: FUNGHI (MICETI)
  - CRITTOGAME: LICHENI
  - CRITTOGAME: MUSCHI ed EPATICHE (BRIOFITE)
  - CRITTOGAME: FELCI in senso lato (PTERIDOFITE)
  - LETARGO e VITA LATENTE in animali e vegetali.
- In progetto:
- I MOVIMENTI DELLE PIANTE e dei loro organi
  - L'IMPOLLINAZIONE - I meccanismi di trasporto del polline
  - I CRIPTOZOI (Microrganismi del terreno)
  - CELLULE E TESSUTI animali e vegetali
  - LA SIMMETRIA IN NATURA nei suoi vari aspetti
  - I COLORI in NATURA (Meccanismi ottici di formazione dei colori e loro significato biologico)
  - L'ACQUA in NATURA (Funzione biologica, singolarità delle sue caratteristiche fisiche)
  - Lo studio dei fossili (PALEONTOLOGIA), la discendenza degli esseri viventi (FILOGENESI) e l'evoluzione
  - L'EVOLUZIONE BIOLOGICA (Selezione, eredità, adattamento, speciazione, eladogenesi, ecc.)
  - RIGENERAZIONE biologica, cicatrizzazione e sviluppo
  - DIPNOI, i pesci che camminano (biologia, sistematica, filogenesi)
  - MICRORGANISMI DELL'ACQUA DOLCE
  - ANATOMIA DEL FIORE E DEL FRUTTO
  - IL LEGNO e la sua STRUTTURA FINE
  - LE DIATOMEE: la silice diventa rosoni e piume
  - LE CONCHIGLIE nei Molluschi, Foraminiferi, ecc.: la geometria dell'elica

Attività didattica al Museo di Fisica

---



**E**lettromagnetismo  
Classico /  
*Classic Electromagnetism*



Ipertesti e Didattica della Fisica:

# Un'Applicazione all'Elettromagnetismo Classico

> *Simona Empoli*

L'ipertesto presentato qui di seguito, realizzato come lavoro di tesi, rientra nel progetto di dotare il Museo di Fisica dell'Università degli Studi di Bologna di materiale didattico multimediale, da mettere a disposizione delle scolaresche che abitualmente lo frequentano.\* Esso tocca alcuni aspetti dell'elettromagnetismo classico. Nel testo si presentano giudizi riguardo l'utilizzo di ipertesti e multimedia nell'ambito della didattica, raccolti dalla consultazione di manuali a carattere psico-pedagogico; la struttura scelta per l'ipertesto; i contenuti e gli strumenti multimediali utilizzati per la loro esposizione. Perché l'ipertesto? Perché introdurre uno strumento come l'ipertesto multimediale in ambito didattico? Non si può evitare di porsi questa domanda nel momento in cui si decide di realizzare un CD-ROM in vista di un utilizzo come materiale didattico. Consultando alcuni libri e articoli riguardo l'impiego delle nuove tecnologie nella didattica e il loro impatto sull'apprendimento, ho raccolto idee, speculazioni, esperienze e giudizi in grado di giustificare una tale scelta e di incoraggiarla.

Idee, speculazioni e giudizi; psicologi e pedagoghi affermano:

- negli ipertesti, l'organizzazione ed il recupero della conoscenza è simile all'organizzazione associativa della memoria umana: «[gli ipertesti] rendono visibili ed espliciti i processi mentali che sono sempre stati parte della esperienza totale del leggere ma che la struttura fisica del testo stampato tende a negare» (A.Calvani);
- la multimedialità permette «di sviluppare tutti gli aspetti della mente e insegna ai ragazzi ad aprirsi a prospettive diverse» (P.Greenfield);
- Gardner, all'interno della sua teoria delle intelligenze multiple, sottolinea come le tecnologie possano svolgere ruoli diversi: un ruolo di supporto in aiuto alle intelligenze meno sviluppate, un ruolo di amplificazione in risonanza con le intelligenze maggiormente sviluppate;
- ipertesti multimediali presentano ricchezza dell'ambiente didattico e molteplicità dei modi di presentazione dell'informazione;
- la scuola è il luogo appropriato per l'utilizzo critico e responsabile dei diversi media, grazie all'opportunità che offre alla discussione e allo scambio di idee (P.Greenfield).

Da parte loro, le esperienze mostrano:

- come il computer suscita nei ragazzi un vivo interesse e sia altamente motivante (C.Pontecorvo, L.Galliani);
- come l'uso di tecnologie ipertestuali permetta di svolgere attività coinvolgenti abilità cognitive di livello superiore a quello abituale (V.Midoro);
- la superiorità didattica dell'uso combinato di più mezzi (P.Greenfield, W.R.Hughes).

Ho trovato diverse di queste motivazioni ragionevolmente condivisibili e in grado di incoraggiare lo sviluppo di CD-ROM, non solo per la divulgazione, come accade per lo più attualmente, ma anche per l'utilizzo didattico.

## La struttura dell'ipertesto

La realizzazione di un ipertesto impone di operare scelte consapevoli, in maniera più forte che non la stesura di un testo scritto. Ciò a causa delle potenzialità che l'ipertestualità e la multimedialità offrono. Tali scelte riguardano prima di tutto la struttura, che può assumere un aspetto qualunque da quello lineare a quello reticolare. Il mezzo in se stesso, infatti, non dà alcun indirizzo, esso offre solamente delle opportunità, è il fruitore che deve utilizzarlo in una direzione piuttosto che in un'altra. In seguito alla visione di diversi prodotti, sia di tipo divulgativo che didattico (questi in misura minore, perché meno diffusi), la mia scelta è stata quella di lasciare al materiale almeno la silhouette di un libro. Le motivazioni che mi hanno spinto ad una tale scelta sono state la consapevolezza delle abitudini ormai radicate in più generazioni di studenti, la cui istruzione si è formata per la maggior parte su supporti cartacei, e lo smarrimento che ho provato io stessa navigando all'interno di alcuni CD-ROM. Tale silhouette consiste, all'interno di una struttura a più strati, di uno strato generale, con le caratteristiche di un riassunto: un punto di riferimento, per veicolare un accesso più immediato e meno destabilizzante. A questo strato, che potrei definire divulgativo, sono affiancati successivi strati di approfondimento. Il primo strato nomina i contenuti e li collega,

**Bibliografia:** Iperscuola - A.Calvani - Muzzio Nuovo Millennio Editore — Media, computer, società e scuola - Varisco, Mason - Casa Editrice SEI — <http://www.mediamente.rai.it/home/bibliote/intervis/>, da cui: H. Gardner, "Intelligenze multiple e nuove tecnologie" — <http://www.mediamente.rai.it/home/bibliote/intervis/>, da cui: C. Pontecorvo, "Il computer nella scuola elementare" — <http://www.mediamente.rai.it/home/bibliote/intervis/>, da cui: L. Galliani, "Il futuro tecnologico della scuola" — [http://www.infosys.it/INF090/n\\_solo\\_i/tec\\_did/](http://www.infosys.it/INF090/n_solo_i/tec_did/), da cui: V. Midoro, "Sistemi multimediali e didattica" — S. Empoli, Ipertesto: sviluppo concettuale dell'elettromagnetismo tra storia della Fisica, esperimenti e didattica, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1997-1998).

svolge la funzione del filo in una collana di perline. E' caratterizzato da descrizioni sommarie, definizioni e concetti; in esso mancano figure e formule. Queste compaiono negli strati successivi, richiamati dal primo tramite associazioni per parole (le parole chiave) o per immagini (le icone), in seguito alla scelta del lettore. Ad essi ho riservato il compito di spiegare, ampliare, puntualizzare le parole, le definizioni e i concetti riferiti nel primo.

I livelli di approfondimento potrebbero essere suddivisi in due categorie:

- didattica, ossia del contenuto fisico;
- storica, ossia dei personaggi o degli eventi legati alle leggi e alle idee.

Dal punto di vista estetico, gli strati appaiono sullo schermo come fogli, o schede, di diversa dimensione, maggiore per lo strato generale, ridotta per gli strati di approfondimento, tale da permettere la visualizzazione e consultazione di più schede d'approfondimento contemporaneamente. Al fine di evitare al lettore di smarrirsi, aprendo un numero eccessivo di pagine o perdendo la nozione della sua posizione all'interno dell'intero contesto, ho adottato due accorgimenti. Innanzitutto ho stabilito un limite alla possibilità di visualizzare contemporaneamente schede dello stesso tipo, creando per ognuno di questi solo due contenitori entro i quali alternare le pagine richiamate. Ho poi creato uno strato statico con un indice attivo: si tratta di uno sfondo, che occupa lo schermo durante l'intero periodo di utilizzo dell'ipertesto, sul quale appaiono tutti gli altri strati. L'indice, di cui è munito, presenta i titoli delle pagine dello strato generale, che mutano colore quando si richiama la pagina relativa. L'indice, quindi, rende conto della posizione in cui si trova il lettore all'interno dello strato generale, inoltre gli permette di raggiungere una determinata pagina, selezionandone col cursore il titolo, senza dover scorrere le altre che da essa lo dividono. La struttura a strati, così composta di uno generale e di vari di approfondimento, mi è sembrata ideale per adempiere tre importanti funzioni:

- la "manuabilità", ovvero la funzione manualistica, non tanto nei rimandi nozionistici del termine, quanto nel senso di permettere una consultazione rapida e proficua, ai fini di intendere il carattere precipuo del contenuto;
- la commensurabilità fra contenuto e fruitore: ogni strato ha un suo grado di approfondimento e difficoltà, tale da renderlo idoneo a soggetti differenti; nello specifico aumenta da uno strato al successivo la richiesta di impegno intellettuale e competenze;
- la visibilità, ossia la possibilità di percepire con più immediatezza e chiarezza la consapevolezza dell'unitarietà del contenuto; nel mio caso la visione della convergenza dei campi elettrico e magnetico in quello elettromagnetico.
- la multimedialità

Nella realizzazione dell'ipertesto mi sono servita di immagini e suoni. Le immagini che ho usato sono: disegni e fotografie, ovvero immagini statiche; animazioni; filmati, o meglio video-clip. Le animazioni le ho usate per spiegare, puntualizzare e chiarire definizioni (di termini, di unità di misura, di regole), idee e concetti. Per mostrare fenomeni ed esperienze, per verificare l'attesa di determinate leggi, ho preferito il filmato all'animazione; quello come mezzo maggiormente persuasivo, perché apparentemente più oggettivo, di questa. I suoni sono voci e musiche che ho utilizzato per spiegare e rendere più godibili le animazioni, e le voci impiegate nella lettura di alcune pagine dell'ipertesto, per renderne meno gravosa, e ancora una volta più piacevole, la fruizione. In particolare ho introdotto la voce recitante nelle pagine di natura storica (descrizioni di figure di scienziati, racconti di eventi storici, testi derivati da documenti storici), nelle pagine dedicate alla strumentazione storica, negli esercizi.

### **La storia come strumento didattico**

Nell'ipertesto sono presenti schede dedicate alle figure di scienziati che compaiono a fianco di leggi, scoperte o eventi, e altre dedicate ad episodi o considerazioni, con l'inserimento di fonti attribuite agli stessi personaggi.

L'introduzione della storia è spinta dalla convinzione del suo valore culturale innanzi tutto e dell'aiuto che può portare alla migliore comprensione dei concetti, per sottolineare, talvolta, aspetti di un argomento, con aneddoti o episodi, in maniera più efficace che non attraverso fredde e asettiche spiegazioni. Del resto l'uso della storia permette di mostrare come idee e teorie siano profondamente influenzate dalla cultura e da altri aspetti sociali caratteristici dell'epoca in cui furono concepite, nonché dall'educazione personale degli scienziati che vi apportarono i loro contributi. L'inserimento di rimandi storici in un testo, può essere frenato dal timore di interferire con lo sviluppo concettuale dell'argomento fisico. La struttura dell'ipertesto offre allora l'opportunità di una più flessibile gestione del materiale storico, l'opportunità di inserire richiami, senza disturbare lo svolgersi didattico del contenuto: è un'icona che può essere o meno ignorata. A fianco di personaggi ed eventi storici ho introdotto la presentazione di alcuni strumenti, appartenenti per lo più al Museo di Fisica. Essi sono descritti in schede, arricchite di fotografie o animazioni che ne mostrino la struttura e ne chiariscano il funzionamento, oppure in filmati. Oltre il loro valore culturale, ho considerato che diversi strumenti storici, per la loro semplicità strutturale, potessero essere impiegati, attraverso la spiegazione del loro funzionamento, per chiarire e sottolineare aspetti e concetti, ed anche per porre piccoli quesiti. Un esempio: le correnti e i campi magnetici. Per chiarire il ruolo nell'economia dell'ipertesto dei vari elementi descritti (la struttura, la multimedialità, la storia, gli esercizi), mostro di seguito lo sviluppo di uno specifico argomento, le interazioni fra correnti e campi magnetici.

Nello strato generale enuncio brevemente i fatti:

- si osservano interazioni fra campi magnetici e correnti e fra corrente e corrente;
- le correnti generano campi magnetici, la cui forma è dettata dalla geometria del circuito;

e suggerisco che le interazioni elettrica e magnetica sono solo aspetti differenti delle proprietà magnetiche della materia, sottolineando l'ipotesi con l'aiuto di un filmato, ma non spiegandola ulteriormente, perché rimanga uno

stimolo ad una ricerca attraverso altri mezzi. Dallo strato generale sono poi richiamate le schede, i filmati, le animazioni o le immagini, che approfondiscono i singoli concetti.

Per le interazioni fra correnti e magneti, per le leggi di Laplace e Ampère, per i campi generati dai circuiti, nelle schede fornisco una sintetica descrizione, la formulazione matematica e una spiegazione dei termini che in quest'ultima compaiono. In ogni scheda sono presenti un certo numero di icone, che rappresentano altrettante opportunità di approfondimento:

- accanto alla singola formula può comparire un'icona, che indica la presenza per essa di una deduzione matematica da altre leggi, il lettore può scegliere se prenderla in considerazione o meno;
- accanto alla breve descrizione delle interazioni, un'icona può richiamare un filmato che mostra l'effettiva azione delle correnti o dei campi magnetici;
- alla descrizione dei campi generati dai diversi circuiti possono essere associati filmati o fotografie e disegni, che ne danno un'immagine o una schematizzazione;
- regole, come quelle che implicano l'uso delle mani nella determinazione delle direzioni e dei versi delle linee di forza, o artifici, come quello della scomposizione in piccoli elementi, sono illustrate da animazioni;
- esempi numerici cercano di fornire un'idea del valore delle grandezze fisiche espresse da determinate formule.

I richiami storici possono essere abbinati:

- a nomi di figure che compaiono associate a leggi o formule, allora la scheda storica riguarda la vita e l'opera degli stessi;
- accanto ad eventi o terminologie.

In questo secondo caso, la storia può riguardare la descrizione di una scoperta, come nel caso di quella compiuta da Oersted, ciò con un semplice valore informativo-culturale. Oppure può essere usata come stimolo per riflessioni didattiche. Questo è il caso dell'aneddoto della presentazione della scoperta di Ampère all'Accademia delle Scienze di Parigi. Quando si trattano le interazioni fra magneti e correnti, una volta scoperto che queste ultime generano campi magnetici e che in questi immerse sono soggette a forze, pare naturale concludere che due fili percorsi da corrente esercitino un'azione l'uno sull'altro. Perché a noi pare ovvio ciò che ovvio non era per Ampère? La risposta, richiesta al lettore, risiede nella nozione di campo magnetico che noi ora possediamo. In questa circostanza l'aneddoto diviene una specie di quesito, atto a far riflettere su un particolare concetto. A piede della seconda pagina dello strato generale, compare l'icona del museo. Essa indica la presenza della descrizione di uno strumento storico. Si tratta del "moltiplicatore di Schweigger". La descrizione della sua semplice struttura (un telaio di legno, un avvolgimento di fili di rame ed un ago magnetico) e dell'altrettanto semplice funzionamento, richiama tutta una serie di concetti e aspetti toccati nell'esposizione: l'interazione fra correnti e magneti, la presenza di un campo magnetico terrestre e la necessità di tenerne conto durante l'esecuzione di misure, la forma del campo magnetico generato da una spira o da un solenoide, la caratteristica vettoriale dei campi magnetici, la possibilità di aumentare l'intensità del campo magnetico agendo non sulla corrente ma sul numero di avvolgimenti. La descrizione dello strumento offre quindi la possibilità di riprendere, chiarire e visualizzare concetti e aspetti trattati; è un momento di richiamo e riflessione.

Per quanto riguarda gli esercizi, nello strato generale è inserito un esercizio del tipo che richiede la costruzione di una mappa concettuale, nelle schede sono invece inseriti gli esercizi ispirati alle esperienze di laboratorio proposte dalla guida al laboratorio del PSSC. In particolare ogni esercizio compare nella scheda relativa alla legge che, nell'esperienza di riferimento, è usata per compiere delle misure o che viene determinata. Ad esempio, nella scheda dell'ipertesto relativa alla forza agente su un filo in un campo magnetico, affermo che il fatto può essere usato per determinare l'unità di misura e il modulo dell'induzione magnetica. Ciò può costituire esperienza di laboratorio, come mostrato nella suddetta guida. Mi è sembrato in questa circostanza utile portare a riflettere sulla condizione nella quale mettersi per operare le misure. Allora, disegnando una serie di situazioni (filo perpendicolare al campo magnetico, filo parallelo, filo in una posizione qualunque), chiedo quale potrebbe essere la migliore. Prima ancora propongo, per familiarizzare con la situazione, un esercizio in cui stabilire la direzione della forza agente nelle stesse condizioni.

## Conclusioni

L'ipertesto multimediale, come ogni strumento, ha pregi e difetti. Un problema che si può incontrare riguarda lo spazio di memoria a disposizione; esso per quanto indubbiamente elevato, può risultare insufficiente quando si iniziano ad introdurre animazioni, filmati o clip audio. Questa limitazione di spazio impone attente scelte e può portare a tagli indesiderati. D'altra parte proprio animazioni, suoni o filmati si dimostrano particolarmente utili per trattare parti solitamente pesanti, astratte e a volte noiose, come trattazioni matematiche e dimostrazioni: l'uso di alcuni codici come quello visivo, attraverso immagini animate o filmati, può rendere talora più comprensibili contenuti, che lo studente potrebbe altrimenti immaginare o visualizzare, appunto, con difficoltà. La realizzazione di un ipertesto richiede un ingente impiego di conoscenza e tempo. Qualora gli autori fossero un docente (che intenda creare materiale didattico per i propri studenti) o gli stessi studenti (che intendano creare materiale per altri utenti, quali ad esempio altri studenti), è per essi necessaria una forte motivazione, che dovrebbe essere dettata non solo dallo scopo, ma dall'ambiente scolastico stesso in cui si trovano a lavorare o studiare. Ciò sarebbe favorito da una maggiore considerazione dell'ipertesto quale strumento didattico, cosa non ancora attuale. La divulgazione degli ipertesti, del loro mero utilizzo o anche di una loro creazione mirata da parte dei docenti, dipende e dipen-

derà dalla diffusione di adeguati strumenti e di un certo tipo di idea didattica. Nel contempo, la creazione di ipertesti validi e utili, può incentivare la scuola a prenderne in maggiore considerazione l'utilizzo e a muoversi in direzione dello sviluppo di quegli strumenti e quelle idee. La considerazione dell'ipertesto come mezzo didattico dovrebbe anzitutto essere maggiormente diffusa a cominciare dalla stessa università. Nell'educare futuri insegnanti, essa non dovrebbe dimenticare di avvicinarli e aiutarli a familiarizzare con le nuove, almeno per noi, tecnologie. Ciò per aumentare la loro consapevolezza intorno agli strumenti didattici e per non lasciarli sprovveduti e in imbarazzo di fronte a studenti più abili e competenti di loro. Inoltre, la creazione di ipertesti o altro materiale didattico da parti di studenti universitari, forse futuri insegnanti, può costituire un fruttuoso ponte fra due livelli di istruzione troppo spesso divisi.

*\*Oltre all'ipertesto presentato nell'articolo, ne è stato realizzato un altro riguardante l'ottica [Tesi di Laurea di Marco Furno, relatore Giorgio Dragoni].*

Onde elettromagnetiche

## Banco di Ampère: un modello didattico storico

➤ Annalisa Bugini

L'inizio della produzione scientifica di successo di André-Marie Ampère (1775-1836) nel campo dell'elettrologia ha una data ben precisa: lunedì 18 settembre 1820. Fino al 1820 Ampère aveva conseguito una certa reputazione sia per i suoi lavori di matematica sia per quelli in campo chimico. Se fosse morto prima del settembre di quell'anno, sarebbe ora ricordato come una figura minore nell'ambito della storia della scienza. Fu la scoperta dell'elettromagnetismo, e, in particolare, dell'effetto magnetico della corrente da parte di Hans Christian Oersted (1777-1851) nella primavera del 1820 ad aprire ad Ampère un nuovo campo di indagine ed a fornire allo scienziato l'opportunità di mostrare la potenza del proprio metodo di ricerca. Il 4 settembre 1820 François Arago (1786-1853) riportò la scoperta di Oersted al pubblico, tra lo scettico e lo stupito, di una riunione dell'Accademia delle Scienze di Parigi. La maggior parte dei membri dell'Accademia non poteva letteralmente credere alle proprie orecchie: il grande Coulomb (1736-1806) non aveva provato a sufficienza nel 1780 che non potevano esservi interazioni tra elettricità e magnetismo? La proverbiale credulità di Ampère fu questa volta a lui congeniale; accettò immediatamente la scoperta di Oersted e iniziò a "pensarci su". Il 18 settembre espose la sua lettura all'Accademia delle Scienze; il 25 settembre ed il 9 ottobre continuò il resoconto delle sue scoperte. In queste poche settimane era nata la scienza dell'elettrodinamica. La prima grande memoria sull'elettrodinamica di Ampère fu quasi completamente fenomenologica. Con una serie di semplici e classici esperimenti, provò l'efficace validità della propria tesi ossia che il magnetismo era elettricità in movimento. Ampère conclude la sua memoria con nove punti (di cui vengono qui riportati solo alcuni), come summa dei suoi primi lavori.

- Due correnti elettriche si attraggono l'un l'altra quando si muovono parallele nella stessa direzione; si respingono l'un l'altra quando si muovono parallelamente ma in direzioni opposte.
- Quando i filamenti metallici attraverso i quali passano le correnti si possono muovere solo su piani paralleli, ognuna delle due correnti tende a fare oscillare l'altra in una posizione parallela ad essa e puntante nella stessa direzione.
- Queste attrazioni e repulsioni sono assolutamente diverse dalle attrazioni e repulsioni della comune elettricità statica.
- Tutti i fenomeni generati dalla mutua azione tra una corrente elettrica ed un magnete, scoperti da Ampère, sono inglobabili nella legge di attrazione e repulsione tra due correnti elettriche (che è appena stata enunciata), se si assume il fatto che un magnete è dato dalla somma di correnti elettriche pro-

**Bibliografia:** A.-M. Ampère, Opere, a cura di Mario Bertolini, UTET, (1969) — M. Faraday, Saggio storico di elettromagnetismo, a cura di P. Marazzini e P. Tucci, CUEN, (1996) — M. Giozzi e M. Giua, Storia delle Scienze, Vol.II, UTET, (1965) — L.Pearce Williams, André-Marie Ampère, Le Scienze, Aprile (1989) — A. Bugini Storia della Fisica e Modelli Didattici: un excursus tra passato e presente, Tesi di Laurea, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche Naturali, Università degli Studi, Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1995-1996).

**Applicazione didattica:** questo apparato può essere utilizzato per illustrare esperimenti di elettromagnetismo alle classi della scuola media inferiore, puntando su di un aspetto del fenomeno puramente qualitativo, ed alle classi della scuola media superiore, introducendo il formalismo matematico ed effettuando alcune misure quantitative dei fenomeni coinvolti.

dotte dall'azione di particelle d'acciaio poste l'una sull'altra, in analogia con gli elementi di una pila voltaica, che esiste in piani perpendicolari alla linea che unisce i due poli del magnete.

- I due poli di un magnete non differiscono sostanzialmente l'uno dall'altro; la sola differenza rilevabile tra essi è il fatto che uno si trovi alla sinistra e l'altro alla destra delle correnti elettriche che forniscono proprietà magnetiche all'acciaio.

Alessandro Volta (1745-1827) aveva suggerito che il contatto tra due metalli diversi desse origine ad una corrente se i metalli erano connessi tra loro tramite un fluido conduttore. Ampère semplicemente assunse il fatto che il contatto tra le molecole del ferro in una barra magnetica dovesse dare origine ad una corrente simile. Un magnete, allora, può essere interpretato come una serie di pile voltaiche nelle quali le correnti elettriche si muovono concentricamente attorno all'asse del magnete.

Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), uno dei creatori della teoria ondulatoria della luce ed amico di Ampère, fece notare la non sussistenza di questa ipotesi. Il ferro non era considerato un buon conduttore dei fluidi elettrici e, se l'ipotesi di Ampère era corretta, vi doveva essere sviluppo di calore. La superficie dei magneti non era apprezzabilmente calda ed Ampère, messo di fronte a questo fatto, reagì cercando di abbandonare la sua teoria. Ma fu proprio Fresnel a fornire ad Ampère una via d'uscita. Questi scrive, in una nota ad Ampère, che fintanto che non si conoscerà qualcosa di più sulla fisica delle molecole, "perché non assumere che siano presenti delle correnti elettriche attorno a ciascuna molecola"? Se queste molecole, quindi, potessero essere allineate, la risultante delle correnti molecolari potrebbe risultare esattamente uguale alla richiesta. Ampère adotta immediatamente il suggerimento dell'amico e nasce l'elettrodinamica molecolare.

**Il Modello didattico storico:** basandoci sulle testimonianze di Ampère, è stato progettato e costruito un banco per alcune semplici ma interessanti esperienze didattiche sui fenomeni elettromagnetici. Originariamente, nel febbraio del 1821 Ampère aveva commissionato la costruzione di un "banco per le esperienze elettrodinamiche" al celebre meccanico francese Hippolyte Pixii (1808-1835) e di tale banco si servì Jean Baptiste Delambre (1749-1822) il 2 aprile 1821 per ripetere, davanti all'Accademia delle Scienze, i fondamentali esperimenti di Ampère. Per la costruzione del banco ci siamo basati su descrizioni e disegni contenuti nelle Opere di Ampère e, in particolare, sulla riproduzione di un simile apparato conservato al Museo Civico e Medievale di Modena, nella sezione dedicata alle Scienze Fisiche. Lo strumento è stato catalogato come "Tavolo dimostrativo delle Leggi Elettrodinamiche secondo A.M. Ampère (1775-1836); progettato da Liberato Baccelli (1772-1835)", la cui data di costruzione viene fatta risalire al 1850 circa, anche se è probabilmente anteriore. Il tavolo, costruito in legno, ottone e rame, comprende i circuiti elettrici, un galvanoscopio, due commutatori ed un sostegno di rame al quale sono appese le coppette per i circuiti mobili. Come strumentazione di base appaiono inoltre: due apparecchi per la conduzione, tre conduttori ad anello, tredici conduttori mobili di varie forme (quadrati, rettangoli, bobine, cerchi, etc.), un solenoide, un quadro in legno con bobina di nastro di rame, un telaio in legno con due conduttori diritti ed uno sinusoidale, un'asta di rame con coppetta. Il nostro modello didattico è stato realizzato per il Museo di Fisica –in occasione della Tesi di Laurea affidata a A. Bugini– dal Signor Antonio Grilli, abilissimo tecnico e restauratore che offriva il suo lavoro volontario dopo la quiescenza al Museo di Fisica del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna.

**Il Modello didattico attuale:** sulla base del dispositivo storico (banco di Ampère-Baccelli), è stato progettato un modello didattico analogo ma molto più semplice e pratico. In campo didattico, i vantaggi offerti da un'apparecchiatura di questo genere sono molteplici e con essa si possono effettuare numerose esperienze didattiche. Pur con l'intento di mantenere l'aspetto di quello che poteva essere pressappoco, e con i limiti imposti dalle moderne restrizioni (l'impossibilità, ad esempio, di utilizzare mercurio per i contatti elettrici), l'apparecchiatura usata da Ampère nella sua presentazione all'Accademia delle Scienze di Parigi nel 1820, questo banco permette la realizzazione di esperienze tuttora riportate nei testi di fisica per le scuole superiori. È possibile quindi condurre un discorso parallelo tra l'aspetto storico delle scoperte effettuate da Ampère, una loro presentazione sperimentale, le loro conseguenze e l'attuale applicazione di tali studi. Un'altra prerogativa nell'utilizzo di questo banco è di offrire una strumentazione di base fissa, sulla quale agire tramite la sostituzione di alcune parti mobili (ad esempio fili, solenoidi, bobine) a seconda delle esperienze che si intendono illustrare, in modo tale da evitare la precaria stabilità di circuiti non fissi che potrebbero in parte alterare se non scoraggiare la buona riuscita degli esperimenti. Vediamo quali sono le esperienze che si possono effettuare con il banco di Ampère (ci soffermeremo su quelle meno note):

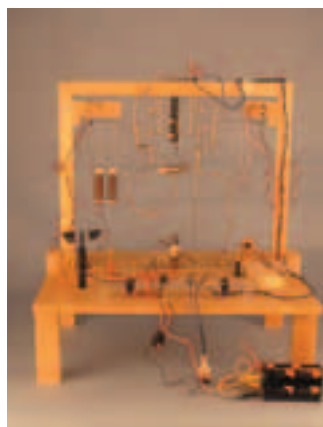
**Esperienza di Oersted:** Effetto magnetico della corrente elettrica.

**Esperienza di Faraday:** L'esperienza di Oersted mostra che una corrente elettrica genera un campo magnetico; l'esperienza di Faraday mostra che un campo magnetico esercita forze su un conduttore percorso da corrente; quindi una corrente elettrica deve esercitare forze su un'altra corrente.

**Esperienza di Ampère:** L'esperienza ha mostrato, per opera di Ampère, che i conduttori percorsi da corrente agiscono meccanicamente l'uno sull'altro. Vediamo quindi come agiscono le forze elettrodinamiche che si esercitano tra due fili paralleli percorsi da corrente (forze ponderomotrici). Sul banco è presente un apparato atto a dimostrare questa esperienza: un filo conduttore fissato ad una base può essere posto vicino e parallelo ad un filo conduttore opportunamente sagomato e libero di muoversi. Collegando appropriatamente i due fili in modo da fare circolare la corrente in essi ora in verso concorde, ora discorde, si può notare che, citando lo stesso Ampère, "facendo passare contemporaneamente una corrente elettrica in ciascuna delle pile, esse si attiravano mutuamente quando

le due correnti avevano lo stesso senso e si respingevano quando avevano direzioni opposte". Queste forze tra corrente e corrente (forze elettrodinamiche), quelle tra correnti e magneti (forze elettromagnetiche) e quelle tra magneti e magneti (forze magnetiche) sono, a prima vista, cose diverse; ma, in realtà, possono essere descritte ed espresse in forma quantitativa usando un solo concetto fondamentale: quello di campo. In complesso, i risultati di queste esperienze mostrano che le correnti elettriche producono campi magnetici e ne risentono l'azione: mostrano, cioè, l'intima correlazione tra i fenomeni elettrici ed i fenomeni magnetici.

**Il principio di equivalenza di Ampère:** L'andamento delle linee di forza nel campo magnetico generato da un filo percorso da corrente dipende assai strettamente dalla forma del filo; particolarmente interessante è il caso in cui il filo abbia forma di spira circolare. Una spira percorsa da corrente equivale ad un magnete a sbarra, NS, posto nel suo centro, perpendicolare al piano della spira. Il polo Nord del magnete equivalente alla lamina circolare è dalla parte indicata dal pollice della mano destra, quando questa sia disposta lungo la spira nel verso della corrente. Una spira, nella quale la corrente sia addotta mediante lunghi fili flessibili, in modo che essa sia libera di ruotare su se stessa, si orienta spontaneamente lungo la direzione (in quel punto) del campo magnetico terrestre, nello stesso modo di un ago magnetico, disponendosi in modo che il suo piano risulti perpendicolare alla direzione Nord-Sud e che la sua faccia Nord, determinata con la regola della mano destra, sia rivolta verso il Nord. Nel banco di nostra costruzione, il principio di equivalenza di Ampère è illustrato tramite un dispositivo composto da un supporto di materiale plastico terminante con una spira di circa 15 centimetri di diametro. Nel piano della spira ed innestato alla sommità del supporto è posto un ago magnetico mobile, libero di ruotare attorno al proprio asse. In



assenza di corrente, l'ago permane nella sua posizione di equilibrio all'interno del campo magnetico terrestre. Se viene fatta circolare corrente all'interno della spira, l'ago, dopo alcune oscillazioni, tende a disporsi quasi parallelamente al piano della spira. A livello didattico, è interessante analizzare il seguente problema: facendo ruotare in modo continuo, a 360 gradi, l'intero apparato (formato dal supporto e dalla spira) e facendo circolare corrente nella spira, quale sarà il comportamento dell'ago magnetico? Esso si manterrà sempre in posizione perpendicolare al piano della spira.

**Apparato per dimostrare l'analogia fra un magnete rettilineo e un solenoide percorso da corrente:**

Nella più importante memoria pubblicata da Ampère sui primi lavori di elettrodinamica (*Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience*, 1827) viene illustrata un'apparecchiatura che rispecchiava la preoccupazione dello scienziato di imitare strettamente la disposizione pressunta delle correnti elettriche microscopiche in un magnete cilindrico allungato. Contrariamente a quanto è spesso illustrato nei manuali di Fisica in uso nelle scuole superiori, Ampère non passa dalla esperienza eseguita con una spira percorsa da corrente (ossia dal "particolare") alla esperienza con il solenoide (al "generale") ma percorre esattamente il cammino op-

posto. Dopo avere provato che due fili rettilinei percorsi da corrente si influenzano l'un l'altro e forte dell'esperienza di Oersted con la quale si ammettevano proprietà magnetiche ai corpi conduttori percorsi da corrente, Ampère compie un gesto molto importante: prende un filo conduttore e lo piega a spirale cilindrica o, come dirà più tardi, dandogli una forma a solenoide (termine da lui coniato, in greco solen significa tubo). Quale era il motivo di questo speciale avvolgimento? Il solenoide, nell'ipotesi di Ampère, doveva simulare un magnete di forma cilindrica ed allungata; se un filo percorso da corrente avvolto a spirale si comportava come un magnete, non poteva un magnete essere assimilabile ad una somma di correnti voltaiche? Fondandosi sulla analogia esistente tra i solenoidi e le calamite, Ampère fornì una teoria ingegnosa per mezzo della quale i fenomeni magnetici si includono nella serie degli elettrodinamici. Invece di attribuire i fenomeni magnetici all'esistenza di due fluidi, Ampère li fa dipendere da correnti voltaiche circolari che esisterebbero attorno alle molecole delle sostanze magnetiche. Quando queste sostanze non sono magnetizzate, le correnti molecolari hanno direzioni diverse, e la risultante delle loro azioni elettrodinamiche è nulla. Il solenoide utilizzato nel banco di Ampère da noi costruito differisce alquanto dall'originale progettato da Pixii; a causa delle restrizioni imposte dal vigente sistema sanitario. Ricordando che i collegamenti tra gli accessori mobili e le coppette di supporto di questi erano permessi dall'uso del mercurio, la scelta di non usare questo tipo di contatto è stata pressoché obbligata poiché l'utilizzo di mercurio, in ambito scolastico, è proibito a causa della sua elevata tossicità (se assorbito tramite l'apparato respiratorio o la pelle). Ristretti da queste sensate condizioni di lavoro, si è ovviato al problema applicando i contatti sopra e sotto il solenoide (chiudendolo in un sistema "a morsa") permettendogli così la rotazione attorno all'asse centrale, quando percorso da corrente.

**Attrazione e repulsione tra solenoidi e tra spire percorse da corrente:** Come tra due fili rettilinei percorsi da corrente vi sono fenomeni di attrazione e repulsione, così tra due solenoidi percorsi da corrente si presentano gli stessi fenomeni. Se ai poli di un solenoide si avvicinano i poli di un altro solenoide, pure percorso dalla corrente, si trova che i poli omonimi si respingono e gli eteronimi si attraggono. Le stesse attrazioni e repulsioni si ottengono avvicinando alle facce polari del solenoide una calamita. Inoltre, dividendo un solenoide in varie parti, si ottengono altrettanti solenoidi (come accade spezzando una calamita). Questo è mostrato, nel banco, tramite l'utilizzo di due solenoidi appesi ad un sostegno comune e collegati, di volta in volta, in serie o in parallelo tra loro. Se i due sole-

noidi, percorsi dalla medesima corrente vengono collegati in serie, questi si attrarranno; viceversa, se collegati in parallelo, si allontaneranno l'uno dall'altro. Un'analogia esperienza si può ripetere utilizzando spirali piane. Collegando tra loro le due spirali una volta in serie, ed una volta in parallelo, si ottengono gli stessi effetti di attrazione e repulsione riscontrati prima tra solenoidi, attestando l'analogia tra il comportamento di solenoidi e spire percorse da corrente ed i magneti.

**La spirale di Roget:** Le azioni elettrodinamiche tra due correnti sono messe in evidenza nella spirale di Roget. Nel modello originale, una spirale di filo di rame viene sospesa ad un supporto isolato in modo tale che il capo inferiore di questa sfiori la superficie di mercurio contenuta in un vasetto posto alla base dell'apparecchio. Collegando il capo superiore ed il vasetto con i reofori di una pila, le spire contigue vengono percorse da corrente di verso uguale; la spirale, quindi, si accorcia e la sua punta esce dal mercurio interrompendo la corrente. Le spire, non più attratte tra di loro, riprendono la posizione iniziale, le punte ricadono di nuovo nel mercurio, richiudendo il circuito ed il fenomeno si ripete. Le spirali si mettono così ad oscillare, interrompendo periodicamente la corrente; questa spirale rappresenta forse il più semplice interruttore automatico mai realizzato. Sul banco è presente una riproduzione della spirale di Roget: invece che in posizione verticale, è mostrata in posizione orizzontale; quando questa viene percorsa da corrente, si accorcia visibilmente, dando così un'ulteriore conferma al fenomeno dell'attrazione tra spire circolari, disposte parallelamente e percorse da corrente in modo concorde

Onde elettromagnetiche

## Modello meccanico di Maxwell per l'induzione elettromagnetica

> Mery Grillini

Questo dispositivo è stato realizzato -con un chiaro scopo didattico- da James Clerk Maxwell (1831-1879) attorno al 1876 per illustrare meccanicamente il fenomeno dell'induzione delle correnti elettriche. Il progetto originale di Maxwell è riportato nella conclusione del VII capitolo del suo Trattato sull'elettricità e il magnetismo (1873), dedicato alla teoria dei circuiti elettrici. I due circuiti in interazione elettromagnetica, secondo il modello meccanicistico (la meccanica allora era la chiave di interpretazione dei fenomeni fisici) di Maxwell, sono rappresentati meccanicamente per analogia da due dischi: l'inducente e l'indotto. I due dischi sono connessi attraverso un meccanismo differenziale composto da tre ruote dentate coniche. Le rotazioni dei due dischi rappresentano le correnti nei due circuiti (l'inducente e l'indotto), il momento d'inerzia del differenziale rappresenta i coefficienti d'induzione; la cordicella passante sul disco "indotto" rappresenta la resistenza del circuito secondario.

**Applicazione didattica:** il modello meccanico per la spiegazione dei fenomeni induttivi tra i circuiti elettrici può essere anche oggi un utile mezzo didattico per far comprendere l'idea intuitiva di induzione e quindi la fenomenologia che accompagna questo fenomeno fisico. Gli argomenti correlati sono: l'elettromagnetismo con particolare riferimento all'induzione elettromagnetica tra circuiti. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano l'elettromagnetismo, in particolare

**Il Modello didattico:** il nostro modello rispecchia quello realizzato nel 1876 da Maxwell con alcune modifiche che riguardano principalmente l'uso dei materiali utilizzati. L'intera infrastruttura è costruita, per facilitare la comprensione, in plexiglas trasparente, ed è composta da un basamento e da due supporti verticali a forma trapezoidale. I dischi sono anch'essi in plexiglas e su ognuno di essi è stata praticata una scanalatura per "ospitare" il filo di resistenza. Il cilindro cavo centrale è di bronzo, e su di esso sono state praticate le cavità in cui avvitare i bracci della crociera e il foro passante per il perno centrale. Il ruotismo differenziale è formato da tre ruote coniche dentate. Il perno passante e i bracci della crociera sono in acciaio e opportunamente rettificati. I supporti per i cuscinetti, i canotti e i 4 pesi sono in bronzo. Questi ultimi sono dotati di una vite di testa per poterli bloccare nella posizione desiderata. Il tutto è facilmente smontabile e rimontabile. Il modello è stato costruito grazie alla cortese collaborazione dell'INFN (Sezione di Bologna) al Museo di Fisica. Si ringraziano, a questo proposito,

**Bibliografia:** W. Niven, The Scientific Paper of James Clerk Maxwell, Cambridge, (1890) — J.C. Maxwell, A Treatise on Electricity & Magnetism, Dover USA, (1873) — G. Dragoni, Le origini del campo elettromagnetico, LE SCIENZE, N.356 Aprile, (1998) — G. Dragoni, James Clerk Maxwell, Dalla meccanica della forza alla meccanica dell'energia, in Cento anni di radio, le radici dell'invenzione, a cura di A. Guagnini e G. Pancaldi, (1998) — M. Grillini, James Clerk Maxwell: aspetti concettuali dell'elettromagnetismo e modelli didattici per l'induzione delle correnti, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatori G. Dragoni e G.B. Porcheddu, (a.a. 1998-1999).

l'induzione elettromagnetica, quindi il dispositivo è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'elettromagnetismo.



il direttore della Sezione Prof. Paolo Giusti e il tecnico Sig. Giulio Pancaldi, che ha realizzato costruttivamente gran parte del nostro progetto.

**Il Funzionamento:** con questo meccanismo si possono descrivere tutte le caratteristiche dell'induzione elettromagnetica. Per il tempo in cui il disco inducente ruota uniformemente, il disco indotto rimane stazionario; ma quando il disco inducente viene messo in movimento o viene fermato, risulta trasmesso al disco indotto un impulso in direzione opposta. Questo impulso è determinato dall'accelerazione trasmessa e dipende dal coefficiente d'accoppiamento, dall'inerzia e dalla resistenza dell'indotto in esatta analogia con un sistema elettrico. Il momento d'inerzia del volano (cioè la ruota dentata dell'ingranaggio che ha lo scopo di moderare con la sua inerzia meccanica le variazioni di velocità ad essa trasmesse), determinato nel modello meccanico dalla posizione dei quattro pesetti collocati sulla crociera, rappresenta il coefficiente d'accoppiamento tra i circuiti, che nell'analogo elettromagnetico viene variato modificando la geometria dei circuiti.

Onde elettromagnetiche

## Modello di Felici sull'induzione elettromagnetica

> Mery Grillini

Nell'opera di James Clerk Maxwell (1831-1879) "A Treatise on Electricity & Magnetism" (1873) viene riportato nel §536 lo schema di principio di un'apparecchiatura per lo studio degli effetti dell'induzione di circuiti fissi alimentati da correnti variabili. Questo schema è confrontabile con il modo di procedere tipico del fisico italiano Riccardo Felici (1819-1902) al quale Maxwell fa esplicito riferimento. Lo schema circuitale, alla luce della conoscenza delle leggi d'induzione può essere descritto facilmente. Il circuito è costituito da due bobine inducenti di stesso numero di spire, e due bobine indotte anch'esse di stesso numero di spire, accoppiando una bobina inducente con una indotta. Per evitare la mutua induzione tra le due coppie di spire, e quindi complicare lo studio, si pongono queste ad una distanza considerevole una dall'altra. Le bobine inducenti sono collegate in serie ed alimentate da una batteria. Le bobine indotte si collegano in serie ad un galvanometro il cui scopo è di rilevare l'equilibrio tra le eventuali correnti indotte.

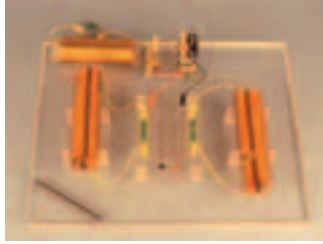
**Applicazione didattica:** il modello storico didattico sviluppato permette di realizzare semplici ma interessanti esperienze sulle correnti indotte di carattere sia qualitativo sia quantitativo. Gli argomenti correlati sono: l'elettromagnetismo con particolare riferimento all'induzione elettromagnetica tra circuiti. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano l'elettromagnetismo, in particolare l'induzione

**Il Modello didattico** da noi realizzato riprende lo schema di Maxwell riportato nel Trattato. Essendo la descrizione ivi riportata sostanzialmente uno schema di "principio", e non avendo trovato negli scritti a stampa di Felici illustrazioni o indicazioni sulle dimensioni costruttive dell'apparato in questione, non si è potuto eseguire una ricostruzione filologicamente fedele alle caratteristiche costruttive proprie dello strumento. Il dispositivo costruito è stato realizzato su un basamento di plexiglas. I due accoppiamenti induttivi sono stati disposti simmetricamente uno rispetto all'altro e posizionati su opportuni sostegni in plexiglas. Ognuno di essi è costituito da due solenoidi coassiali avvolti su cilindri cavi di plastica trasparente, e collocati uno internamente all'altro. Al centro del basamento è collocata una piastra di plexiglas appoggiata su quattro cubetti, sempre in plexiglas, sulla quale è stato realizzato lo schema elettrico fisso e sono state posiziona-

**Bibliografia:** W. Niven, The scientific Paper of James Clerk Maxwell, Cambridge, (1890) — J.C. Maxwell, A Treatise on Electricity & Magnetism, Dover USA, (1873) — G. Dragoni, Le origini del campo elettromagnetico, LE SCIENZE, N.356 Aprile, (1998) — G. Dragoni, James Clerk Maxwell, dalla meccanica della forza alla meccanica dell'energia, in Cento anni di radio, le radici dell'invenzione, a cura di A. Guagnini e G. Pancaldi, (1998) — M. Grillini, James Clerk Maxwell: aspetti concettuali dell'elettromagnetismo e modelli didattici per l'induzione delle correnti, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatori G. Dragoni e G.B. Porcheddu, (a.a. 1998-1999).



elettromagnetica, quindi il dispositivo è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'elettromagnetismo.



te le boccole occorrenti ai collegamenti esterni in filo flessibile. Il modello è stato costruito grazie alla cortese collaborazione dell'INFN (Sezione di Bologna) al Museo di Fisica. Si ringraziano, a questo proposito, il direttore della Sezione Prof. Paolo Giusti e il tecnico Sig. Giulio Pancaldi, che ha realizzato costruttivamente gran parte del nostro progetto.

**Il Funzionamento:** alimentando le bobine inducenti, poste in serie, con una batteria si avrà che una bobina sarà percorsa da una corrente in un senso mentre la seconda sarà percorsa dalla medesima corrente in senso opposto. In condizioni di corrente stazionaria non si manifesta nessun fenomeno induttivo sulle bobine indotte collegate in serie e quindi il galvanometro non segnerà nessuna corrente. Qualora venga variata la corrente nelle bobine inducenti, aprendo o chiudendo il circuito primario, per la legge di Faraday-Neumann nelle bobine indotte verranno originate delle f.e.m. indotte che daranno luogo a correnti d'uguale valore ma opposte in segno che sommandosi algebricamente nel circuito del galvanometro daranno l'equilibrio.

Onde elettromagnetiche

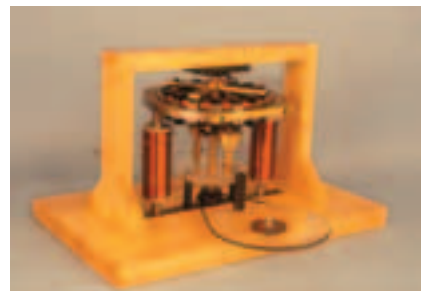
## Anello di Pacinotti

> Francesca Minucci

Nel 1864 Antonio Pacinotti (1841-1912) descrive in un articolo pubblicato su *Il Nuovo Cimento*, Serie 1, Volume XIX, pag. 378, una nuova macchina elettro-magnetica. Questa macchina ha la proprietà di funzionare sia come motore, alimentando le spire dell'avvolgimento principale e le spazzole del rotore, sia come dinamo applicando un'azione meccanica facendo ruotare la ruota dentata attraverso una puleggia a manovella e alimentando l'avvolgimento primario.

**Il Modello didattico** da noi realizzato si basa principalmente sulla descrizione riportata nell'articolo già citato e sull'analisi dei due modelli originali conservati presso l'Università di Pisa. Rispetto al modello originale, si sono eseguite alcune variazioni sui materiali utilizzati per rendere maggiormente comprensibile il principio di funzionamento. Le dimensioni originali risultano circa del 15-20% inferiori rispetto a quelle da noi adottate per il modello costruito. Questo sia per semplicità costruttiva, sia per una migliore comprensione delle varie parti. L'infrastruttura è realizzata in legno: un basamento, due supporti laterali e una traversina che li unisce. La parte principale della macchina è costituita da una ruota dentata in acciaio di sedici denti equispaziati sulla circonferenza. L'anello è sorretto da una crociera di ottone. Il commutatore è riprodotto in plastica su cui sono fissati 16 pezzi di ottone. Gli elettromagneti in acciaio, sono uniti da una barra di ferro dolce. L'asse di rotazione, su cui sono fissati l'anello e il commutatore, è realizzato in ottone e poggia su due cuscinetti che ne riducono fortemente gli attriti. Esso è collegato, tramite una cinghia, ad una puleggia di plexiglas che serve per imprimere il moto rotatorio a tutto l'apparato quando si desidera il funzionamento come dinamo. Il modello è stato costruito grazie alla cortese collaborazione al Museo di Fisica dell'INFN (Sezione di Bologna). Si ringraziano, a questo proposito, il direttore della Sezione Prof. Paolo Giusti e il tecnico Sig. Giulio Pancaldi, che ha realizzato costruttivamente gran parte del nostro progetto.

**Il Funzionamento:** *Motore* - l'elettromagnete a ferro di cavallo e le spazzole del rotore sono alimentati da due generatori in corrente continua. Con quest'alimentazione si ottiene una rotazione cioè una trasformazione di energia elettrica in energia meccanica. Questo è messo in luce anche collegando all'asse di rotazione un filo con dei pesetti attaccati facendo notare che i pesetti possono venire sollevati. *Dinamo* - in questo caso l'unica parte che ha bisogno di alimentazione è lo statore che deve creare un campo magnetico dentro il quale deve ruotare l'elettrocalamita trasversale all'anello. Girando la puleggia, grazie alla manovella, si genera corrente sulle spazzole e si vede che più si gira velocemente più l'intensità di corrente è grande.



**Applicazione didattica:** il modello storico didattico ricostruito permette di realizzare semplici ma interessanti esperienze sul funzionamento del motore e della dinamo. Gli argomenti correlati sono: l'elettromagnetismo con particolare riferimento all'impiego delle elettrolamite nei motori elettrici. L'apparato costituisce un'utile introduzione ad alcuni concetti di elettromagnetismo, e in particolare allo sviluppo delle macchine elettriche e delle conseguenze a livello sociale ed individuale che ne conseguono. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano l'elettromagnetismo, in particolare il funzionamento dei motori elettrici, quindi il dispositivo è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'elettromagnetismo.

•  
Onde elettromagnetiche

## Verifica dell'esistenza del Campo magnetico rotante

> *Fabrizio Varoli*

Riproduzione del modello per la verifica dell'esistenza del campo magnetico rotante realizzato dallo scienziato torinese Galileo Ferraris che lo presentò, insieme a tutta la trattazione fisico-matematica, alla Regia Accademia delle Scienze di Torino il 18 marzo 1888. La scoperta maturò in seguito agli intensi studi del fisico tecnico sulle correnti alternate come mezzo per il trasporto dell'energia a grandi distanze e sul problema di trasformare codesta energia in forza motrice.

**Il Modello didattico** realizzato non è una replica fedele dell'apparecchio di Ferraris, bensì un modello in grado di far toccare con mano propria agli studenti l'esistenza del campo magnetico rotante, principio base del funzionamento di tutti gli attuali motori asincroni trifase, che costituiscono la maggior parte dei motori elettrici attualmente in uso. Infatti con esso si possono realizzare semplici esperienze didattiche qualitative e quantitative come lo stesso Ferraris fece con i suoi studenti. Per la realizzazione pratica del modello mi sono recato all'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino dove mi è stato concesso di visionare le quattro riproduzioni storiche degli originali dello scienziato andati distrutti. Il modello è formato da una base in legno. Su questa base, attraverso sostegni nello stesso materiale, vengono montati due avvolgimenti. Questi ultimi sono composti da spire rettangolari avvolte su telai in legno. I due telai si incastrano manualmente nei sostegni disposti sulla base in modo che i piani delle spire siano perpendicolari tra loro. Al centro esatto del telaio più interno, attraverso un piccolo gancio, è appeso un cilindretto di ferro.



**Bibliografia:** G. Silva, Chi ha scoperto il campo magnetico rotante? in L'energia elettrica XIV, n. 12, p. 915-923, Milano, 1937 — G. Silva, G. Ferraris, il campo magnetico rotante e il motore asincrono, in L'elettrotecnica, XXXIV, n.9, p.346-378, Milano, 10-25 settembre 1947 — A. Silvestri (A cura di), Galileo Ferraris e l'A.E.I., Edizioni All'insegna del pesce d'oro, Milano, 1998 — L.Olivieri ed E.Ravelli, Elettrotecnica, Edizioni CEDAM, Padova, 1972 — F. Varoli, Galileo Ferraris e il primo motore asincrono per correnti alternate: tra storia e didattica della fisica, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1998-1999).

**Applicazione didattica:** con il modello storico didattico si possono realizzare esperienze didattiche i cui scopi principali sono quelli di avvicinare lo studente all'uso dell'alternata, di farlo riflettere sulla fase delle grandezze alternate e di introdurre il principio di funzionamento del motore asincrono meditando su numerosi aspetti del magnetismo rotazionale.

**Funzionamento:** iniettando in due o più circuiti correnti alternate sinusoidali isofrequenziali, ma di fase diversa, basta orientare spazialmente i circuiti stessi in modo corrispondente alla fase temporale per ottenere da un dispositivo immobile un campo magnetico rotante con velocità angolare che chiameremo induttore. Il campo magnetico induttore, scorrendo di fronte alle singole generatrici del cilindro, vi genera delle correnti indotte. Questo sistema di correnti indotte risulta a sua volta immerso nel campo magnetico rotante che le genera, il quale esercita su di esse un complesso di forze magneto-elettriche che costituiscono una coppia che trascina il cilindro in rotazione nello stesso verso del campo magnetico rotante dimostrandone l'esistenza. Essendo il modello costituito essenzialmente da due bobine fissate nello spazio con i rispettivi assi normali tra loro basterà alimentare le due bobine con correnti sfasate l'una rispetto all'altra di  $\pi/2$  per verificare che il cilindro appeso al centro comincerà a ruotare. Per sfasare le due correnti basterà usare un condensatore inserito in serie a una delle due bobine e ad opportune resistenze preventivamente dimensionate.

Onde elettromagnetiche

# Il primo Motore Asincrono per correnti alternate

> *Fabrizio Varoli*

**Applicazione didattica:** il modello storico-didattico permette di progettare esperimenti didattici atti a mostrare direttamente agli studenti la creazione di campi magnetici da spire percorse da corrente alternata, la legge di Faraday-Lenz, molti aspetti dell'elettromagnetismo e a familiarizzare con strumenti di misura quali amperometri, voltmetri, multimetri digitali e dinamometri. Un parziale riscontro dell'utilità di questi modelli è venuto da due classi quinte dell'Istituto Tecnico Industriale "E.Fermi" di Mantova che hanno assistito alla dimostrazione del funzionamento dei modelli e che insieme ai docenti hanno cercato di individuare i principi fisici che stanno alla base del motore asincrono. Questo rende il progetto concretamente realizzabile già a livello scolastico preuniversitario.

**Funzionamento:** Basterà alimentare le due coppie di bobine con due correnti alternate sfasate di novanta gradi per ottenere un campo magnetico rotante (secondo il teorema di Galileo Ferraris verificato con l'altro modello) che genererà delle correnti indotte sul cilindro di rame. Questo sistema di correnti indotte risulta a sua volta immerso nel campo che eserciterà su di esso un complesso di forze magnetico-elettriche che costituiscono una coppia che trascina il cilindro in rotazione trascinandosi con sé l'albero motore. Quindi da avvolgimenti statici percorsi da correnti elettriche alternate otteniamo potenza meccanica in uscita.

**Bibliografia:** G. Silva, Chi ha scoperto il campo magnetico rotante? in L'energia elettrica XIV, n. 12, p. 915-923, Milano, 1937 — G. Silva, G. Ferraris, il campo magnetico rotante e il motore asincrono, in L'elettrotecnica, XXXIV, n.9, p.346-378, Milano, 10-25 settembre 1947 — A. Silvestri (A cura di), Galileo Ferraris e l'A.E.I., Edizioni All'insegna del pesce d'oro, Milano 1998 — L.Olivieri ed E.Ravelli, Elettrotecnica, Edizioni CEDAM, Padova, 1972 — F. Varoli, Galileo Ferraris e il primo motore asincrono per correnti alternate: tra storia e didattica della fisica, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1998-1999).

Nel 1888 dopo aver verificato l'esistenza del campo magnetico rotante Galileo Ferraris realizzò il primo prototipo di motore asincrono per correnti alternate. Erano gli anni in cui si era già verificata l'efficacia dell'alternata nel trasportare energia a grande distanza rispetto alle correnti continue. L'energia usciva da un alternatore, mosso da motori idraulici o a vapore; tramite trasformatore la tensione veniva alzata a dovere e l'energia trasportata dalla linea con perdite accettabili sino al luogo di destinazione ove, a seconda dell'utilizzo, veniva riabbassata a valori facilmente maneggiabili. Il sistema usato tuttora è nei suoi fondamenti uguale a quello sopra descritto. A questo punto rimanevano due nodi salienti da sciogliere per sancire la definitiva vittoria dell'alternata sulla continua: bisognava sviluppare una teoria, sicura premessa per l'evoluzione e l'ottimizzazione dell'idea alternata, ed inventare un semplice motore che funzionasse in alternata e che si avviasse da solo una volta chiuso il circuito. Un uomo risolse entrambi i problemi grazie alla sua immensa cultura matematico-fisica: Galileo Ferraris. Fu infatti lo scienziato torinese con i suoi brillanti studi sull'alternata e sul trasformatore a dare un notevole impulso, per la prima volta nella storia, al trasporto economico dell'energia elettrica, a inventare il campo magnetico rotante ed a realizzare il primo motore asincrono.

**Il Modello didattico:** Questo modello è una riproduzione abbastanza fedele del prototipo di Ferraris. Su base in legno sono state montate, con delle viti d'incastro esagonale, due staffe in acciaio, recanti un foro per l'albero motore. Nel foro vengono incastrati due cuscinetti a sfera che sostengono l'albero (in acciaio del diametro di 1 cm) al cui centro è stato saldato con lo stagno un cilindro di rame vuoto ma chiuso alle sue estremità da due fondi pure di rame. Attorno all'albero e al cilindro vengono poste due coppie di avvolgimenti, una in posizione orizzontale e l'altra verticale. Le dimensioni dei telai che supportano gli avvolgimenti sono appena sufficienti per lasciare al cilindro il gioco necessario per ruotare. E' stato poi realizzato un pezzo meccanico da inserire sull'albero in modo da poter mettere sotto carico il motore.



Questo pezzo è stato aggiunto per poter realizzare esperienze didattiche per esempio facendo alzare dei portapesetti attraverso una carrucola. Tutto il motore è completamente smontabile e rimontabile in pochissimi minuti attraverso l'uso di una sola chiave a incastro esagonale e di un cacciavite. Questo è stato cercato appositamente per permettere allo studente di rendersi conto, con i propri occhi, di "come è fatto dentro".

Attività didattica al Museo di Fisica

---

# **T**elecomunicazioni / *Telecommunications*



# Percorso storico-didattico sull'evoluzione delle Telecomunicazioni.

## Telegrafia e Telefonia.

La telecomunicazione, nata come esigenza delle persone di comunicare a distanza, ebbe storicamente, ed ha tuttora un'evoluzione legata alle scoperte nel campo della scienza fisica.

Anche le prime esperienze di comunicazione a distanza sono basate sulla sperimentazione della possibilità di mandare a distanza messaggi sonori o codici luminosi. Per questo motivo si è pensato di costruire un percorso storico-didattico sull'evoluzione della comunicazione a distanza, cercando di mettere in luce il legame tra le scoperte scientifiche e le applicazioni di queste ultime ai sistemi di telecomunicazione. La comunicazione a distanza è avvenuta storicamente o attraverso l'invio di codici o, quando era possibile, attraverso il trasporto della voce. Quindi si parla rispettivamente di telegrafia e telefonia.

La telegrafia e la telefonia, anche se in varie forme storicamente contemporanee, non sono in conflitto esistenziale, perché hanno caratteristiche e applicazioni diverse. La telegrafia per quella sua proprietà di comunicare con codici scritti ha quasi il peso di un documento (*scripta manent*), mentre la telefonia dà la possibilità di comunicare più facilmente ed in modo magari meno formale (*verba volant*). Tuttavia, questa pacifica coesistenza tra telefonia e telegrafia la troviamo, in varie forme, anche ai nostri giorni, infatti accanto alla possibilità di comunicare vocalmente anche attraverso sistemi portatili, esiste, ed è di grande utilizzazione, la trasmissione di codici digitali per il "trasporto" di dati, immagini, suoni e parole. Questa convivenza oggi non è solo pacifica, ma anche indispensabile.

Prima della scoperta della conduzione elettrica, avvenuta intorno al 1730, si cercò lungo i secoli di sviluppare le tecniche di trasmissione di codici (telegrafia) mediante segnali ottici e del trasporto della voce a distanza sfruttando le sollecitazioni meccaniche sull'aria e su altri mezzi materiali causate dalla voce stessa.

Uno dei sistemi telegrafici non elettrico più sviluppato, principalmente in Francia, è il telegrafo ottico inventato da Claude Chappe (1763-1805) nel 1793. I sistemi telefonici non elettrici funzionavano sulla proprietà della voce di sollecitare meccanicamente l'aria. Vista questa proprietà della voce, si cercò di convogliare la sollecitazione vocale sull'aria, in un tubo. Per questo si crearono sistemi telefonici a tubo utilizzati soprattutto sulla media o corta distanza dell'ordine della distanza tra due piani di uno stesso palazzo o della stessa nave. Queste sollecitazioni meccaniche create dalla voce furono anche impiegate per sollecitare altri mezzi meccanici. È il caso del telefono a filo che trasporta la voce grazie alle sollecitazioni meccaniche della voce stessa sul filo.

Con la scoperta dei fenomeni elettrici, soprattutto della conduzione di elettricità da parte di alcuni materiali, si pensò di usare le nuove scoperte per la comunicazione a distanza.

Dalla scoperta dei fenomeni elettrostatici si studiarono modelli di telegrafi che sfruttassero queste proprietà come nel telegrafo a molti fili di C.M. (non altrimenti noto) e quello ad un filo di Francis Ronalds (1788-1873). Con l'invenzione della pila nel 1800, e la scoperta dei fenomeni elettrochimici della corrente, si ebbe la creazione di telegrafi elettrochimici come quello ideato da Samuel-Thomas von Soemmering (1755-1830). La scoperta dei fenomeni magnetici della corrente avvenuta nel 1820 con Hans Christian Oersted (1777-1851) portò alla progettazione e realizzazione di telegrafi elettromagnetici come il celebre sistema Morse e il meno famoso, ma pur importante Cooke-Wheatstone.

La nascita della telefonia elettrica via cavo si ha con il successo ricevuto dalle ricerche di Alexander Graham Bell (1847-1922) e, prima di lui, di Antonio Meucci (1808-1889). Intorno al 1876 sfociarono nell'invenzione del Telefono. Questa invenzione è arrivata ai nostri giorni sostanzialmente immutata.

La ricerca scientifica della seconda metà dell'ottocento affrontò e si concentrò sulla propagazione delle onde elettromagnetiche teorizzate nell'opera di James Clerk Maxwell (1831-1879). La scoperta e lo studio di queste onde, attuato prima da Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) e, poi, da Augusto Righi (1850-1920), portò Guglielmo Marconi (1874-1937) ed altri grandi scienziati a sviluppare dispositivi per il trasporto di codici o messaggi vocali mediante segnali elettrici che si propagano attraverso le onde elettromagnetiche senza l'ausilio di un collegamento elettrico via filo.

Sono stati sviluppati così vari modelli per la telegrafia elettrica senza filo come il sistema Marconi con trasmettitore a scintilla e ricevitore a coherer e il ricevitore a detector magnetico. Per il trasporto della voce "via etere" si costruirono dai primi del novecento in poi vari apparecchi. Si realizzarono radioricevitori a detector magnetico, a galena, a valvole, a resistenza fino ai modernissimi telefoni cellulari a semiconduttore.

# Telegrafo di C.M.

> *Francesco Serafini*

Il telegrafo descritto da C.M. (personaggio non altrimenti noto) in un articolo del 1753, apparso sullo "Scots Magazine" – e rimasto solo in fase progettuale – è costituito come trasmettitore da una macchina elettrostatica, usata come generatore di carica, con la quale, attraverso una linea di 26 (uno per ogni lettera dell'alfabeto inglese) fili metallici, isolati uno dall'altro, si elettrizzano pendolini elettrici, costituiti da palline di metallo appese ai fili metallici, capaci di sollevare piccoli pezzetti di carta su cui è scritta la lettera trasmessa.

**Il Modello didattico** da noi realizzato rispecchia quello del progetto di C.M. con alcune differenze e molte semplificazioni. Come trasmettitore -costituito da un supporto di legno con fissati i fili di comunicazione (a distanza di 5 cm l'uno dall'altro)- si è usato come macchina elettrostatica, per alcune prove iniziali, una bacchetta costituita da un pezzo di tubo rigido di plastica (impiegato comunemente per le linee elettriche esterne) strofinato con un panno di lana. Questa "macchina" potrà essere sostituita da una più efficiente, come le macchine elettrostatiche usate nei laboratori didattici, visto che quella qui descritta non assicura una grande affidabilità e ripetibilità. Ha il vantaggio tuttavia della semplicità e della facile reperibilità. La linea elettrica vera e propria è formata da un cavo multidata usato nel collegamento tra computer e macchine a controllo numerico. Questo cavo contiene 50 fili isolati molto sottili dei quali si sono usati solo i 26 fili corrispettivi alle lettere dell'alfabeto inglese. I 26 pendolini del ricevitore sono costruiti con filo di rame rigido e fissati ad un supporto di legno a distanza di 3 cm l'uno dall'altro.

**Il Funzionamento** è molto semplice: elettrizzata la bacchetta di trasmissione, si avvicina all'estremità scoperta del filo corrispondente alla lettera che si vuole inviare; al ricevitore l'operatore vedrà il foglietto, corrispondente alla lettera trasmessa, alzarsi, dando così modo di prenderne nota; la linea sarà quindi scaricata, toccando il filo con una mano, cioè mettendo a terra il sistema, rendendo così l'apparato pronto per una nuova trasmissione. In questo modo si possono inviare messaggi.

**Commenti:** oggi in commercio esistono fili ben isolati e sottili, ma negli anni di creazione del telegrafo la difficoltà tecnica era realizzare fili sottili, ben isolati e a costo contenuto. Questo era un problema non banale. Per questo motivo molti scienziati pensarono al modo di ridurre il numero dei fili usati per la comunicazione.



**Applicazione didattica:** questo semplice apparecchio può essere utilizzato in classe per illustrare come la scoperta di un fenomeno fisico può portare ad un'applicazione tecnica. Questo apparecchio può aiutare la comprensione e l'assimilazione dei fenomeni elettrostatici. Gli argomenti correlati sono la telecomunicazione, l'elettrostatica e la conduzione elettrica dei materiali. Per la semplicità del dispositivo, le conoscenze richieste sono puramente fenomenologiche, quindi il dispositivo potrebbe essere adatto anche per studenti delle classi medie inferiori.

# Telegrafo di Ronalds

> *Francesco Serafini*

Il telegrafo qui descritto è stato realizzato da Francis Ronalds (1788-1873) nel 1816 nella sua casa di Hammersmith, a Londra, ed aveva la particolarità di utilizzare una linea ad un solo cavo. Ad un'estremità del filo di comunicazione attaccò una macchina elettrostatica e dall'altra un indicatore ad elettroscopio realizzato con due palline di midollo di sambuco attaccate a due fili metallici molto leggeri uniti in un punto con la linea elettrica. La linea era caricata di continuo facendo divergere le palline dell'elettroscopio.

**Bibliografia:** J.-C. Singer, *Scienziati e tecnologi* vol.4 (pp. 658-676 tav.47), vol.5 (pp. 226-237), vol.7 (pp. 525-533, pp. 539-550 tav.91,94), ed. Bollati Boringhieri, Torino (1966). — A.L.Ternant, *Les Télégraphes*, Hachette, Parigi (1881) — C. Matteucci, *Telegrafia elettrica*, Unione Tipografica Torinese, Torino (1860) — R. Appleyard, *Pioneers of Electrical Communication*, Macmillan (1930) — F. Serafini, *Percorso storico-didattico: La storia della telegrafia elettrica*, Seminario del corso in Storia della Fisica del Prof. Giorgio Dragoni (1999).

Ronalds muni la stazione trasmittente e ricevente di un quadrante rotante con un meccanismo ad orologeria dove erano segnate le lettere dell'alfabeto utilizzate per la comunicazione. Questo quadrante ruotava dietro una piastra con un'apertura che mostrava una lettera per volta ad intervalli di tempo regolari. I due quadranti erano sincronizzati evidenziando allo stesso istante la stessa lettera.

**Applicazione didattica:** questo semplice apparecchio può essere utilizzato in classe per illustrare come la scoperta di un fenomeno fisico può portare ad una applicazione tecnica e come la tecnica progredisca per perfezionamenti di modelli successivamente più funzionali. Questo apparecchio può aiutare la comprensione e l'assimilazione anche dei fenomeni elettrostatici. Gli argomenti correlati sono la telecomunicazione, l'elettrostatica, la conduzione elettrica dei materiali e il funzionamento dell'elettroscopio. Per la semplicità del dispositivo, le conoscenze richieste sono puramente fenomenologiche, quindi il dispositivo potrebbe essere adatto anche a studenti delle classi medie inferiori.



**Il Modello didattico** da noi realizzato segue lo schema ideato da Ronalds e utilizza come macchina elettrostatica un tubo di plastica (quelli usati per proteggere le linee elettriche esterne) strofinato con un panno di lana. L'elettroscopio è formato da due pezzetti di midollo di samburo sospesi mediante due sottili fili di nylon ricoperti di rame e attaccati, mediante saldatura a stagno, alla linea, il tutto racchiuso in una bottiglietta di vetro da succo di frutta. Il particolare filo utilizzato è preso da un cavo a spirale per computer. La linea è costituita da un comune filo isolato da impianto elettrico di lunghezza 5 metri. I meccanismi ad orologeria sono presi da due sveglie elettriche e differiscono da quelli di Ronalds perché i nostri funzionano a pila, mentre gli originali funzionavano a molla.

**Il Funzionamento** consiste nello scaricare la linea da parte del trasmettitore toccando il filo di linea all'apparizione della lettera che si desidera trasmettere. Al ricevitore un altro operatore vede cadere le palline dell'elettroscopio annotando così la lettera apparsa nel suo quadrante.

**Commenti:** questo sistema, anche se molto geniale ed in grado di sopprimere ai difetti del telegrafo a molti fili, ha esso stesso un grande difetto, cioè di essere molto lento. Spesso per inviare una lettera bisognava attendere un giro completo del quadrante. Inoltre, chi ha fatto esperimenti di elettrostatica sa bene le difficoltà che si incontrano nell'utilizzazione di questa elettricità. I problemi che nascono dal non funzionamento in caso di umidità e dalla difficile quantificazione della corrente portarono in pochi anni all'abbandono di queste tecniche in favore di nuove più efficienti.

Telecomunicazioni

## Telegrafo di Soemmering

> *Francesco Serafini*

Samuel-Thomas von Soemmering (1755-1830) realizzò nel 1808 un sistema telegrafico a 35 fili (25 per le lettere e 10 per i numeri) basato su principi elettrochimici. Al trasmettitore collegò una pila a colonna di Volta per generare il segnale di corrente da inviare attraverso 35 fili di comunicazione più uno di ritorno. Al ricevitore collegò 35 celle elettrolitiche con all'interno sostanze in soluzione acquosa. L'operatore trasmittente collegava alla pila il filo corrispondente alla lettera che voleva trasmettere e al ricevitore, corrispondentemente alla lettera inviata, si creavano, per il passaggio della corrente lungo il filo, delle bollicine di gas per elettrolisi. Soemmering aggiunse anche un allarme elettrico per avvisare l'operatore ricevente dell'inizio della trasmissione.



**Il Modello didattico** consiste in un sistema analogo a quello di Soemmering, ma decisamente semplificato. Il trasmettitore è formato da una batteria di tre pile a stilo da 1.5 Volt poste in serie per generare una tensione complessiva di 4.5 Volt. Il polo positivo è attaccato direttamente alla morsettiera della linea di ritorno. Il polo negativo è volante, cioè costituito da una sonda metallica capace di creare il collegamento tra la pila e il filo



**Applicazione didattica:** questo semplice apparecchio può essere utilizzato in classe per illustrare come la scoperta di un fenomeno fisico può portare ad una applicazione tecnica e come la tecnica progredisca anche per l'acquisizione di nuove scoperte scientifiche. Questo apparecchio può aiutare la comprensione e l'assimilazione dei fenomeni elettrochimici. Gli argomenti correlati sono la telecomunicazione, l'elettrochimica, la conduzione elettrica dei materiali e il funzionamento della pila. Per la semplicità del dispositivo, le conoscenze richieste sono puramente fenomenologiche, quindi il dispositivo potrebbe essere adatto anche a studenti delle classi medie inferiori.

corrispondente alla lettera da trasmettere. La linea di trasmissione, costituita da 25 fili corrispettivi alle lettere dell'alfabeto inglese (tolta la "W") più uno di ritorno, è formata da un cavo multidata usato nel collegamento tra computer e macchine a controllo numerico. Questo cavo contiene 50 fili isolati molto sottili. Le estremità della linea di trasmissione sono collegate a due diverse morsettiere di 26 "mammut" (morsettiere per fili elettrici). Il ricevitore, attaccato ad una morsettiere, è formato da una scatola trasparente di plastica (originariamente usata per dei famosi cioccolatini) ove sono immersi 26 fili rigidi di rame isolati, 25 dei quali, quelli delle lettere, sono fissati ad un supporto di legno e sguainati, o "spellati", per mezzo centimetro circa; l'altro filo è sguainato per una lunghezza pari a quella della scatola e forma l'elettrodo positivo della cella elettrolitica. La scatola è riempita, fino a coprire gli elettrodi, con una soluzione circa unomolare (una mole, 58.45g, di sale sciolto in acqua portando a volume ad un litro di soluzione) di sale da cucina (NaCl). Si è trascurata, per semplicità, la realizzazione dell'allarme di inizio chiamata.

**Il Funzionamento** è molto semplice: l'operatore che si trova al trasmettitore tocca con la sonda metallica attaccata alla pila il morsetto corrispettivo alla lettera che vuole inviare; al ricevitore si svilupperanno delle bollicine di gas ( $H_2$ ) all'elettrodo (catodo) corrispettivo alla lettera inviata così che l'operatore ricevente potrà annotare una alla volta le lettere del messaggio inviatogli.

**Commenti** Anche questo sistema telegrafico, se pur di più facile e sicura realizzazione e utilizzazione di quello elettrostatico, ha grandi difetti, tra i quali –per l'epoca in cui fu proposto- il costo di una linea a molti fili e l'usura dei materiali per l'elettrolisi. Questi problemi lo portarono ad essere sostituito da apparecchi utilizzando una linea a pochi fili e basata sulla nuova scoperta (1820) degli effetti elettromagnetici della corrente dovuta ad Oersted (1777-1851).

---

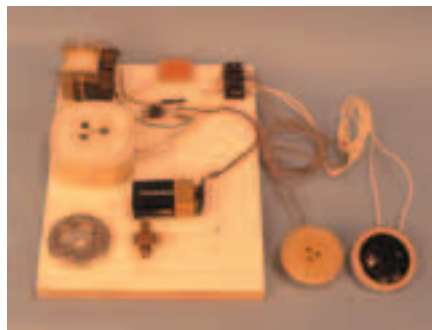
Telecomunicazioni

## Telefono

➤ *Giulia Maroncelli*

**Bibliografia:** P. Bianucci, Il telefono la tua voce ed. Vallecchi, Firenze (1978) — D. Giacalone e F. Vergiano, La guerra del telefono, ed. Il Sole 24 Ore, Milano (1990) — G. Maroncelli, Il Telefono, Seminario del corso in Storia della Fisica del Prof. Giorgio Dragoni (1999).

Nel 1854 Antonio Meucci (1808-1889) costruì un congegno che permetteva qualche comunicazione a breve distanza, ma l'invenzione fu brevettata solo nel 1871. Meucci ideò un apparecchio composto da un trasmettitore ed un ricevitore costituiti da una membrana di ferro dolce posta davanti ad una barretta di metallo magnetizzata ricoperta da una spirale di filo metallico, cioè da un avvolgimento conduttore. Parlando davanti alla membrana, essa vibrava e con le sue vibrazioni variava il campo magnetico inducendo nell'avvolgimento una corrente che era trasmessa ad un altro apparecchio. Il congegno che fungeva da ricevitore captava lungo il filo elettrico conduttore la corrente inviata dal trasmettitore. Questa produceva nella sbarretta analoghe variazioni della membrana metallica: in questo modo la voce veniva riprodotta. Il modello fu perfezionato intorno al 1876 da Alexander Graham Bell (1847-1922) e dall'inventore rivale Elisha Gray (1835-1901) che brevettò il suo dispositivo nello stesso anno e nello stesso giorno a distanza di poche ore da quello di Bell (1876) sostituendo il microfono elettromagnetico con un microfono a variazione di resistenza. Quest'ultimo modello è tutt'oggi ancora in uso con un'unica principale modifica: il microfono a resistenza variabile invece di essere a cella elettrolitica è a granuli di carbone.



**Applicazione didattica:** questo apparecchio può essere utilizzato in classe per illustrare il funzionamento di un apparecchio tecnico utilizzato quotidianamente. Questo apparecchio può aiutare la comprensione e l'assimilazione anche dei fenomeni elettromagnetici e del funzionamento di elementi circuitali presenti nel telefono. Gli argomenti correlati sono la telecomunicazione, l'elettromagnetismo, gli elementi costituenti i circuiti elettrici. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano l'elettromagnetismo ed i circuiti elettrici, quindi il dispositivo è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'elettromagnetismo.

**Il Modello didattico** consiste nello smontaggio e nella semplificazione dei circuiti che si trovano all'interno di un moderno telefono. Si vede che anche con pochi elementi circuitali il telefono è perfettamente funzionante. La prova può essere eseguita collegando un telefono vero e completo con quello modificato e semplificato didatticamente.

**Il Funzionamento del modello Meucci:** supponiamo di avere una calamita a ferro di cavallo sulla quale siano avvolti parecchi giri di filo conduttore, e di far vibrare dinanzi alle sue estremità polari una sottile lamina di ferro dolce. Si osserva che ad ogni vibrazione della lamina dovuta alla pressione esercitata dal suono, corrisponde una variazione del campo magnetico della calamita, le quali variazioni generano correnti elettriche nel circuito di filo conduttore. Supponiamo ora di avvolgere a spirale questo filo conduttore anche su una seconda calamita identica alla prima. Le correnti prodotte nel circuito dove si è avuta vibrazione della lamina, si trasferiscono sul secondo avvolgimento mettendo in vibrazione la seconda lamina generando così onde sonore simili a quelle che hanno sollecitato la prima lamina.

Telecomunicazioni

## Il Trasmettitore a scintilla

> *Maria Chiara Mollo*

Nei primi esperimenti, condotti durante tutto il 1895, Marconi tentò di replicare, migliorandone le caratteristiche, le esperienze di Hertz e di Righi per la verifica sperimentale delle equazioni di Maxwell. Sembra sia stato lavorando su di esse che Marconi ebbe l'intuizione di sfruttare la propagazione delle onde elettromagnetiche, al fine di comunicare a distanza, senza l'ausilio di cavi e di pali telegrafici. Per raggiungere il suo obiettivo, Marconi dovette apportare ai dispositivi di Hertz importanti modifiche che lo portarono a realizzare, nel 1895, il trasmettitore a scintilla che brevettò nel 1896.

**Modello didattico:** il trasmettitore, pur essendo realizzato con componenti moderni, rispetta l'idea originale dei primi trasmettitori a scintilla che venivano alimentati a batteria, ed avevano come generatore di scintilla un rocchetto di Ruhmkorff. Il modello didattico sostituisce alla batteria un trasformatore di tensione alternata ed un circuito rettificatore, con filtro capacitivo, per la produzione di tensione continua; e, inoltre, utilizza una bobina d'avviamento di un motore a benzina di un'automobile al posto del rocchetto di Ruhmkorff. Il nostro dispositivo è dotato, inoltre, di antenna e terra e di tre interruttori, uno per l'accensione, uno con la cui apertura e successiva chiusura si può ottenere una scintilla, l'altro per realizzare una serie di scintille in automatico. La scintilla (scarica oscillante) avviene tra le due sferette poste sul coperchio della scatola di metallo che contiene i componenti del trasmettitore.

**Funzionamento:** la scintilla che produce onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio, si realizza tramite la scarica di un condensatore. Dopo aver caricato il condensatore tramite il trasformatore in ingresso, lo si connette ad una resistenza di carico, che è quella offerta dal primario della bobina generatrice della scintilla, nella bobina



**Bibliografia:** G. Marconi, Scritti di Guglielmo Marconi, Reale Accademia d'Italia, Roma, 1941-XIX. — L. Solari, Storia della radio, S.A. Fratelli Treves Editori, Milano, 1939 — L. Solari, Marconi, Off. Graf. A. Mondadori, Verona, 1940 — A. Guagnini e Giuliano Pancaldi, Cento anni di Radio le radici dell'invenzione, Edizioni Seat, Roma, 1995 — P. Poli, Opera tecnico scientifica di Guglielmo Marconi, C&C-edizioni radioelettriche, Villanova di Castenaso (Bo), 1985 — D.E. Ravalico, Primo avviamento alla conoscenza della radio, Editore Ulrico Hoepli, Milano, 1977 — D.E. Ravalico, Schemario degli apparecchi radio, Editore Ulrico Hoepli, Milano, 1944 — E. Montù, Radio, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 1932-X — G. Moroni, Radio Ricevitori a Cristallo come funzionano come costruirli, Editrice Il Rostro, Cassina de' Pecchi (Mi), 1999 — T. Calzecchi Onesti e il Coherer: la conquista della telegrafia senza fili, a cura di E. Fedeli e M. Guidone, Nuova Alfa Editoriale, Bologna (1987) — M.C. Mollo, Nascita della telegrafia senza fili e sua prima evoluzione, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna (a.a. 1998-1999), Relatori: G. Dragoni e G. Tomassetti.

na circolerà corrente e si formerà un campo elettromagnetico. Successivamente si interrompe il passaggio di corrente staccando il condensatore dal primario della bobina. Questa brusca interruzione provoca una variazione nel flusso del campo elettromagnetico, che essendo concatenato con il secondario vi genera una forza elettromotrice indotta, per cui sul secondario si ottiene una tensione tale da far scoccare una scintilla fra due elettrodi posti ad una certa distanza tra loro. Questa scintilla, rappresentabile tramite un'oscillazione smorzata oscillante, origina una serie di onde elettromagnetiche di lunghezze d'onda diverse che verranno poi captate da un ricevitore atto a segnalare l'avvenuta trasmissione.

Telecomunicazioni

## Il Ricevitore a Coherer

➤ *Maria Chiara Mollo*

Il coherer, chiamato anche coesore, è un tubo di vetro riempito di limatura metallica realizzato dal Professor Temistocle Calzecchi Onesti (1853-1922), che si era accorto che le polveri metalliche, presenti all'interno del tubo, che normalmente avrebbero offerto una resistenza altissima (dell'ordine del Megaohm) al passaggio di corrente, abbassavano la loro resistenza, se percorse da correnti oscillanti.

Marconi pensò di impiegare questo dispositivo – tra l'altro usato in precedenza anche da E. Branly (1844-1940) in Francia e da O. Lodge (1851-1940) in Inghilterra – come rivelatore di onde elettromagnetiche e lo inserì nel ricevitore brevettato nel 1896.

**Modello didattico:** il funzionamento del modello didattico è concettualmente simile a quello del primissimo circuito che Marconi utilizzò per ricevere i segnali. Nel ricevitore di Marconi, quando il coesore veniva investito da onde elettromagnetiche, funzionava da interruttore, connettendo un campanello alle batterie e facendolo suonare. Nel modello didattico, il campanello è stato sostituito da un diodo ad emissione di luce (LED).

Il circuito è dotato di un interruttore per il controllo del LED. E' possibile, infatti, verificare che l'apparecchio sia pronto a ricevere i segnali, escludendo dal circuito il coesore, collegando le due batterie direttamente al LED che si illumina. Una volta verificato che tutto funzioni, posso spostare l'interruttore in modo da collegare il coesore alle batterie. Il dispositivo è dotato di antenna, per una migliore ricezione delle onde.

**Funzionamento:** le proprietà del coherer sono tali per cui quando esso si trova in prossimità (ma anche a notevole distanza) del trasmettitore, e in quest'ultimo scocca la scintilla, tra le polveri che sono in esso contenute si stabiliscono delle microsaldature, che consentono il passaggio di corrente connettendo le batterie al LED, che di conseguenza si illumina segnalando l'avvenuta trasmissione. Il coesore veniva riportato alla condizione iniziale mediante l'urto di un martelletto, che, con le sue percussioni, rompeva le microsaldature (diodi), rendendo possibile nuove ricezioni.



Telecomunicazioni

## Il Detector Magnetico Marconi

➤ *Annalisa Cavazza*

*Si ringrazia per la loro collaborazione la Fondazione Marconi e, in particolare, il Cav. Maurizio Bigazzi.*

Il detector magnetico ideato da Ernest Rutherford (1871-1937) nel 1894 e poi sviluppato e perfezionato – forse indipendentemente – da Guglielmo Marconi (1874-1937) costituisce la parte predominante di un rivelatore di onde elettromagnetiche, che con un'antenna e con la sua capacità verso il terreno, diventa un ricevitore di onde radioelettriche. Guglielmo Marconi costruì con le proprie mani il suo primo detector magnetico nella primavera del 1902 nel suo laboratorio di Poole (Dorset) in Inghilterra.

**Bibliografia:** Si vedano le indicazioni bibliografiche riportate in "Il trasmettitore a scintilla".

**Bibliografia:** G. Masini, Marconi, Utet, Torino (1975) — Scritti di G. Marconi, Reale Accademia d'Italia — Rudolph Suhl, Magnetism, AP. (1973) — A. Cavazza, Il detector magnetico Marconi: Fisica, Storia e Didattica, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna (a.a. 1998-1999), Relatori: G. Dragoni e G. Tomassetti.

**Applicazione didattica:** il detector magnetico è, secondo noi, didatticamente interessante per due principali motivi: la semplicità con cui si può ricostruire e l'insegnamento che se ne può trarre. Infatti il detector si può costruire con materiali comunemente in commercio, e non richiede particolari capacità manuali. L'esperienza sull'utilizzo del detector contiene molti elementi di elettrotecnica interessanti per studenti di scuola media superiore; basti pensare ai fenomeni di isteresi magnetica. Gli argomenti correlati sono la telecomunicazione, l'elettromagnetismo e l'elettrotecnica. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano l'elettromagnetismo, in particolare il magnetismo e l'elettrotecnica, quindi il dispositivo è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'elettromagnetismo. Con questo semplice sistema si può ascoltare una trasmissione radiofonica.

**Il Modello didattico** da noi realizzato rispecchia il prototipo di Marconi del 1902. Il modello è costituito da una bobina di filo di rame smaltato avvolto in un rocchetto multistrato (bobina secondaria) e una bobina interna più piccola sempre di filo di rame smaltato avvolto su un tubicino di cartoncino (bobina primaria). Nel tubicino passa un fascio di fili di acciaio - ricavato da un filo da freno di bicicletta - trascinabile manualmente avanti e indietro. La bobina primaria è collegata, attraverso degli appositi connettori, ad un filo d'antenna e ad un filo di terra. La bobina secondaria è collegata alla cuffia ad alta impedenza. Vicino alla bobina primaria si trovano due calamite a ferro di cavallo con poli nord vicini. Il nostro dispositivo è racchiuso in una comune scatola portagioie in cartone, in cui sono anche inserite le connessioni per la cuffia ad alta impedenza e per l'antenna. Quello di Marconi era stato realizzato all'interno di una celebre scatola di sigari.

**Funzionamento:** le due calamite a ferro di cavallo con poli omonimi (nord) vicini, generano due campi magnetici in verso opposto. I fili di ferro o di acciaio vicini alle due calamite si magnetizzano nel verso e nella direzione dei due campi. Quando i fili vengono posti in movimento, il vettore magnetizzazione cambia verso nella zona di separazione delle due calamite. Se la magnetizzazione varia, per es. per l'arrivo di un'onda elettromagnetica, anche il campo magnetico da esso generato varia. Tale variazione induce una corrente nella bobina secondaria e il segnale radioelettrico in modulazione d'ampiezza, se presente, viene trasformato in segnale sonoro in cuffia.



Telecomunicazioni

## Il Ricevitore a cristallo di Galena

> Maria Chiara Mollo

Uno dei ricevitori più semplici ed economici mai realizzati, è senza dubbio il ricevitore a cristallo. I primi radiorecettori a cristallo furono inventati nel 1906, dal generale americano Dunwoody e da Pickard. I primi cristalli utilizzati furono il carborundum (silicato di carbonio) e il silicio.

**Il Modello didattico** è costituito da una bobina di filo di rame collegata in parallelo ad un condensatore variabile. Un interruttore consente di collegare il circuito sintonico all'elettrodo a galena oppure ad un transistor portato a funzionare come diodo. Nel circuito è presente un altro condensatore in parallelo al primo. Del dispositivo fanno parte un'antenna e una terra e le due connessioni per una cuffia ad alta impedenza.

**Funzionamento:** Il radiorecettore consiste in due parti: la prima è costituita dal circuito oscillante, formato da una bobina e da un condensatore variabile in parallelo, collegato all'antenna, la seconda, detta sezione rivelatrice, è costituita da un diodo e da una cuffia. Il circuito oscillante consente la sintonizzazione tramite una opportuna variazione dei valori dell'induttanza o della capacità. Il diodo deve, coadiuvato dal condensatore, demodulare l'onda trasmessa. Il segnale inviato dal trasmettitore è infatti sotto forma di onde modulate, ed è costituito da un'oscillazione persistente di uguale ampiezza e di alta frequenza che costituisce l'onda portante e da un'altra componente detta di bassa frequenza, che contiene l'informazione che si intende trasmettere. Demodulare il segnale significa rettificarlo e separare l'alta frequenza, cioè la portante, dal segnale di bassa frequenza che deve essere rivelato. Il primo passo viene fatto dal cristallo di galena, costituito da solfuro di piombo con tracce d'argento. Esso è un cristallo naturale, che si comporta come un diodo: lascia passare la corrente solo in un senso, offrendo una resistenza elevata alla corrente nel senso inverso. Il secondo passo viene fatto dal condensatore in parallelo a quello variabile che cortocircuita l'alta frequenza mandandola a massa. A questo punto si ottiene un segnale unidirezionale e di bassa frequenza in grado di sollecitare la sottilissima membrana di una cuffia rendendo possibile l'ascolto.

**Bibliografia:** Si vedano le indicazioni bibliografiche riportate in "Il trasmettitore a scintilla".

# La Valvola Termoionica a due elettrodi

> Maria Chiara Mollo

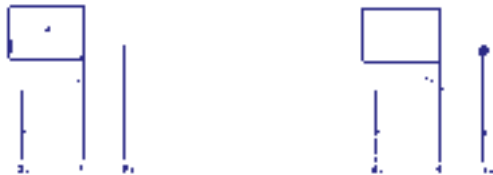
L'invenzione del diodo, avvenuta nel 1904 e dovuta al professor J. Ambrose Fleming (1849-1945) che arrivò a questo importantissimo risultato studiando l'effetto Edison, ha segnato il passaggio dalla radiotelegrafia alla radiofonia.



**Applicazione didattica:** la ricostruzione degli apparati sperimentali e la ricostruzione storica sono strumenti cognitivi importanti e offrono la possibilità di parlare di Elettromagnetismo, Effetto termoionico, legge di Richardson-Fermi, Circuiti, Elementi circuitali più frequentemente usati, Tensioni, correnti continue e alternate.

**Realizzare un diodo a valvola:** la prima valvola a sinistra è stata realizzata solo a scopo didattico, per mostrare chiaramente le due componenti fondamentali del diodo, la placca e il filamento. La valvola a destra in Fig. 1, è invece funzionante. Per la sua realizzazione si è pensato di sfruttare le caratteristiche tecniche della lampadina del faro anteriore di un'automobile. Essa è costituita da due filamenti, uno per le luci anabbaglianti, FA, l'altro per le luci di profondità, FP, e da tre elettrodi. L'idea è venuta osservando la disposizione degli elettrodi: uno era collegato a un capo di FA, l'altro a un capo di FP, e l'ultimo era comune ad entrambi, (vedi Fig.2).

Ovviamente con le condizioni di Fig.2, non avremmo ottenuto un diodo, perché come si vede, anodo e catodo sono collegati fra loro. Si sono separati anodo e catodo, facendo fondere il filamento FA. Il filamento si è fuso formando sullo stelo di sostegno una pallina di metallo (vedi Fig.3). La pallina di metallo rappresenta ora l'anodo, e il filamento FP, il catodo. Tramite questo dispositivo è ora possibile studiare le leggi fisiche che ne contraddistinguono il funzionamento.



# Il Radioricevitore a valvole

> Maria Chiara Mollo

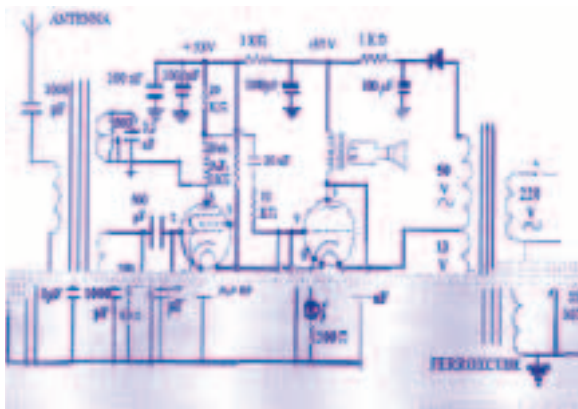


Il ricevitore a valvole in figura è stato realizzato allo scopo di studiare il triodo, come rivelatore di onde elettromagnetiche. Il triodo, valvola inventata nel 1906 da Lee De Forest (1873-1961) aggiungendo al diodo di Ambrose Fleming (1849-1945) una griglia, in grado di regolare il passaggio di corrente a seconda della polarizzazione, può avere anche altre applicazioni. In origine fu utilizzata come generatore di onde elettromagnetiche, ed il primo generatore a triodo, efficiente, fu realizzato dallo studioso tedesco Walther Meissner (1882-1974). In seguito si pensò di utilizzare il triodo come rivelatore di onde, poiché esso era in grado, non solo di agire da diodo e quindi raddrizzare l'onda in ingresso, ma anche di amplificare il segnale.

**Bibliografia:** Si vedano le indicazioni bibliografiche riportate in "Il trasmettitore a scintilla".

**Bibliografia:** Si vedano le indicazioni bibliografiche riportate in "Il trasmettitore a scintilla".

**Modello didattico:** nel ricevitore realizzato sono state inserite due valvole: un triodo e un pentodo per rendere il fenomeno dell'amplificazione ancora più evidente. E' inoltre stato aggiunto un potenziometro per regolare la sensibilità di ricezione. L'apparato è costituito da due sezioni. La prima detta di alta frequenza si occupa della ricezione, che avviene tramite circuito oscillante con induttanza e capacità in serie, in essa è presente anche un condensatore variabile che consente la ricerca della frequenza di risonanza, e quindi la sintonia. La seconda sezione si occupa della rivelazione, resa possibile dalla presenza di un triodo che come già detto, oltre a comportarsi da diodo, amplifica la bassa frequenza rendendo possibile l'ascolto della stazione su cui si è sintonizzati, mediante una cuffia o un piccolo altoparlante. Lo schema del radiorecettore a valvole è visibile in figura.



**Applicazione didattica:** la ricostruzione degli apparati sperimentali e la ricostruzione storica sono strumenti cognitivi importanti e offrono la possibilità di parlare di Elettromagnetismo, Effetto termoionico, legge di Richardson-Fermi, Circuiti, Elementi circuitali più frequentemente usati, Tensioni, Correnti continue e alternate.

Telecomunicazioni

## Radiorecettore AM a reazione

> Pietro Bonora

**Bibliografia:** A.V. Eastman, *Fundamentals of vacuum tubes*, McGraw-Hill, New York, (1941) — T. S. Gray, *Applied Electronic*, John Wiley and Sons, New York, (1954) — S. Seely, *Radio Electronics*, McGraw-Hill, New York, (1956) — P. Bonora, *Tubi elettronici: leggi fisiche, progressi tecnologici*, Tesi di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatori G. Dragoni, G. Tomassetti, (a.a. 1998-1999).

Questo apparecchio riceve il segnale radio mediante un'antenna in ferrite, consentendo di scegliere la frequenza desiderata grazie ad un condensatore variabile (la manopola grande ne regola la capacità); tale segnale giunge, sotto forma di una corrente alternata, ad un triodo, valvola che ha la doppia funzione di rivelatrice (raddrizza cioè la corrente alternata, rendendo udibile il segnale radio) e di amplificatrice (ne aumenta l'ampiezza). La particolarità di questo tipo di ricevitore è la possibilità di rinviare all'ingresso della valvola una parte del segnale che si preleva all'uscita, consentendo così di amplificarlo ulteriormente, migliorando il rendimento e quindi le prestazioni dell'apparecchio. Tale accorgimento, denominato reazione positiva, è tecnicamente realizzato grazie ad un secondo condensatore variabile che regola la percentuale di segnale che viene rimandato all'ingresso della valvola, tramite un opportuno avvolgimento accoppiato a quello dell'antenna. Sintonizzandosi quindi su una frequenza, ed agendo sulla manopola piccola, si avverte chiaramente l'aumento di volume della trasmissione ricevuta, dovuto proprio alla maggiore amplificazione. Ad un certo punto, però, si arriva ad un valore massimo, detto reazione critica, superato il quale il triodo va in risonanza, cioè amplifica il segnale proveniente dalla sua stessa uscita anziché rivelare quello proveniente dall'antenna: invece di udire la trasmissione radiofonica, si sente un fischio continuo, che è proprio il segnale del triodo che compie continuamente una sorta di giro vizioso dall'uscita all'ingresso. In tali condizioni il dispositivo non solo non riceve più, ma parte del segnale di risonanza (il "fischio") giunge sull'antenna e viene trasmesso, potendo venire captato da altri apparecchi vicini.

**Applicazione didattica:** l'oggetto presentato ha il vantaggio, molto utilizzato nella divulgazione di leggi fisiche, di poter porre l'attenzione solo su di un aspetto, anche estremamente elementare del circuito, senza dovere prendere in

**Collocazione storica:** il primo triodo venne brevettato dall'americano Lee de Forest nel 1906, come perfezionamento del diodo, costruito due anni prima da John Ambrose Fleming. Entrambi gli oggetti erano nati proprio allo scopo di permettere la ricezione di onde radio in modo più semplice rispetto ai dispositivi precedenti, ma, come già visto, il triodo consentiva di raddrizzare ed amplificare il segnale, mentre il diodo ha unicamente la funzione raddrizzatrice. Il ricevitore a reazione trovò impiego, dagli anni Venti

considerazione il resto. Osservando il circuito di ricezione si può comprendere come in una radio l'onda elettromagnetica venga trasformata in una corrente alternata, utilizzando leggi fisiche note agli studenti di quinta superiore, oppure come il segnale generi nel triodo un campo elettrico variabile per mezzo del quale viene amplificato; infine, è possibile farsi un'idea, anche solo a livello qualitativo, di cosa significhi la reazione per un amplificatore.

in poi in due campi specifici, grazie alle sue particolari caratteristiche:

- 1) Per la ricezione di segnali molto deboli, grazie all'ottimo rendimento dovuto alla reazione.
- 2) Per la ricetrasmisione di segnali radiotelegrafici: la sua capacità di trasmettere un fischio in condizioni di risonanza venne utilizzata per le comunicazioni in codice Morse, dove i segnali (fischio breve: punto, fischio lungo: linea) venivano captati da un ricevitore identico, in grado a sua volta di trasmettere la risposta con le medesime modalità.

Il metodo della reazione venne soppiantato dalla successiva introduzione del circuito ad eterodina, che permette una ricezione migliore e non genera interferenze, anche se è necessario un circuito più complesso (sono necessarie più valvole). Oggi sopravvive soltanto per alcune applicazioni radioamatoriali.



**Modello didattico:** il modello costruito ha tutte le caratteristiche di un ricevitore a reazione, con alcune semplificazioni a livello costruttivo che ne rendono più semplice ed economica la realizzazione, e più immediata la comprensione. Esso è stato realizzato nell'autunno 1999 presso un laboratorio dell'IRA (Istituto di Radio Astronomia di Bologna) con la supervisione del dott. G. Tomassetti. Il circuito elettronico è stato montato con i due circuiti (di sintonia e di reazione) ben separati anche visivamente, il che permette di identificarli e descriverli indipendentemente. Essendo un modello sperimentale, e non mirando quindi ad un'alta fedeltà di riproduzione, è stato semplificato il circuito a bassa frequenza, sostituendo il trasformatore d'uscita con un semplice filtro; il sistema deve essere alimentato da due generatori esterni di tensione alternata, uno a 165 V e l'altro a 6,3 V per il riscaldamento del filamento del triodo. Inoltre, necessita di un amplificatore audio e di un'antenna, lunga alcuni metri. Il fatto che amplificatore ed alimentatore siano anch'essi esterni permette di concentrare l'attenzione dell'osservatore solo sul circuito di ricezione essenziale.

Telecomunicazioni

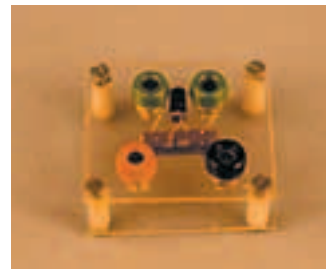
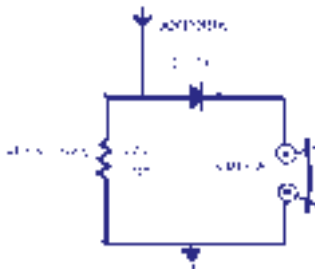
## Radioricevitore privo di circuito sintonico

> Maria Chiara Mollo

**Bibliografia:** Si vedano le indicazioni bibliografiche riportate in "Il trasmettitore a scintilla".

Il radioricevitore privo del circuito sintonico, costituito solitamente da una bobina e da un condensatore variabile, ha una valenza puramente didattica. Riflettendo sul fatto che l'antenna si può considerare un generatore di tensione, quando viene investita dal segnale, si è pensato di sostituire il circuito oscillante con una resistenza.

Tramite la resistenza è di fatto impossibile sintonizzarsi su di una stazione in particolare, cosa che diviene possibile solo tramite il circuito oscillante, ma è comunque possibile l'ascolto e dunque la ricezione di una o più stazioni sovrapposte, a patto che abbiano un segnale molto forte.



Attività didattica al Museo di Fisica

---



**C**onservazione  
dell' Energia /  
*Conservation of Energy*



Onde elettromagnetiche

# Calorimetro di Mayer

> Marco Stabellini

**Applicazione didattica:** lo scopo di un'esperienza condotta con questo modello non è quello di raggiungere un valore preciso dell'equivalente meccanico del calore, obiettivo più facilmente ottenibile con altri strumenti didattici presenti sul mercato, ma di mostrare che si può pervenire ad un risultato accettabile, anche se solo indicativo dell'ordine di grandezza del valore reale, attraverso un esperimento, sicuramente poco raffinato e "sporco", ma facilmente riproducibile in molte situazioni (senza richiedere particolari condizioni operative) come ad esempio in una classe. Ciononostante, proponendo questo apparato come modello didattico, si ritiene importante mettere in evidenza il fatto che le difficoltà che si incontrano nello svolgimento dell'esperienza e la conseguente necessità di superarle, possono rappresentare per gli studenti un valido stimolo per l'approfondimento di un tema sperimentale, consentendo loro di raggiungere un livello di autocomprensione più elevato.

**Il Funzionamento:** l'apparato richiede per il suo funzionamento la presenza di un motore che, collegato al calorimetro, lo metta in azione. Tramite una cinghia viene, infatti, trasmessa una coppia dal motore alla puleggia della macchina, la quale, sottoposta alla pressione di due freni a ganasce, genera una forza d'attrito tra le superfici a contatto. Tale forza d'attrito e, di conseguenza, l'energia dissipata per sfregamento, può essere facilmente misurata grazie ad un dinamometro, costituito, in questo caso, dall'asta unita ai freni da un lato e al piattino della bilancia dall'altro. Essendo riempita d'acqua la scatola contenente sia la puleggia sia i freni, l'energia meccanica dissipata per attrito viene trasformata contemporaneamente in calore trasferito, dalle superfici poste in frizione, all'acqua circostante, della quale è poi facile misurare l'innalzamento di temperatura. Si ha, così, a disposizione uno strumento potente in grado di misurare contemporaneamente il lavoro meccanico e quello termico e, quindi, tramite il confronto tra queste due misure, l'*equivalente energia meccanica-calore*.

**Bibliografia:** J.R. Mayer, *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur*, in "Annalen der Chemie und Pharmacie" (1842) — J.R. Mayer, *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*, Heilbronn, 1845 — C. Teichmann, "Dr. v. Mayers kalorischer Kraftmesser" — R.J. Mayer, "Robert Mayer und das Energieprinzip, 1842-1942", VDI-Verlag-GMBH, Berlino, 1942 — M. Stabellini, "Il Calorimetro di Mayer e la ricerca dell'Equivalente Meccanico del Calore". Tesi di Laurea, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 2002-2003).

Il medico tedesco Julius Robert von Mayer (1814-1878) mentre si trovava a bordo di una nave mercantile che navigava in paesi tropicali (1840-1841), fece una scoperta sorprendente: cercando di curare un marinaio con un salasso, rimase stupito di come il sangue venoso che aveva estratto all'uomo fosse di colore rosso vivo e non rosso scuro come si sarebbe aspettato, temendo, così, di avergli reciso un'arteria. Quando capì che ciò non era avvenuto, si convinse che doveva esserci uno stretto legame tra il calore dell'ambiente circostante e l'energia consumata dal corpo umano, visibile, appunto, attraverso una maggiore o minore ossigenazione del sangue (e di conseguenza una diversa colorazione) e che, inoltre, questo legame tra calore ed energia non poteva essere solo confinato nella sfera della fisiologia umana, ma doveva essere una legge universale estendibile a tutta la natura. Nacque così l'idea del primo principio della termodinamica. L'apparato chiamato *calorimetro di Mayer* è la testimonianza del tentativo dello scienziato tedesco (effettuato nel 1868) di dimostrare e misurare l'equivalente meccanico del calore, in modo da convincere i contemporanei.

**Il Modello didattico:** la riproduzione del calorimetro di Mayer è stata realizzata tenendo in considerazione un rapporto in scala di circa 1:4, risultando quindi pari a 63 cm di lunghezza, 48 cm di altezza e 20 cm di larghezza di base. Il modello è stato interamente realizzato in legno di pino e abete salvo le pulegge e la carrucola in acciaio inox. La scatola che racchiude la puleggia più interna e i freni è capace di contenere circa 3 litri di acqua. Il modello è stato realizzato per essere collegato ad un motore elettrico di potenza pari a 750 kW a circa 3300 giri al minuto (caratteristiche corrispondenti ad un comune trapano), riuscendo a rilevare un aumento di temperatura dell'acqua fino ad 1°C in poco più di un minuto e mezzo.



# Calorimetro di Joule

> Laura Forti

**Applicazione didattica:** il modello storico didattico ricostruito permette di realizzare l'esperimento di Joule sull'equivalenza tra calore ed energia. Questo esperimento permette di mettere in luce la corrispondenza tra calore ed energia, potendo anche ricavare una stima del valore moltiplicativo tra queste due grandezze, potendo così collegare l'energetica alla termodinamica. L'apparato ha anche notevole potenzialità didattica per illustrare il principio di conservazione dell'energia. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano il concetto di calore e di lavoro meccanico, oltre, naturalmente, ad alcuni concetti legati all'energia cinetica e potenziale. Il dispositivo, quindi, è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'energetica e la termodinamica.

**Il Funzionamento:** facendo cadere due pesetti da una determinata altezza, attraverso due fili di collegamento e due pulegge si mette in rotazione il mulinello a pale all'interno del calorimetro pieno d'acqua; dalla variazione di temperatura dell'acqua, misurata con un termometro, e dalla variazione dell'energia meccanica (energia potenziale posizionale) si può risalire all'equivalente meccanico del calore, cioè al fattore moltiplicativo esistente tra energia meccanica (espressa in Joule [J]) e il calore (espresso in chilo calorie [Kcal]).

**Bibliografia:** R.B. Lindsay, Energy: historical of the concept, Dowden (1975) — R. Maiocchi, Storia della scienza in occidente, La Nuova Italia (1995) — P. Rossi, Storia della scienza moderna e contemporanea, U.T.E.T. (1989) — M. Giardino, La costruzione del concetto di energia il caso di Julius Robert von Mayer, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 1994-1995) — L. Forti, James Prescott Joule e l'equivalente meccanico del calore: tra storia della fisica e didattica, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, M.L. Fiandri, (a.a. 1997-1998).

Il 6 Agosto 1845 James Prescott Joule (1818-1889) scrisse una lettera agli editori del "Philosophical Magazine" in cui descriveva gli esperimenti sull'equivalente tra il calore e l'energia meccanica. L'apparato utilizzato in questi suoi esperimenti consisteva in una ruota a pale di ottone che lavorava orizzontalmente in un recipiente pieno d'acqua; il moto poteva essere trasmesso ad essa mediante pesi e carrucole. Joule concluse attraverso questi esperimenti che l'equivalente meccanico del calore è 4.390 J/Kcal non tanto dissimile dal valore oggi scientificamente accettato (4.186 J/Kcal).

**Il Modello didattico** da noi realizzato ripropone l'apparecchio sperimentale creato da Joule con alcune modifiche sia sui materiali utilizzati, sia sulle dimensioni, sia sulla conformazione del mulinello. Il modello riproposto a scopo didattico è costituito da un recipiente cilindrico in plexiglas trasparente per aiutare a capire il principio di trasferimento di energia meccanica all'acqua. Il castello di pale interno, ha mantenuto la struttura originale a quattro piani, collegando però, a differenza dell'originale, la parte fissa direttamente al contenitore. Le palette sono realizzate in alluminio in modo da non poter essere deformate con facilità dall'attrito con l'acqua durante la rotazione. L'albero del mulinello è stato collegato al tappo del recipiente attraverso un cuscinetto a sfere per ridurre l'attrito tra il mulinello ed il contenitore. Anche nelle carrucole sono stati messi dei cuscinetti a sfera per ridurre l'attrito di rotazione. La parte superiore dell'albero presenta una cassetta su cui poggia il tamburo in plastica (al quale sono avvolti due fili di nylon): in questo modo sollevando leggermente il tamburo, si possono riavvolgere i fili senza far ruotare l'albero. Questo aspetto apparentemente solo tecnico è, in realtà, molto importante per evitare di introdurre un riscaldamento dell'acqua causato dal riavvolgimento dei fili collegati ai pesi. Per completare l'apparato vi è una struttura in acciaio in cui è posizionato il recipiente cilindrico con la ruota a pale ed a cui sono fissate le carrucole. L'apparato è stato costruito grazie alla cortese collaborazione al Museo di Fisica dell'INFN (Sezione di Bologna). Si ringraziano, a questo proposito, il direttore della Sezione Prof. Paolo Giusti e il tecnico Sig. Giulio Pancaldi, che ha realizzato costruttivamente gran parte del nostro progetto.



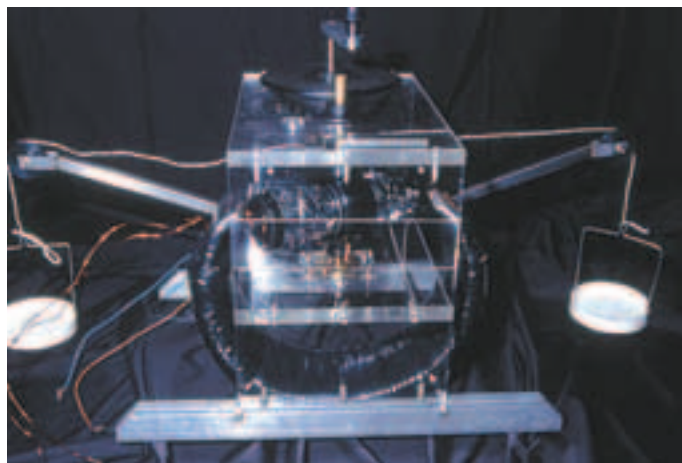
Onde elettromagnetiche

# Il Rotore elettrico di Joule

> Laura De Pasquale

**Bibliografia:** E. Amaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella, *Fisica generale*, ed. Zanichelli, 1986 — Y. Elkana, *La scoperta della conservazione dell'energia*, ed. Feltrinelli, 1977 — J.L. Heilbron, *Alle origini della fisica moderna. Il caso dell'elettricità*, ed. Il Mulino, 1984 — H. von Helmholtz, *Sulla conservazione della forza in Opere*, a cura di V. Capelletti, ed. UTET, 1986 — J.P. Joule, *The scientific papers*, ed. Dawson of Pall Mall, 1963 — E.M. Rogers, *Physics for the inquiring mind*, ed. Princeton University Press, 1977 — F. Sebastiani, *I fluidi imponderabili. Calore ed elettricità da Newton a Joule*, ed. Dedalo, 1990 — L. De Pasquale, *Il rotore elettrico di Joule*. Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm.ff.nn., Università degli Studi di Bologna: Relatori Giorgio Dragoni, Maria Luisa Fiandri, (a.a. 1999-2000).

Questo apparato sperimentale venne realizzato da James Prescott Joule (1818-1889) nel 1843, nell'ambito di una serie di studi e di prove sperimentali che poi portarono al suo celebre articolo sul "Philosophical Magazine" del 1845 (vedi L. Forti). Tale strumento si poneva come collegamento tra i due principali interessi scientifici del grande fisico sperimentale inglese: i fenomeni di origine elettrica, in particolare lo studio del rendimento di motori elettromagnetici in alternativa alle macchine a vapore, e i fenomeni connessi al calore. I due principali risultati che Joule raggiunse furono, da un lato, la dimostrazione di quelli che egli chiamò "effetti calorifici della magnetoelettricità", ovvero del fenomeno oggi conosciuto sotto il nome di effetto Joule, ora espressa da  $Q=ki^2 Rt$ , relazione già conseguita da Joule per le correnti continue e che ora raggiunge anche nel caso determinato dalle correnti elettriche di origine magnetica e di cui scrisse la relazione matematica detta legge di Joule, (dove  $Q$  è la quantità di calore che una corrente di intensità  $i$  dissipa nel tempo  $t$  in un conduttore di resistenza elettrica  $R$ ;  $K$  è una costante che dipende dalle unità di misura usate); dall'altro, la scoperta di un rapporto numerico costante tra la variazione di temperatura provocata da queste correnti e un corrispondente lavoro meccanico necessario per ottenere la stessa variazione. In pratica, Joule giunse in questo modo a valutare l'equivalente meccanico della quantità di calore che provocava l'aumento della temperatura di una libbra d'acqua di un grado Fahrenheit. L'apparato progettato da Joule era costituito da un piccolo elettromagnete, composto da una spirale di rame avvolta attorno ad un'anima di ferro ed inserito in un tubo di vetro pieno d'acqua, che ruotava su se stesso tra i poli di un elettromagnete stazionario più grande. L'elettromagnete stazionario era formato da una lastra di acciaio piegata ad "U", attorno alla quale era avvolta una bobina di rame ed era alimentato da un numero variabile di pile Daniell. Il perno ruotante, su cui era montata la bobina contenuta nel tubo, era collegato, tramite un sistema di pulegge, ad una coppia di piatti, su cui si ponevano i pesi che, cadendo verticalmente, mettevano in rotazione il tubo stesso. In alternativa alla caduta dei pesi, per porre in rotazione la bobina, si poteva fare uso di una manovella applicata alla ruota di trasmissione. Completavano il sistema un galvanometro, collegato alla spirale ruotante attraverso un commutatore formato da una coppia di vaschette riempite di mercurio, e due termometri, necessari per rilevare la temperatura dell'acqua contenuta nel tubo e quella dell'ambiente esterno.



**Modello didattico:** rispetto al progetto originale, la replica realizzata contiene alcune modifiche che, tuttavia, rispettano nella sostanza le indicazioni di Joule. Per quanto riguarda i materiali, il vetro del tubo è stato sostituito dal plexiglas e l'isolamento termico ed elettrico delle varie parti è stato ottenuto con materiali attuali. Le dimensioni delle componenti sono in generale fedeli a quelle del modello del 1843, mentre è un po' diverso il rapporto di trasmissione tra gli elementi ruotanti. Alcune differenze riguardano la spirale dell'elet-

tromagnete stazionario, che è stata realizzata con un unico filo di rame lungo circa 900 m, mentre Joule aveva realizzato un conduttore formato da 22 fili intrecciati tra loro, ciascuno lungo circa 97 m; in tal modo, egli desiderava incrementare l'intensità della corrente che percorreva la bobina stazionaria, aumentando la sezione del filo conduttore, mentre nel nostro caso, potendo disporre di tensioni più elevate rispetto a quelle fornite dalle pile Daniell usate da Joule, si è preferito mantenere una sezione del filo conduttore ridotta ed aumentare il numero di spire. L'aumento dell'intensità della corrente in un caso e del numero delle spire nell'altro hanno come scopo quello di generare un campo magnetico la cui intensità sia la più elevata possibile, per ottenere nella bobina mobile una corrente indotta di intensità maggiore. L'alimentazione dell'elettromagnete ad "U" è fornita da un alimentatore ad uscite variabili; l'intensità della corrente che percorre la spira mobile viene rilevata da un amperometro digitale e le temperature sono misurate con termometri a mercurio, che non subiscono l'influenza dei campi magnetici in gioco; la sensibilità di tali termometri è di 0,1° C, contro quella dichiarata da Joule per i suoi strumenti, pari a 1/50 di grado Fahrenheit, che corrisponde a circa 0,01° C. La minore sensibilità dei termometri da noi usati è giustificata dal fatto che, potendo ottenere correnti indotte di intensità anche molto elevata, l'aumento di temperatura che dobbiamo misurare risulta essere di un ordine di grandezza pari a tale sensibilità: non occorre perciò usare strumenti di sensibilità maggiore, d'altra parte molto costosi, e, quindi, non ottimali a scopo didattico. Il commutatore, attraverso cui si realizza il collegamento tra il filo della bobina ruotante e l'amperometro, è costituito da due semianelli conduttori su cui strisciano due collettori di carbone. Il supporto su cui l'intero apparato è stato assemblato è fatto di plexiglas, per consentire la perfetta visione di ogni elemento e dei movimenti che si susseguono durante l'esperimento. Il modello didattico – che è predisposto anche per determinare l'equivalente meccanico del calore – è stato costruito grazie alla cortese Collaborazione dell'INFN (Sezione di Bologna) al Museo di Fisica. Si ringraziano, a questo proposito, il direttore della Sezione Prof. Paolo Giusti e il tecnico Signor Giulio Pancaldi, che ha realizzato costruttivamente il nostro progetto.

**Funzionamento:** nella prima fase dell'esperimento, la bobina mobile viene fatta ruotare all'interno del campo magnetico generato dall'elettromagnete stazionario collegato all'alimentatore, per un intervallo di tempo stabilito (non si utilizzano, per il momento, i pesi in caduta). Per induzione, il filo della spirale ruotante viene percorso da una corrente, rilevata dall'amperometro, la quale provoca un riscaldamento dell'acqua contenuta nel tubo: questa produzione di calore da parte della corrente che percorre un conduttore costituisce il fenomeno denominato "effetto Joule". Ponendo quindi in relazione l'intensità della corrente che percorre la bobina mobile e la variazione di temperatura dell'acqua, per quel dato intervallo di tempo, è possibile ricavare sperimentalmente la legge di proporzionalità tra il quadrato dell'intensità della corrente e il calore sviluppato per effetto Joule. Nella seconda fase, collegando al sistema ruotante i piatti su cui si collocano i pesi, con una serie di cadute di queste masse per una durata totale di tempo pari all'intervallo stabilito nella prima fase, l'amperometro permette di osservare il passaggio di una corrente nella bobina ruotante; a tale corrente si può associare, secondo la legge ricavata nella prima fase dell'esperimento, una variazione di temperatura dell'acqua, che, per verifica, si può contemporaneamente misurare con il termometro. A questo punto, si stabilisce una relazione quantitativa fra il lavoro meccanico compiuto dai pesi in discesa,

**Applicazione didattica:** l'apparato descritto permette di verificare sperimentalmente l'esistenza di diversi fenomeni fisici coinvolti in questo tipo di esperienza: l'induzione elettromagnetica, l'effetto Joule, l'esistenza di un equivalente meccanico del calore. L'impostazione seguita da Joule è priva di formalismo matematico: molti contenuti di termologia e calorimetria, così come quelli relativi all'elettromagnetismo, non erano stati scoperti oppure erano ancora oggetto di studio. Dunque, questo esperimento può essere considerato come esempio interessante di un preciso metodo sperimentale, secondo cui, a partire da una impostazione filosofica che riguarda una certa categoria di fenomeni, si ricavano sperimentalmente le leggi facendo affidamento sulla precisione delle misure e sulla possibilità di variare le grandezze in gioco. Parallelamente, questa esperienza offre la possibilità di valutare l'equivalente meccanico del calore nella maniera consueta, come rapporto fra il lavoro compiuto e il calore sviluppato, quindi a partire da considerazioni di tipo energetico. Inoltre, l'esperienza ha come scopo ultimo la dimostrazione del fatto che, ogni volta che si produce calore, avendo speso una certa energia meccanica per compiere lavoro, fra lavoro speso e calore prodotto esiste una ben precisa relazione; tuttavia, per raggiungere questo obiettivo, essa impone che lo sperimentatore presti grande attenzione a molti altri fattori in gioco, come il lavoro speso per vincere gli attriti, l'esistenza di una energia cinetica associata alla rotazione dei vari elementi mobili, l'assorbimento di calore da parte dei materiali che compongono il tubo e l'elettromagnete ruotante.

considerando come altezza di caduta la somma di tutte le corse effettuate, e la variazione di temperatura, da cui si ricava il calore sviluppato. Tramite una proporzione, si ottiene numericamente il valore dell'equivalente meccanico del calore, inteso come massa che deve cadere dall'altezza di un piede per aumentare di un grado Fahrenheit la temperatura di una libbra d'acqua.

**Commenti:** questo esperimento precede cronologicamente il più celebre esperimento del calorimetro, effettuato dallo stesso Joule nel 1845; rappresenta quindi un primo passo verso la verifica sperimentale del principio di conservazione dell'energia, concetto che però verrà sviluppato solo successivamente, in particolare grazie all'opera di H. von Helmholtz. L'aspetto interessante di questo primo approccio al problema dell'equivalente meccanico del calore è che in questa esperienza l'aumento di temperatura ha origine da fenomeni di tipo elettromagnetico, mentre nei successivi esperimenti dello stesso Joule la "sorgente" del calore sviluppato sarà costituita dall'attrito. Il modello interpretativo del fenomeno del calore, che fa da sfondo a questo esperimento, è quello cinetico: Joule riteneva infatti che il calore fosse dovuto al movimento delle particelle costituenti della materia e non alla propagazione di qualche fluido materiale.

Attività didattica al Museo di Fisica

---

# **D**agli Elettroni al Modello Atomico /

*From Electrons to  
the Atomic Model*

Onde elettromagnetiche

## Tubo a raggi catodici

> *Francesco Serafini*

**Bibliografia:** J.J. Thomson, On Cathode Rays, Philosophical Magazine, 44, pp. 293-317 (1897) — A. Righi I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo, Bologna, Zanichelli, (1918) — H. Abraham, et al. Les quantites elementaires d'electricite, ions, electrons, corpuscles, Paris, Gauthier & Villars, (1955) — B. Maxfield, Benedict, Theory of gaseous conduction and electronics, New York, McGraw-Hill, (1941) — [www.aip.org/History/Electron](http://www.aip.org/History/Electron) — [www.mip.berkeley.edu/physics](http://www.mip.berkeley.edu/physics) — F. Serafini, Importanza storica e possibile impiego culturale del tubo di J.J. Thomson, Tesi di Laurea in Fisica, Corso di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna: Relatori G. Dragoni, A. Castaldini, (a.a. 1999-2000).

Nella seconda metà del diciannovesimo secolo si ebbe uno studio sistematico delle scariche elettriche nei gas a diverse pressioni e, in particolare, in quelli rarefatti. Fenomeno importante fu l'osservazione sul vetro di fronte al catodo di una luminescenza insolita, poi attribuita alla collisione dei raggi catodici con il vetro. Quest'osservazione portò alla formulazione di diverse teorie interpretative sulla natura della radiazione catodica che condusse nel 1897 alla scoperta dell'elettrone da parte di John Joseph Thomson (1856-1940). Lo strumento utilizzato per questa serie di esperimenti era il tubo a raggi catodici.

**Il Modello didattico** del tubo a raggi catodici da noi realizzato non è una replica fedele di uno storico, ma è un modello in grado di poter evidenziare un numero considerevole di fenomeni legati alla scarica elettrica nei gas rarefatti, alla natura dei raggi catodici, con esperimenti qualitativi e quantitativi, ed, in particolare, permette di misurare i parametri velocità e rapporto e/m degli elettroni catodici. Quindi per poter creare uno strumento così polivalente si è realizzato un progetto originale. Il tubo a raggi catodici è stato realizzato con vetro pirex composto da due parti: la parte di emissione e quella di focalizzazione e deviazione. Queste parti sono state realizzate per il Museo di Fisica di Bologna dalla Ditta Marchi della stessa città. Nella parte di emissione è presente il catodo costituito da una placchetta di zinco o ottone o rame. Sono stati inseriti due elettrodi per il catodo, per eventuali prove con un catodo ad emissione termoionica. Sono presenti anche una finestrella di quarzo, angolata e direzionata sul catodo, da utilizzare per eventuali esperimenti sull'effetto fotoelettrico, e un anodo aggiuntivo costituito da un filo di rame. L'anodo è costituito da un disco di metallo forato al centro (diaframma), montato su un elettrodo uscente in rame. In un secondo momento, è stata realizzata, sempre dalla stessa Ditta, anche una parte di emissione sostitutiva che non contenesse tra catodo e anodo nessuna variazione sulla superficie del vetro, per permettere così una migliore visione dei fenomeni di scarica elettrica nei gas rarefatti. La parte di deviazione contiene le placchette, in rame, di deflessione orizzontale e verticale sostenute da elettrodi sempre in rame. Si è posto il tubo in modo che la zona di deviazione verticale sia quella più vicina allo schermo. La deviazione verticale è realizzata anche con l'azione di un campo magnetico creato da due bobine affiancate aventi stesso asse di simmetria. Il catodo, l'anodo-diaframma e le placchette di deflessione sono montati tramite sistemi a vite che li rendono smontabili e quindi sostituibili e intercambiabili. Le due parti costituenti il tubo, sono collegate attraverso due coni, rispettivamente femmina sulla prima e maschio sulla seconda, entrambi appositamente smerigliati e, quindi, a tenuta di vuoto. La parte terminale del tubo è costituita da un contenitore sferico. Il sistema è montato su un piedistallo di legno opportunamente sagomato che sorregge anche le bobine di deviazione magnetica e le lastrine del condensatore per la deviazione elettrica.



**Il Funzionamento:** La complessità delle tecniche sperimentali utilizzate negli esperimenti: alto potenziale d'alimentazione, tecniche d'alto vuoto ecc., rende improbabile, se non impossibile, per la mancanza di adeguate apparecchiature, l'utilizzo diretto del tubo a raggi catodici da parte degli studenti. Anche un insegnante si troverebbe in difficoltà a realizzare questi esperimenti, sia per la reperibilità delle apparecchiature, sia per le tecniche da utilizzare in fase sperimentale che, comunque, implicherebbero la collaborazione di un tecnico specializzato. Così si è pensato ad una diversa possibilità d'impiego: realizzazione di un filmato come ausilio didattico dove far vedere tutti gli esperimenti realizzabili facendo anche riferimento alle teorie collegate. Gli esperimenti sono stati da noi effettuati presso il laboratorio della Sezione di Stato Solido del Dipartimento di Fisica di Bologna grazie alla cortese disponibilità della Prof.ssa Anna Cavallini e all'aiuto del tecnico Sig. Antonio Castaldini.

**Applicazione didattica:** il modello storico didattico ricostruito permette di realizzare esperimenti sulle teorie collegate all'esistenza dell'elettrone e alla fenomenologia della scarica nei gas rarefatti. Gli argomenti sviluppati possono essere presentati mediante video all'inizio dello studio dell'elettromagnetismo facendo particolare riferimento all'esistenza dell'elettrone. Le conoscenze richieste per la piena comprensione del modello didattico riguardano l'elettromagnetismo ed in particolare il concetto di carica, e l'applicazione delle leggi dell'azione elettrica e magnetica su cariche puntiformi (leggi di Lorentz ecc.), quindi il dispositivo è adatto soprattutto a studenti delle classi medie superiori con curriculum di studi comprendente l'elettromagnetismo.

Onde elettromagnetiche

# Modello atomico di J.J.Thomson

➤ Elena Verardi

**Il Modello didattico:** Il Modello da noi proposto si basa su esperimenti condotti da Meyer attorno al 1865. Si è cercato di riprodurre il più fedelmente possibile l'esperimento di Meyer e, contemporaneamente, di renderlo ripetibile all'interno di un ambiente scolastico. Per raggiungere questo scopo è stato necessario apportare alcune modifiche all'esperimento originale quali, ad esempio, la sostituzione degli aghi magnetici solitamente disponibili in un laboratorio scolastico, con normali aghi da cucito precedentemente magnetizzati. Gli aghi magnetici infatti non sono adatti per questo esperimento, poiché sono costruiti in modo da potere essere fissati su un supporto che gli permetta di ruotare e di orientarsi rispetto al campo magnetico studiato. Questo tipo di struttura ne rende difficile la collocazione sul supporto di sughero, e appesantisce più del necessario il sistema.

**Il Funzionamento:** Il nostro modello didattico risulta così costituito da una bacinella contenete acqua al cui interno vengono disposti aghi "magnetici", fissati su supporti di sughero di dimensioni di 2mm, in modo tale che tutte le estremità uscenti abbiano la stessa polarità. Sopra la bacinella, appoggiato su un supporto in plastica che non altera le linee del campo, è posto un grosso magnete in modo che la parte rivolta verso la bacinella abbia polarità opposta a quella delle estremità uscenti degli aghi (Fig.1). In questo modo si riescono a produrre diversi poligoni regolari chiusi concentrici (ai cui vertici si situano gli aghi magnetici) che simulano gli orbitali elettronici (Fig.2).

**Bibliografia:** J.L. Meyer, Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik, Breslavia, 1864 — J.J. Thomson, On the structure of the atom, in "The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science", pp. 792-796 (1913) — J.J. Thomson, On the number of corpuscles in an atom in "The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science", pp. 769-781 (1906) — J.J. Thomson, On the structure of the atom, in "The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science", pp. 237-265 (1904) — J.J. Thomson, On Cathode Rays, in "The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science", pp. 293-316 (1897) — J.J. Thomson, On The velocity of the cathode-rays, in "The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science", pp. 358-368 (1894) — E. Verardi, "J.J. Thomson: Il Modello Atomico, teorico sperimentale, e la sua capacità predittiva". Tesi di Laurea, Corso di Laurea in Fisica, Facoltà di Scienze mm. ff. nn., Università degli Studi di Bologna: Relatore G. Dragoni, (a.a. 2000-2001).

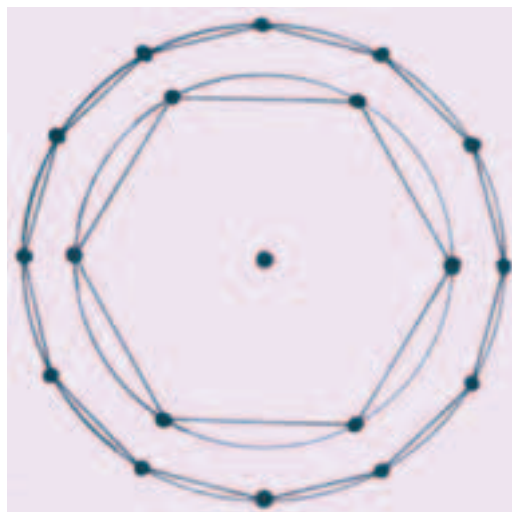
Nella seconda metà dell'Ottocento, l'attenzione di numerosi fisici era rivolta allo studio dei raggi catodici. Si era infatti notato che ponendo all'interno di un tubo a vuoto due elettrodi collegati ad una batteria, per pressioni molto basse, si verificava un passaggio di corrente ed il tubo stesso si illuminava di verde. Diminuendo ulteriormente la pressione si notava che la regione opposta al catodo assumeva una luminosità maggiore, come se qualcosa fosse stato emesso dal catodo; questo qualcosa fu poi chiamato "raggi catodici". Fu J.J. Thomson (1856-1940) a stabilire, con i suoi esperimenti del 1896-1897, la natura corpuscolare di tali raggi e a determinare il rapporto carica massa dei nuovi corpuscoli battezzati già dal 1891 da J. Stoney *elettroni*. La scoperta di particelle subatomiche fece nascere il problema di studiare la struttura dell'atomo e, quindi, di creare un *modello atomico*. Il modello atomico proposto da Thomson fu definito "a panettone" poiché si basava sull'idea che si potesse adottare come ipotesi quella di particelle mutuamente respingenti tenute assieme da una forza "magnetica" centrale. In particolare, l'atomo, secondo Thomson, era costituito da una distribuzione sferica di carica positiva in cui erano immersi gli elettroni. Per arrivare a questo modello Thomson si basò sull'esperimento fatto da Julius Lothar Meyer (1830-1895) con degli aghi magnetici infilati in tappi di sughero immersi in una bacinella d'acqua, in modo tale che tutte le estremità sporgenti avessero la stessa polarità e che fossero sottoposti all'interazione di un magnete rivolto verso questi con polarità opposta. In questo esperimento le forze in gioco sembravano, a Thomson, essere del tutto analoghe a quelle a cui è sottoposto l'elettrone all'interno dell'atomo.





**Applicazione didattica:** Il modello storico didattico di J.J. Thomson fornisce un'efficace presentazione di un modello troppo spesso banalizzato come "plume-cake" o "a panettone" che fu storicamente in grado di proporre mediante la costruzione di poligoni regolari chiusi concentrici ai cui vertici erano collocati gli elettroni un'anticipazione dei futuri "orbitali elettronici". Non solo, ma J.J. Thomson fu, grazie alla sua considerevole abilità matematica, in grado di prevedere, matematicamente appunto, le sequenze e il comportamento degli elementi chimici della Tabella di Mendeleeff mediante le sue figure poligonali concentriche.

Un'altra interessante proposta didattica si può sviluppare a partire dall'opera di J.L. Meyer, che non solo eseguì l'esperimento qui ricordato, ma seppe proporre nel 1870, quasi contemporaneamente a Mendeleeff (1869), un sistema periodico degli elementi equivalente a quello del russo.



Attività didattica al Museo di Fisica

---

Dipartimento di Fisica – Sistema Museale di Ateneo  
Università degli Studi di Bologna  
Progetto Tecnoscienza

**S**cuole, **M**odelli e  
**S**trumenti didattici /  
*Schools, Models and  
Teaching Instruments*

➤ Paola Fortuzzi, Magda Giorgi

## Proposte didattiche al Museo di Fisica di Bologna.

“La scuola elementare riconosce di non esaurire tutte le funzioni educative: pertanto favorisce l’interazione formativa con la famiglia e con la più vasta comunità sociale. La scuola elementare valorizza nella programmazione educativa e didattica le risorse culturali, ambientali e strumentali offerte dal territorio e dalle strutture in esse operanti...”

Alla luce di quanto indicato da “I Nuovi Programmi per la Scuola Primaria” il Comune di Bologna afferma, con il Progetto Scuola-Territorio del 1986, che “Le peculiari caratteristiche delle fonti di informazioni che il territorio offre, la disponibilità di strumentazioni spesso difficilmente reperibili in ambito scolastico, la possibilità di introdurre elementi di innovazione nella metodologia e nella prassi didattica, consentono di pensare al territorio come a un possibile contesto di apprendimento particolarmente efficace e motivante per i bambini della scuola elementare e per i ragazzi della scuola media in vista di un arricchimento e di un completamento dei percorsi curriculari e della formazione personale e come un insieme organico e articolato di occasioni e di sussidi didattici per gli insegnanti.” Nel quadro del Progetto Scuola-Territorio l’Amministrazione Comunale di Bologna ha istituito una serie di Aule Didattiche Decentrate nei vari istituti museali della città (comunali, statali e universitari).

### AULE DIDATTICHE DECENTRATE

Le Aule Didattiche Decentrate sono spazi di servizio didattico a carattere permanente ad uso della scuola per lo svolgimento di attività didattiche a carattere sperimentale, specialistico, produttivo e di ricerca. Offrono servizi di attività didattica (percorsi didattici, visite guidate, laboratorio, incontri tematici), programmazione (specifica delle aule, integrata con le classi), informazione, divulgazione, consulenza, documentazione e ricerca.



### AULA DIDATTICA DEL MUSEO DI FISICA

Il Museo di Fisica dell’Università, utilizzato da tempo per le sue valenze nello studio e nella ricerca da scienziati, docenti e studenti universitari oltre che da alcuni settori della scuola superiore, non era conosciuto dalla scuola dell’obbligo. L’attività didattica, in tal senso, era tutta da costruire, in quanto la strumentazione, ricchissima, ma in gran parte di difficile lettura per i “non esperti”, necessita di una selezione e di una mediazione per consentirne la comprensione ai ragazzi. Per questo, nel Museo di Fisica si è elaborato un progetto specifico che intende offrire alla scuola una proposta didattica, volta a suscitare nei ragazzi l’interesse verso il mondo scientifico fino dalla scuola elementare, sia per fornire loro le cognizioni di base per comprendere le moderne tecnologie, sia per avviarli ad un atteggiamento metodologico di conoscenza necessario alla ricerca scientifica. Ciò appare indispensabile, in un’epoca in cui lo sviluppo scientifico-tecnologico è tanto avanzato e tanta parte ha nello svolgersi quotidiano della nostra vita.



Nel nostro progetto di lavoro, pervenuto alle scuole elementari e medie all’inizio dell’anno scolastico 1987/88, si propone una visita al Museo per:

- approfondire la conoscenza di tematiche e personaggi storici specifici;
- utilizzare le testimonianze storiche e scientifiche offerte dal Museo;
- conoscere gli strumenti usati nella ricerca scientifica e le loro funzioni;
- approfondire un argomento specifico dell’area scientifica;
- conoscere e comprendere le esperienze e gli esperimenti di alcuni grandi scienziati;
- comprendere alcuni aspetti del processo scientifico-tecnologico attraverso l’evoluzione di alcuni strumenti;
- conoscere e comprendere alcuni semplici fenomeni fisici mediante l’esperienza sul campo;
- riconoscere negli eventi e nelle esperienze della vita quotidiana alcuni fenomeni fisici.

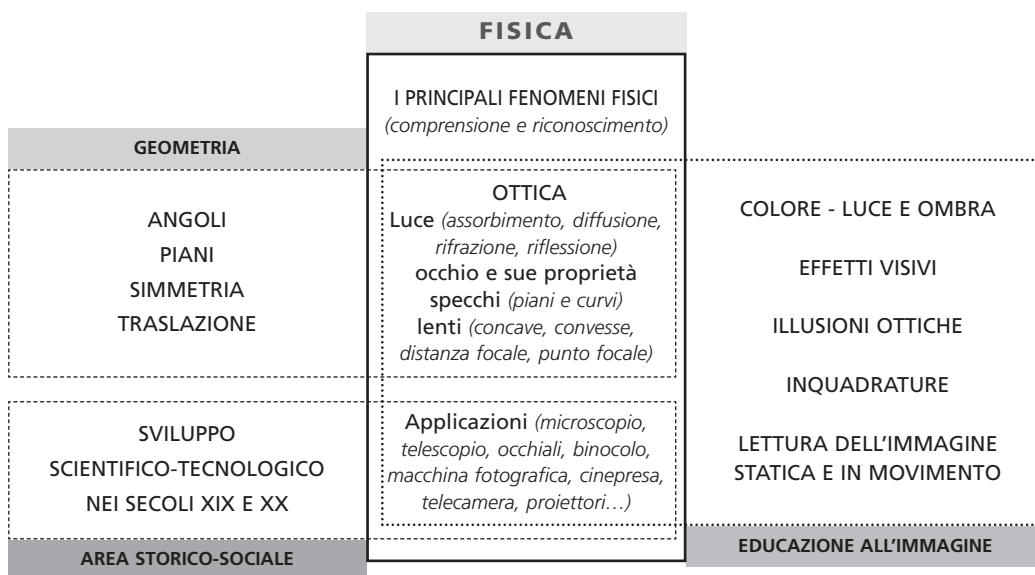
Le attività dell’aula didattica del Museo hanno lo scopo di far vivere ai ragazzi esperienze stimolanti, allargare i loro interessi, dare spazio alla loro creatività, offrire loro occasioni per “fare”, avviandoli a una più consapevole metodologia di conoscenza. Nel raggiungimento di questi obiettivi il ragazzo si impadronisce degli ele-

menti indispensabili per un approccio costruttivo agli strumenti, chiavi di lettura perché gli stessi strumenti, divenuti familiari, acquistino ai suoi occhi il loro ruolo di grande valore storico e scientifico. Sono possibili, nell'ambito del Museo, alcuni percorsi guidati, opportunamente finalizzati e preventivamente concordati con gli insegnanti. In particolare:

1. Visita finalizzata a cogliere, prevalentemente, l'aspetto storico del Museo.
2. Esperienze scientifiche in laboratorio: questa attività, rivolta al 2° ciclo della scuola elementare e alla scuola media, intende condurre i ragazzi alla comprensione dei concetti della fisica e gradatamente a scoprire le leggi che regolano alcuni fenomeni fisici attraverso l'osservazione sperimentale dei fenomeni stessi. Le attività vengono svolte tenendo presente l'età dei ragazzi e le programmazioni delle classi. Attualmente i settori presi in considerazione sono: meccanica, acustica, ottica, termologia, elettricità e magnetismo. Per ogni settore si procede nel modo seguente: osservazione di un semplice fenomeno riprodotto in laboratorio - ricerca di analogie con altri fenomeni simili desunti dall'esperienza dei ragazzi - sperimentazione dello stesso fenomeno in situazione diversa - osservazione di una classe di fenomeni, scoperta delle regolarità che li accomunano, interpretazione dei fenomeni - conoscenza di strumenti conservati al Museo e utilizzo da parte dei ragazzi di opportune strumentazioni didattiche funzionali alla riproduzione e allo studio dei fenomeni stessi.
3. Visita al Museo, preferibilmente successiva alle esperienze di laboratorio, che, pur prendendo in considerazione l'aspetto storico, sia prevalentemente di interesse scientifico nell'ambito dei settori sopra indicati (\*).

Durante l'incontro o i più incontri che si tengono nei laboratori, nelle aule del Dipartimento, compatibilmente con le lezioni universitarie, si dà ai ragazzi la possibilità di manipolare, di provare in prima persona per riuscire a scoprire i fenomeni che accadono quotidianamente ma di cui spesso non si rendono conto. I materiali utilizzati sono di vario genere: dal materiale povero di uso quotidiano, di facile reperimento, a strumentazioni didattiche opportune messe a disposizione dal Museo, a strumenti che vengono appositamente costruiti all'interno del Museo o del Dipartimento. Naturalmente, l'attività non si esaurisce con gli incontri effettuati all'Aula Didattica Decentrata ma necessariamente viene ripresa e approfondita in classe. Da questo punto di vista è intensa l'attività di coordinamento e di programmazione tra il personale del Museo e gli insegnanti delle classi prima, e dopo le loro visite.

Dalla programmazione di una 3ª classe elementare: schema di connessioni interdisciplinari



(\*) Attualmente, anno 2000, i materiali storici del Museo sono collocati in casse in attesa di una augurabile prossima risistemazione. Nel settembre del 2000 è prevista l'apertura del prestigioso Museo dell'Istituto delle Scienze in Palazzo Poggi a Bologna, luogo in cui confluirà - trovando finalmente degna collocazione - la parte più antica sei-settecentesca delle strumentazioni del Museo di Fisica.

## PERCORSI

**Acustica.** Un approccio all'*Acustica* viene effettuato mediante la presentazione di esperimenti e di modelli didattici che portano i ragazzi a conoscere la causa fisica del *suono* e la sua propagazione nei vari mezzi.

**Ottica.** In questo percorso si evidenzia il comportamento della *luce* nei confronti dei diversi corpi e la sua propagazione rettilinea. Si analizzano i fenomeni della diffusione, dell'assorbimento, della riflessione, della rifrazione e della dispersione (*colore* della luce), favorendo un approccio ai fenomeni dell'*Ottica*.

**Meccanica.** Lo sviluppo dei principali concetti della *Meccanica* viene proposto mediante la presentazione interattiva di *macchine* semplici e composte (*leva*, bilancia, etc.) e di vari modelli quali il parallelogramma delle forze, l'individuazione del baricentro, etc. Si effettuano prime semplici determinazioni di *misura* (lunghezza, massa, peso, etc.) e si evidenziano prime elementari trasformazioni di *energia*.

**Elettromagnetismo.** I principali fenomeni dell'*Elettricità* e del *Magnetismo* (*Elettromagnetismo*) e alcuni dispositivi elementari ( elettroscopio, ago magnetico, pila di Volta, circuiti elettrici) vengono presentati per favorire la comprensione dei concetti, mettendone in risalto le diverse modalità attuative e le relative trasformazioni energetiche (*energia*).

**Termologia.** Questa attività porta i ragazzi alla comprensione della causa fisica del *calore* e alla distinzione tra *temperatura* e calore. Attraverso una serie di semplici esperimenti si avvicinano i ragazzi ai concetti fondamentali della *Termologia*, evidenziando i diversi modi di propagazione del calore, la dilatazione termica e la trasformazione dell'*energia* meccanica in energia termica e viceversa.

Ultimamente i percorsi didattici così riformulati sono stati inseriti nella pubblicazione *Da Museo a museo. Luoghi e idee per la didattica*, Bologna dei Musei, 1999. Sono in corsivo alcune parole intese come parole chiave in quanto permettono connessioni con gli altri Musei cittadini, apparendo in percorsi proposti da più Aule Didattiche.

---

➤ *Sergio Tamburini*

## Attività didattica al Museo di Fisica di Bologna

# La didattica è anche un gioco.

Proposte e sussidi didattici per favorire l'approccio, suscitare l'interesse ed iniziare lo studio dei fenomeni fisici.

Da qualche tempo sono stato inserito operativamente nell'Aula Didattica (istituita nell'ambito del Museo di Fisica), che le colleghe Fortuzzi e Giorgi hanno precedentemente presentato e illustrato per quanto riguarda le iniziative da esse abitualmente coordinate. Qualche sintetica informazione sulla mia attività precedente. Provengo da esperienze scolastiche diverse e svariate che vanno dall'insegnamento di Tecnologia dei Materiali in Istituti tecnico-professionali negli ormai remoti anni '50, fino alla partecipazione alla sperimentazione, premessa alla riforma della Scuola Elementare, in qualità di titolare di un laboratorio, pomposamente definito di *comunicazioni non verbali*. L'esperienza scolastica che maggiormente ha inciso nella mia formazione di insegnante è però la mia partecipazione negli anni 1960-65 alla sperimentazione che precedette lo slittamento dell'obbligo scolastico al quattordicesimo anno di età o alla terza media. Nelle Medie Unificate Sperimentali era regina una disciplina, l'"Educazione ed Applicazioni Tecniche", all'interno della quale era protagonista un'entità didattica, il "puer faber" (mi sia concesso di rubare termine e concetto). Il ragazzo era cioè progettista prima e poi costruttore dei sussidi didattici e perciò, almeno in linea teorica, protagonista cosciente dello studio, della ricerca, della lezione. Al di là di una certa ingenuità di questa concezione pedagogica, si ritiene, comunque, utile riprendere quella metodologia favorendo una riflessione consapevole, critica, non passiva dello studente su alcuni dispositivi tratti - sotto forma di economiche repliche - dalla fisica di tutti i tempi e quindi, dalla sua storia. In questo modo, negli esempi sintetici che si riportano, si potrà guidare la riflessione, la comprensione dello studente, forse la sua capacità d'evoluzione e persino, in certi casi, la sua creatività verso una più autentica, profonda, duratura comprensione dei concetti che sono diventati patrimonio della cultura scientifica. Ebbene, il "puer faber" avrebbe costruito i propri sussidi scientifici, le proprie apparecchiature secondo criteri che mi permettono di riassumere nelle realizzazioni appositamente preparate per le attività dell'Aula Didattica. Trattasi di:

**Turbina a vapore.** Gli allievi sono spesso costretti ad un duplice procedimento mentale: capire il fenomeno e l'apparecchio che lo dimostra. Quest'ultima operazione è complicata soprattutto perché lo strumento è visto come qualcosa da "guardare e non toccare". Materiali di recupero, "poveri", e comunque familiari agli allievi, opportunamente assemblati, permettono di superare questo inconveniente, dando loro la possibilità di costruire un apparecchio di facile comprensione, con il quale possono sperimentare direttamente la trasformazione di energia termica in meccanica attraverso l'espansione con cambiamento di stato di un fluido. La "turbina" rende così facile e

spontaneo l'approccio con la strumentazione scientifica. Molti altri sono i semplici modelli didattici utilizzabili per illustrare questi concetti. Ricordiamo l'Eolipila, il Trapano da Fuoco, il Dilatometro per Solidi e Liquidi, le "Navi" a vapore, la Spirale e la Ruota ad aria calda...

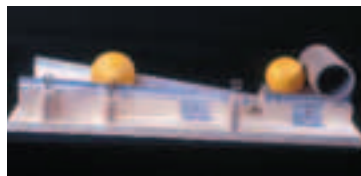
**Ventilatore.** Secondo uno schema elettrico molto semplice, con l'ausilio di un trasformatore, è possibile costruire un ventilatore facendo operare una comune dinamo da bicicletta come motore invece che come generatore. Anche se la spiegazione dei fenomeni elettrici coinvolti è di difficile comprensione per i più piccoli, la presentazione del sussidio è ugualmente opportuna perché è facile prevedere che l'interesse sia tale da riaffiorare più avanti quando, in altro modo, si presenteranno gli stessi problemi.

**Paradosso di Torricelli.** L'esperienza è considerata difficile e quindi non adatta ad allievi alle prime armi. Una serie di semplici attrezzi, distanziatori e misuratori di altezze, mette in evidenza le successive posizioni che l'asse del doppio cono assume in partenza, a fine corsa, in equilibrio. Fondamentale, comunque, far notare che per evidenziare il fenomeno – il "paradosso" della "risalita" di un corpo – è necessario disporre i binari in modo che siano tra loro convergenti. Inoltre il confronto con il comportamento di sfera e cilindro ed il ricorso ad una coppia di guide orizzontali rende possibile una miglior presentazione e comprensione del paradosso. Così il "puer faber" avrebbe preparato i suoi sussidi didattici; così sono stati costruiti. Ad essi abbiamo aggiunto inoltre: Pupazzi in equilibrio, Caleidoscopio, Lenti di ingrandimento, modello di Pendolo di Foucault, Triangoli sonori, Trottolo, Camera oscura; ma anche: Fontana di Erone, Vite di Archimede, Pinocchietto e applicazione delle Condizioni di Equilibrio per un Corpo appoggiato, Dinamometro, Bilancia a bracci uguali, "Torre di Pisa", Phon e Principio di Bernoulli, Carrucolo, Apparecchio per urti elastici e Quantità di Moto, Apparato per la determinazione elementare della lunghezza d'onda, Periscopio, Lenti ad acqua, Trottolo per la composizione dei colori, Pila di Volta, Pila a tazze, Bussola, Elettrocalamite, e molti altri apparecchi e modelli didattici, tutti strumenti realizzati per l'Aula Didattica del Museo di Fisica di Bologna. Non si creda che l'elenco sopra riportato sia puramente sequenziale. In realtà, tra i modelli citati si possono trovare - come abbiamo in parte già visto - molte relazioni che ne consentono un coordinamento basato su raggruppamenti tematici, ricchi di significati culturali e didattici. Forniamo qui solo qualche esempio.

Per quanto riguarda l'ampia sezione dedicata alla *Meccanica* ricordiamo, infatti, tutta una serie di modellini chiamati "Torri di Pisa" semplici o dotate di aste verticali o di goniometro, ed altri parallelepipedi o superfici piane che evidenziano concetti fondamentali dell'equilibrio dei corpi solidi e l'individuazione del baricentro. Un aspetto particolarmente attraente, per fare acquisire dimistichezza agli allievi con questi concetti è offerto dal "Pinocchietto".

In realtà, come in molti altri modelli da noi preparati, la semplicità non deve essere fraintesa con faciloneria. Anzi spesso nella presentazione di un modello didattico si assiste a vere e proprie "sorprese" o "shock" didattici. Il pinocchietto è costruito, per esempio, sia con braccia su cui si possono avvitare pesi sferici, ma anche con pesi cilindrici ed altri componenti, come per es. un bilanciario orizzontale, per variare le condizioni di sperimentazione. Per es., braccia lunghe e variabili in lunghezza. Telaio non più curvo, come tradizione vorrebbe, ma diritto, orizzontale, per evidenziare meglio la composizione dei pesi e il loro contributo al baricentro. Apparecchi per lo studio degli urti elastici presentati in condizioni diverse, con sfere di diversi materiali..., per la comprensione della conservazione della quantità di moto; ma anche casi in cui la nozione di "misurazione" comincia ad essere introdotta: il dinamometro, le bilance a bracci uguali, la stadera... Anche per le altre branche della fisica (in realtà noi crediamo ad una fisica vista in modo unitario, come è la realtà, e non nella suddivisione in settori, concetto che usiamo per puro scopo di chiarezza espositiva) numerose sono le correlazioni che si possono individuare. Per l'*Ottica* si va dal *Caleidoscopio*, costruito manualmente, smontabile, osservabile all'interno e in tutte le sue caratteristiche costruttive, alla composizione di colori mediante il *disco di Newton* o il *disco di Maxwell*, o, tramite l'uso di trottolo di uguale forma, ma di vari colori (includendo naturalmente, anche il bianco e il nero, suddivisi in settori di maggiore o minore ampiezza). Ma anche le lenti ad acqua. Fatte con la semplice sovrapposizione di due superfici concave riempibili di acqua e richiudibili con un elastico sufficientemente largo. Così si possono fare alcuni semplici studi sull'ingrandimento, ma si può osservare una piccola interessante "sorpresa". La lente ad acqua si trasforma in una Livella. E questo a causa dell'osservazione facilmente riscontrabile della presenza di gas disciolti nell'acqua che - legge di Henry - si concentrano in una "bolla" caratteristica (livella).

Numerose sono anche le apparecchiature didattiche realizzate per far comprendere la differenza tra calore e temperatura. Termoscopi, Termometri, Dilatometri, ecc. A proposito di questi ultimi si può illustrare ulte-



riormente il concetto di “shock” didattico già citato in precedenza. Nell’illustrazione del principio di funzionamento di un dilatometro lineare costituito da sbarrette di metallo opportunamente riscaldate e in cui si evidenzia la progressiva dilatazione lineare della sbarra mediante una semplice leva amplificatrice che sposta un indice su una scala, si assiste, dopo una decina di minuti dall’inizio del fenomeno ad una... inversione della posizione dell’indice sulla scala. La dilatazione sembra regredire. In realtà, non si tratta di una cosa così sconvolgente per la fisica, ma di una piccola sorpresa sì. L’effetto è dovuto, riflettendo un attimo su ciò che avviene, alla progressiva incurvatura della sbarra metallica sotto l’effetto della forza di gravità e in conseguenza del suo rammollimento dovuto al riscaldamento. Questi effetti comportano un incurvamento della sbarra e, quindi, un’apparente violazione della legge di dilatazione lineare.

Altre proposte didattiche riguardano l’*Acustica* e la possibilità di effettuare vere e proprie ricerche individuali - ma questo è un concetto che attraversa tutte le apparecchiature che abbiamo realizzato - con l’uso di *Triangoli sonori*. Realizzabili facilmente con tondini di ferro per costruzione di varie sezioni e di varie lunghezze. Ma su questo settore il Museo, come in altri casi, possiede tutta una serie di apparecchiature storiche o recenti: dal *Sonometro*, al *Tube di Kundt*, al *Tube di Quincke*, alle *Lastre di Chladni...*, illustrate in questo Catalogo e a cui si rinvia (v. A.Tinti). Numerosi anche i materiali legati al *Magnetismo* e all’*Elettromagnetismo*: dagli aghi magnetici, ai magneti, alle bussole, alle pile di Volta a colonna o a tazze, alle elettrocalamite. Anche qui, naturalmente, in questo Catalogo si possono trovare molti altri suggerimenti e offerte didattiche. Naturalmente si privilegia la possibilità di costruire strumenti semplici, economicamente costruibili, privilegiando la salvaguardia degli apparati storici del Museo. Anzi, questa è una delle ragioni dell’introduzione degli apparati didattici ora illustrati. In un’altra Sezione del Catalogo si potranno trovare, invece, informazioni sulla ricostruzione per fini didattici – ma anche sperimentali e misurativi – di grandi e classici apparati del passato: il *Calorimetro di Joule* (v. L. Forti), il *Rotore elettrico di Joule* (v. L. De Pasquale) e il *Tube per Raggi Catodici per la determinazione di  $e/m$  di J.J. Thomson* (v. F. Serafini).

---

➤ Antonio Grilli

## Problematiche e tecniche di restauro in Antichi strumenti scientifici.

La domanda che ci si pone di fronte ad uno strumento da restaurare, è come procedere, e fino a che punto sia lecito intervenire. Per entrare in argomento, vorrei sottoporre alla vostra attenzione il recente restauro di tre strumenti del primo 800, effettuato nel Laboratorio del Museo del Dipartimento di Fisica dell’Università di Bologna.

Il primo, che descriveremo brevemente, è un cosiddetto *orologio perpetuo* (Foto 1) costruito intorno al 1818 dall’orologiaio austriaco Carl Streizig, trasferitosi a Verona, con la qualifica di meccanico del Gabinetto di Fisica dell’Accademia delle Scienze, e collaboratore del famoso fisico Giuseppe Zamboni (1776-1846). Quest’ultimo aveva abilmente perfezionato attorno al 1810 un tipo di pila a secco, scoperta dal francese P.L. Marechoux nel 1805. Zamboni descrive minutamente nella sua memoria “L’Elettromotore Perpetuo” (Verona, 1822) la costruzione della pila di un elettromotore costituito da un pendolo oscillante tra elettrodi di segno opposto, per effetto dell’attrazione e repulsione elettrostatica. Evidentemente Zamboni perseguiva il sogno di un moto perpetuo che, a quell’epoca, non essendo ancora stato acquisito il principio di conservazione dell’energia, era ancora accettato come possibile dalla scienza; ricordiamo, per esempio, che un suo elettromotore con pendolo che batteva ritmicamente su due campanelle, fu inviato al Clarendon Museum di Oxford nel 1840 e funzionò ininterrottamente per quasi 130 anni. Streizig, come già prima di lui in Inghilterra Sir Francis Ronald (*On the electrogalvanic Agency employed as a moving power with a description of a Galvanic clock* - in “Philosophical Magazine”, 9-3-1815), ebbe l’intuizione di utilizzare un pendolo, mosso da due pile Zamboni connesse in serie, per realizzare il suo orologio perpetuo.

Dobbiamo dire che la precisione di questi orologi, costruiti con lo scopo di sostituire in maniera semplice i complessi orologi meccanico-astronomici, si mostrò subito scarsa per due motivi: le pile pur generando facilmente potenziali anche elevati (ca. 3000 V nell’orologio in considerazione) presentavano una resistenza interna molto alta (ca. 2-3000 Mohm) con conseguente caduta di potenziale al momento di contatto del pendolo e difficile recupero della tensione, inoltre le pile erano sensibilissime alle variazioni di temperatura, tanto che i detrattoni del sistema qualificarono gli orologi “elettrici” più dei termometri, che non dei misuratori esatti del tempo. Al-

tra fonte di errore era il brusco arresto del pendolo, a quasi fine corsa, momento particolarmente delicato per mantenere l'isocronismo. Lo strumento, di proprietà del Museo Civico di Modena, che ce lo ha affidato per il restauro, è giunto a noi brutalmente mutilato dalle estremità delle colonne in vetro, coperte di pece, che contengono le pile: queste ultime risultano ora in corto circuito e danneggiate irreparabilmente dall'umidità che nel tempo hanno assorbito; il piano di appoggio delle pile, e tutte le parti in ottone, compreso il ruotismo dell'orologio (Foto 2), erano fortemente ossidate e solo in piccole zone, protette dalla sovrapposizione di parti, restava ancora traccia della laccatura originale. Per evitare un ulteriore danneggiamento dell'oggetto e per fermare il processo corrosivo in atto lo strumento è stato completamente smontato, pulito prima in ultrasuoni, con solventi non clorurati, e poi meccanicamente, mantenendo l'aspetto delle superfici metalliche come si presentavano dopo il lavaggio. Successivamente, tutti i componenti sono stati puliti in freon, poi riscaldati a 120 gradi Celsius in forno ad atmosfera controllata per eliminare ogni traccia di solvente, e subito rilaccati. Il rivestimento esterno delle colonnette contenenti le pile, fratturatosi a "mosaico" ed in parte mancante, è stato fissato utilizzando un collante preparato sciogliendo una piccola parte della stessa pece in toluene. I "tasselli" mancanti sono stati riempiti per operare un indispensabile consolidamento delle colonne, ma ciò si è fatto usando un *filler* nero opaco, prontamente riconoscibile. La meccanica dell'orologio è ora perfettamente funzionante dopo il trattamento conservativo delle varie componenti la minuteria. È interessante osservare che, applicando un generatore esterno, il pendolo oscilla con un periodo di circa tre secondi. A fine operazione pensiamo di aver raggiunto lo scopo prefissato in partenza: buona conservazione dello strumento nel tempo, un accettabile aspetto estetico; il recupero della funzionalità - traguardo esclusivo per molti restauratori e a volte, purtroppo, da raggiungere, costi quel che costi - non è stato preso in considerazione in quanto presupponeva pesanti interventi con impiego di materiali non originali; e in conclusione un'alterazione non accettabile dello strumento stesso.

Gli altri due strumenti di cui ora forniremo alcune informazioni sono un *piccolo telescopio catadiottrico* costruito intorno al 1810 da *P. Selva* in Venezia ed un *microscopio pure catadiottrico di G.B. Amici*, due apparecchiature che riflettono, nella loro costruzione, il massimo della tecnologia e della perfezione ottico-meccanica e funzionale raggiungibile all'epoca. Giovan Battista Amici, figura di eclettico costruttore, versato in molte discipline scientifiche, botanico illustre, era soprattutto "ingegnere" e la cura posta nella perfezione ottico-meccanica dei suoi strumenti si accompagna sempre a qualità che potremmo definire, in anticipo sui tempi, "ergonomiche", ignorate dagli altri suoi concorrenti: famosissimi i suoi specchi in lega metallica dalle eccezionali caratteristiche, che gli valsero menzioni e riconoscimenti da tutto il mondo scientifico. Anche i Selva erano ottici veneziani molto noti per i loro apparecchi, sia telescopi che microscopi. La Repubblica Veneziana riconobbe ai Selva grandi meriti, ricompensandoli con titoli onorifici e generosa pensione. Non casuale lo sviluppo di strumenti catadiottrici in quel periodo: le pressanti esigenze di un migliore potere risolutivo trovarono un freno nella scarsa correzione allora raggiungibile con sistemi diottrici, pesantemente affetti da molte aberrazioni e principalmente dall'aberrazione cromatica: gli obiettivi catadiottrici permisero un salto di qualità fondamentale.

Il piccolo telescopio Cassegrain di Selva, di proprietà del Museo Civico di Modena, si presentava in discrete condizioni esterne, con circa il 50% di laccatura originale e solo fortemente ossidato in punti dove il contatto delle mani degli utenti, consumata la lacca, avevano lasciato impronte molto profonde. Dall'oculare, però, l'osservatore percepiva solo una debole luminosità diffusa, senza alcuna traccia di immagine. Aperto lo strumento, tutte le parti interne mostravano fortissime corrosioni, tali da rendere difficile lo smontaggio. Entrambi gli specchi erano completamente opachi, coperti da un velo di ossido e polvere stratificata nel corso del tempo. Probabilmente queste alterazioni furono provocate da fenomeni di condensa, e conseguente crescita di muffe, sulla vernice interna del tubo, formata da nerofumo inglobato in colla di natura organica: i prodotti acidi di degradazione della colla hanno profondamente intaccato l'ottone del tubo e le superfici degli specchi. Scartata l'ipotesi di una pulitura meccanica seguita da rilucidatura degli specchi, che avrebbe portato ad una inevitabile alterazione della loro geometria, siamo ricorsi al *polishing* elettrolitico usato nella preparazione dei campioni metallici sottili per la microscopia elettronica che permettono, in condizioni rigidamente controllate dai parametri della cella, una rimozione di spessori costanti su tutta la superficie interessata dall'attacco elettrolitico. Dopo alcune prove sulle facce posteriori dello specchio, per trovare le condizioni di *plateau* di tensione, corrente e temperatura della cella, lo specchio principale e quello secondario sono stati sottoposti a *polishing* in soluzione metallica, acido perclorico 18% a -25 gradi centigradi, riottenendo una superficie speculare, senza alcuna alterazione





della curvatura (e planeità per lo specchio secondario) progettata dal costruttore. Sullo specchio secondario abbiamo effettuato un'analisi quantitativa al microscopio elettronico munito di sonda Edax. E' da notare che l'altissima qualità della lega e l'omogeneità della tessitura sono risultate non certamente inferiori a quelle ottenibili oggi con tecnologie assai più complesse e sofisticate. Le parti esterne dello strumento sono state pulite chimicamente solo nei punti dove risultavano annerite e corrosive: per riportarle pari al colore delle zone restanti, il tubo e le altre parti, dopo il lavaggio in freon sono stati trattati in forno in atmosfera controllata (azoto-ossigeno) a ca. 120 °C fino ad ottenere un'accettabile eguaglianza di tinta. Per la protezione superficiale è stata effettuata una rilaccatura totale con vernice molto trasparente. Il tutto ci ha restituito uno strumento perfettamente funzionante, con una bontà di immagine notevole, ed un buon risultato estetico e un ripristino della funzionalità ottica.

Analoghi problemi si sono presentati anche per il *microscopio Amici* del Museo Civico di Modena, con l'aggravante di corrosioni quasi passanti all'altezza della giunzione tra la scatola dello specchio e il tubo, giunto particolarmente sollecitato per la pressione della molla che blocca elasticamente lo specchio alla sua sede. Il problema è stato risolto con un riporto interno di lega d'argento a basso punto di fusione. Il restauro dei componenti ottici ha seguito la metodica per lo strumento di Selva, confermandone la validità. Anche qui è stata impiegata l'analisi con la microsonda a raggi X della base dello specchio: i risultati sono praticamente analoghi a quelli dello specchio di Selva dimostrando ancora una volta l'abilità dei fonditori dell'epoca.



Da questa breve nota si può già capire quale mole di lavoro comporti il restauro degli strumenti del passato, e che inizia dalla ricerca bibliografica, dalla lettura di pubblicazioni dell'epoca, per capire lo scopo, l'uso, i risultati ottenuti con quel particolare apparecchio, passando poi alla documentazione fotografica prima, durante e dopo il restauro ed alla scelta dei materiali più idonei per portare a termine il restauro nel modo più corretto possibile. Dobbiamo tener presente nella scelta dei prodotti da usare che non si conosce ancora il comportamento nel tempo di molti materiali attualmente offerti dalle varie Ditte e che, almeno teoricamente, potrebbero sostituire le vecchie ricette (vedi ad esempio collanti e lacche sintetiche). In queste condizioni è chiaro che è necessario procedere con il massimo rispetto possibile dell'oggetto del restauro, intervenendo in modo conservativo e reversibile solo nei casi in cui è assolutamente necessario procedere per questioni di salvaguardia dell'oggetto stesso. Altra fonte di perplessità può essere l'uso di solventi clorurati (tricloroetilene-percloroetilene), relativamente instabili dal punto di vista chimico e che facilmente lasciano sulle superfici residui clorurati, indubbiamente pericolosi per la conservazione nel tempo dell'oggetto "restaurato". Naturalmente, sono stati restaurati anche molti altri strumenti del Museo di Fisica di Bologna con tecniche e metodologie conservative analoghe a quelle ora ricordate. Il rapporto tra restauro conservativo e conoscenza ci sembra sufficientemente chiaro, e tale da giustificare queste procedure, anche al di là della loro indispensabilità per la conservazione di un bene culturale del nostro patrimonio storicoscience.

➤ Paola Fortuzzi

## Attività didattica con le scuole: alcune considerazioni

### Primo bilancio.

Come è stato detto precedentemente, la proposta per un'attività didattica al Museo di Fisica fu inviata alle scuole elementari e medie di Bologna e provincia all'inizio dell'anno scolastico 1987/1988, dopo il mio primo anno di servizio presso il Museo. Al termine dello stesso anno queste furono le tabelle riassuntive:

	Scuole Elementari		Scuole Medie Inf.		Scuole Medie Sup.	
	N. Classi	N. Incontri	N. Classi	N. Incontri	N. Classi	N. Incontri
dalla Città	6	10	6	12	3	3
dalla Provincia	1	2	1	1	-	-
fuori Provincia	-	-	-	-	4	4
<b>TOTALE</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

	N. Incontri	INTERVENTI		Presenze
		Visita guidata	Laboratorio	
Scuole Elementari	12	2	10	210
Scuole Medie Inf.	13	4	9	215
Scuole Medie Sup.	7	7	-	144
<b>TOTALE</b>	<b>32</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>569</b>

Le classi elementari e medie furono coinvolte prevalentemente nelle attività pratiche, nei settori di Ottica, Acustica e Meccanica; le visite alle vetrine del Museo furono successive alle attività di laboratorio, limitate ai settori che erano stati presi in considerazione. Alcune classi tornarono più volte; una parte degli insegnanti propose di programmare gli incontri in una prospettiva di più anni scolastici. Si stavano delineando alcuni punti che avrebbero caratterizzato l'attività anche negli anni successivi. Nell'anno scolastico 1988/1989 si presentò l'occasione di collaborare con una scuola materna. Dalla riflessione su questa esperienza nacque una proposta per i bambini più piccoli. Dal fascioletto divulgativo, nato dalla collaborazione con le Aule Didattiche di altri Musei Universitari: **Giocare con...** "Queste attività fanno riferimento ai settori di Meccanica, Acustica, Ottica e sono rivolte in modo particolare ai bambini dell'ultimo anno della scuola materna e del I ciclo della scuola elementare: attraverso sollecitazioni specifiche e finalizzate, saranno coinvolti in esperienze guidate di gioco e di esplorazione". Nell'anno 1989/90, con l'arrivo al Museo di Sergio Tamburini, comincia la progettazione e la realizzazione di modellini didattici facilmente riproducibili dai ragazzi, strumentazioni di cui si trova la presentazione dello stesso Tamburini nelle pagine che precedono.

	NUMERO CLASSI			NUMERO INCONTRI			PRESENZE		
	87/88	88/89	89/90	87/88	88/89	89/90	87/88	88/89	89/90
Scuole Materne	-	1	2	-	4	7	-	104	115
Scuole Elementari	7	10	28	12	26	68	210	575	1428
Scuole Medie Inf.	7	11	13	13	17	20	215	325	440
Scuole Medie Sup.	7	15	14	7	15	16	144	251	352
<b>TOTALE</b>	<b>21</b>	<b>37</b>	<b>57</b>	<b>32</b>	<b>62</b>	<b>111</b>	<b>569</b>	<b>1255</b>	<b>2335</b>

	INTERVENTI								
	NUMERO INCONTRI			VISITA GUIDATA			LABORATORIO		
	87/88	88/89	89/90	87/88	88/89	89/90	87/88	88/89	89/90
Scuole Materne	-	4	7	-	-	-	-	4	7
Scuole Elementari	12	26	68	2	3	2	10	23	66
Scuole Medie Inf.	13	17	20	4	6	2	9	11	18
Scuole Medie Sup.	7	15	16	7	15	2	-	-	14
<b>TOTALE</b>	<b>32</b>	<b>62</b>	<b>111</b>	<b>13</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>38</b>	<b>105</b>

In tempi ravvicinati la partecipazione ad una serie di iniziative locali e nazionali ci diede la possibilità di allargare il campo dell'informazione e del confronto:

- 1989 - Pubblicazione di un articolo su "Scuola Se", N.56, Anno VIII, dicembre 1989, pp. 53-57.
- Partecipazione alla Mostra di oggetti e pannelli illustrativi l'attività delle Aule didattiche dei Musei Universitari, con esposizione di lavori prodotti dagli alunni delle classi coinvolte nell'esperienza (Museo di Zoologia).
- Distribuzione alle scuole elementari e medie di Bologna e provincia dell'opuscolo informativo "Itinerari e visite guidate tematiche", Università e Comune di Bologna, settembre 1989, in cui gli insegnanti delle Aule Didattiche dei Musei Universitari presentano contenuti e metodologie per un approccio "guidato" alle collezioni e alle varie discipline scientifiche.

- 1989 - Comunicazione al Convegno AIF (Associazione Italiana per l'Insegnamento della Fisica).
- 1990 - Comunicazioni all'XI Congresso Nazionale di Storia della Fisica (8-13 Ottobre, Trento).
- Partecipazione nello spazio poster al Convegno "Gli occhi della curiosità. I Musei e la didattica per gli anni 90", organizzato dal Comune di Bologna, il 26-27 Febbraio.
- 1991 - Comunicazioni al Convegno "La comunicazione scientifica: media e metodi. Il Museo come laboratorio di didattica", nell'ambito della Settimana della Cultura Scientifica, a Trieste, il 20 Marzo.
- Collaborazione alla Mostra "Scienza o Magia" per la costruzione dei materiali del laboratorio (Bologna, Palazzo Re Enzo).

L'organizzazione di mostre temporanee (l'invito indicava chiaramente di venire per "fare") si è affiancata all'attività didattica svolta al Museo:

- 11-14 Maggio 1995, Fare scienza coi bambini, Castel d'Aiano (Bo);
- 25-31 Marzo 1996, Attività didattico-sperimentali, S.Giovanni in Persiceto (Bo);
- 23/11-5/12/1997, Farfare fisica. Esperimenti in corso: si prega di disturbare, S.Giovanni in Persiceto (Bo).

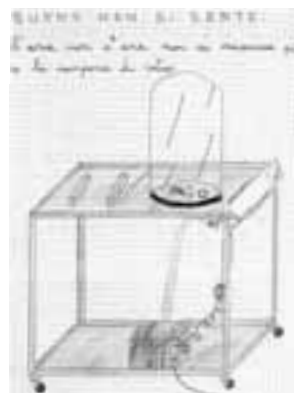
Dal 1998 viene svolta attività didattica per ogni ordine di scuola anche nella sede distaccata di S.Giovanni in Persiceto (Bo), nell'ambito del Progetto TECNOSCIENZA (v. A.Bugini, S.Camprini). Le difficoltà logistiche della situazione attuale non ci hanno concesso di rispondere positivamente a tutte le numerose richieste ricevute durante l'anno scolastico appena terminato. In alcuni casi, come già negli anni passati, l'operatore del Museo si è recato con i materiali più facilmente trasportabili nelle sedi scolastiche. Per un confronto di dati si è fatta per questo la scelta di pubblicare quelli relativi all'anno scolastico 1996/97, anno di maggior frequenza a tutt'oggi, anche per una maggiore disponibilità di spazi all'interno del Dipartimento, nella speranza che in tempi brevi la sistemazione possa essere più favorevole

	NUMERO CLASSI	NUMERO INCONTRI	PRESENZE
Scuole Materne	3	5	113
Scuole Elementari	84	164	3164
Scuole Medie Inf.	86	114	2230
Scuole Medie Sup.	24	25	347
<b>TOTALE</b>	<b>197</b>	<b>308</b>	<b>5854</b>

Delle 197 classi, 100 provenivano dalla città, 78 dalla provincia e 19 da fuori provincia. Il Museo ha inoltre partecipato da sempre alle Manifestazioni della Settimana Nazionale della Cultura Scientifica, promossa dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica. I programmi delle Iniziative, rivolte ovviamente a un ben più vasto pubblico, hanno avuto ampia diffusione anche presso le scuole: un invito a conoscere meglio le Collezioni del Museo e le eventuali nuove acquisizioni; ad approfondire i diversi aspetti dell'attività museale; un'occasione per assistere alla presentazione di nuovi modellini didattici e a dimostrazioni didattico-sperimentali con strumentazioni moderne o apparati storici accuratamente rimessi in funzione.

Nell'ambito della IV Settimana della Cultura Scientifica (1994) fu organizzato espressamente un incontro con i docenti delle scuole dell'obbligo del Comune e della Provincia di Bologna, per illustrare attraverso materiali ed esperimenti i due nuovi percorsi su termologia ed elettromagnetismo che l'Aula Didattica aveva progettato per i ragazzi in età scolare e che andavano ad ampliare gli argomenti proposti dall'inizio dell'attività: ottica, acustica, meccanica. Gli operatori del Museo sono stati invitati più volte nelle scuole per presentare agli insegnanti l'attività didattica:

- corso d'aggiornamento relativo all'area scientifica, per gli insegnanti elementari del XV Circolo didattico di Bologna (1992)
- incontro con insegnanti delle scuole elementari, medie e medie superiori del 33° Distretto di Imola, su richiesta del Presidente del Distretto (1995).
- corso d'aggiornamento "Insegnare la fisica nella scuola dell'obbligo", con la



presenza di insegnanti di scuole elementari e medie, organizzato dalla Direzione Didattica del 3° Circolo di Imola, in cui era prevista anche la costruzione di modellini didattici (1996).

L'attività di informazione e di programmazione con gli insegnanti è continua. Oltre ai contatti telefonici, si offre la massima disponibilità ad incontri che si svolgono per appuntamento, incontri che danno l'opportunità di far conoscere meglio i contenuti dei percorsi e i materiali utilizzati e di concordare le linee d'intervento che permettono di inserire l'incontro o gli incontri al Museo nelle attività della classe, prevedendo momenti di preparazione e di integrazione. Su richiesta, si offrono anche indicazioni bibliografiche e consulenze per la costruzione a scuola dei modellini didattici.

---

➤ *Annalisa Bugini, Sonia Camprini*

## Tecnoscienza.

Il progetto originario, presentato nel 1995 da Giorgio Dragoni, responsabile del Museo di Fisica del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, prevedeva la realizzazione di un Centro Polifunzionale di Cultura Scientifica e Storico-Scientifica ubicato a San Giovanni in Persiceto (BO), presso l'ex convento di S.Francesco, e in parte presso l'ex Istituto Tecnico "Einaudi".

Attualmente sono operative solo due delle Aree Funzionali previste nel progetto originario: le Aule Didattiche e il Laboratorio Tecnico, localizzate presso il chiostro restaurato di S.Francesco. La struttura dispone di strumentazioni professionali (strumenti ottici in particolare), di dispositivi didattici in grado di simulare e riprodurre fenomeni naturali, nonché di strumenti scientifici storici e/o loro riproduzioni. Per il futuro si auspicano nuove acquisizioni, in particolare alcune attrezzature del XIX secolo attualmente sistemate in maniera conservativa (ma non espositiva) presso il Museo di Fisica dell'Università di Bologna.

Sempre nell'ambito del progetto Tecnoscienza è prevista la realizzazione di un centro di documentazione costituito da una biblioteca scientifica, da una videoteca, da una emeroteca e da una cineteca, risultato della duplicazione dei video che la Provincia di Bologna ha raccolto nel campo degli studi di Fisica, il tutto a supporto delle diverse attività didattiche proposte. Prossimamente, con le previste parziali riorganizzazioni del Polo Scolastico comunale della città di San Giovanni in Persiceto, si auspica un ampliamento degli spazi da destinare alle attività del Centro recuperando in questo modo, almeno in parte, quanto progettato originariamente. La direzione e la responsabilità della struttura è affidata a Giorgio Dragoni, mentre le attività didattiche sono affidate a personale che si è formato professionalmente presso il Museo di Fisica di Bologna e collabora tuttora in ambito universitario. In particolare questo gruppo di lavoro è coordinato dalle Dottoresse Annalisa Bugini e Sonia Camprini

Tecnoscienza si avvale infine della collaborazione del Dottore Giovanni Pietro Sini, per le consulenze tecnico-scientifiche e per gli appuntamenti tematici previsti lungo tutto l'anno scolastico (conferenze, seminari, etc.).

La struttura Tecnoscienza ha tra le proprie specifiche finalità *la diffusione della cultura tecnico-scientifica, la valorizzazione del patrimonio storico-scientifico, tecnologico ed industriale, oltre che l'attività di divulgazione e di formazione rivolte alla cittadinanza in generale ed agli studenti in particolare.*

Le proposte didattiche affrontano le diverse tematiche relative alle scienze fisiche mediante la scelta attenta di argomenti e l'individuazione del più opportuno approccio pedagogico. Le attività così elaborate si propongono in definitiva di abbattere le barriere, anche di carattere psicologico, che spesso ostacolano l'approccio al sapere scientifico. Il contatto diretto tra esperto e visitatore, l'osservazione empirica della realtà e l'utilizzo di attrezzature da laboratorio realizzate, spesso dai piccoli visitatori stessi, con materiali poveri e facilmente reperibili costituiscono elementi chiave di tale modalità di interazione didattica e sono sicuramente privilegiati rispetto ad altre più tradizionali e frontali, senz'altro più astratte e meno coinvolgenti. Non è casuale infatti, per Tecnoscienza, la denominazione di 'Laboratorio didattico': è infatti il luogo *principe* dove cercare risposte non preconfezionate, dove costruire nuove "strumentazioni", dove verificare ipotesi e elaborare teorie. Alla traccia da seguire come filo



conduttore della ricerca si accompagna, per i piccoli ricercatori, la possibilità di “deragliare” lungo nuove, e frequentemente inaspettate, direttrici, seguendo quel “Provando e Riprovando” galileiano che portò alle ben note scoperte. Da questo punto di vista l’esperienza Tecnoscienza rappresenta un banco di prova operativo di quanto elaborato a livello concettuale in ambito universitario.

Inoltre a partire dall’anno scolastico 2000/2001 Tecnoscienza confluisce in un’unica struttura museale, che ha permesso di raggruppare insieme realtà già da anni operative sul territorio persicetano. La nuova struttura, il *Museo del Cielo e della Terra*, è costituita, oltre che da Tecnoscienza, da:

- un polo astronomico con un Planetario (il terzo in Italia per dimensioni), un Osservatorio astronomico e una Stazione Meteo;
- un Orto Botanico con flora tipica della Regione;
- un sistema di Aree Naturali (oltre a S. Giovanni in Persiceto anche a S. Agata, Crevalcore, Calderara di Reno) divenute zone di recupero faunistico e paesaggistico a partire da situazioni di forte degrado.

Questa nuova dimensione permette di ampliare ulteriormente l’offerta didattica e formativa per i ragazzi delle scuole di ogni ordine e grado. Si è resa così possibile la realizzazione di interventi didattici trasversali alle diverse discipline, opportunamente integrati tra loro, anche in funzione delle possibili e peculiari propedeuticità. Un nuovo ambito di ricerca si apre in una prospettiva a più vasto raggio d’azione: un gruppo di giovani, afferenti alle varie discipline scientifiche, rende possibile elaborare proposte dotate di grande flessibilità e dinamismo.

### Iniziativa organizzate nell’ambito del progetto Tecnoscienza

- Mostra: “Farfarefisica: esperimenti in corso: si prega di disturbare”, 23 novembre – 5 dicembre 1997, Chiesa di Sant’Apollinare, San Giovanni in Persiceto (tot. Presenze 1850);
- Presentazione attività Tecnoscienza in occasione dell’inaugurazione 19 dicembre 1998;
- Partecipazione alla IX Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica: “La luce: ‘riflettere’ per osservare – Gli strumenti ottici nell’osservazione della Natura”, 22 – 28 marzo 1999;
- Attività didattica per le scuole a.s. 1997/98/99/00 (tot. Presenze 4000);
- Organizzazione della caccia al tesoro scientifica: “Exploratori tra terra e cielo” in occasione dell’inaugurazione del Museo del Cielo e della Terra, 10 settembre 2000



### Links

[www.a-i-f.it/](http://www.a-i-f.it/) - [www.exploratorium.edu](http://www.exploratorium.edu) - [www.cittadeibambini.net/cdb](http://www.cittadeibambini.net/cdb) - [www.lis.trieste.it/attivita/index.html](http://www.lis.trieste.it/attivita/index.html)  
[www.idis.unina.it](http://www.idis.unina.it)

### Bibliografia

- Hein, Hilde: *The Exploratorium. The Museum as laborator*, Washington and London, Smithsonian Inst. Press, 1990
- Pierce, John: *Centres for Curiosity and Imagination. When is a museum not a museum?*, London, Calouste Gulbenkian Foundation, 1998

Attività didattica al Museo di Fisica

---

# **N**ote e Informazioni / *Notes*



## Attività Didattica

L'Attività didattica al Museo di Fisica fu avviata all'inizio degli Anni '70, ma ebbe un forte impulso a partire dal 1987-88 quando vennero coinvolte ufficialmente e sistematicamente le Scuole elementari e medie di Bologna e Provincia. Le attività pratiche di dimostrazioni sperimentali e di coinvolgimento degli allievi riguardarono inizialmente soprattutto l'Ottica, l'Acustica e la Meccanica. Dal 1988-89 le attività furono rivolte anche alle Scuole materne. Gli allievi furono guidati così in esperienze di gioco e di esplorazione scientifica nell'ambito della fisica. Dal 1989-90 fu possibile avviare presso il Laboratorio del Museo la progettazione e la realizzazione di modellini didattici, facilmente riproducibili dai ragazzi. Il numero degli incontri con le Scolaresche è stato in media di circa 300 per anno scolastico. In realtà, le richieste sarebbero molto superiori. Infatti, non è possibile far fronte a tutte le richieste per insufficienza numerica di personale e, soprattutto, di idonei spazi disponibili.

Si è partecipato alla fase organizzativa della costituzione della Settimana della Cultura Scientifica promossa dal MURST. Abbiamo partecipato a numerose Manifestazioni tenutesi a partire dal 1991. In particolare:

18-23 Marzo 1991: Cultura, Scienza e Tecnologia al Museo di Fisica

4-10 Maggio 1992: Donazione Siniaglia, presentazione del catalogo

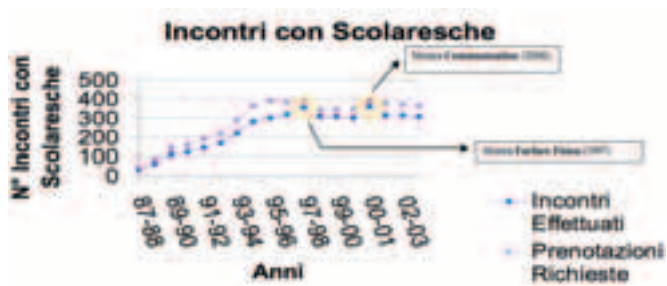
19-24 Aprile 1993: Le Radiocomunicazioni a Bologna

18-24 Aprile 1994: Scienza Tecnologia Didattica al Museo di Fisica,

21 Aprile 1994: Incontro con i Docenti della Scuola dell'Obbligo - Illustrazione delle Potenzialità Didattico Sperimentali del Museo di Fisica

17-23 Marzo 1997: Modelli Didattici e Iper testo del Museo

23-29 Marzo 1998: Immagini della Scienza e della Tecnica, ...



## Iniziative: Mostre

Il Museo di Fisica ha organizzato numerosi Convegni. Tra questi ricordiamo i più significativi:

Una Realtà straordinaria: Il Patrimonio storico-scientifico italiano, 10-11 Marzo 1990, Bologna

Eleventh International Scientific Instrument Symposium, 9-14 Settembre 1991

Il Museo di Fisica ha organizzato direttamente diverse Mostre ed Esposizioni ed ha collaborato attivamente per la realizzazione di altre. Iniziative del Museo:

Immagini, Bologna La Dotta,

Università di Bologna, 28

Settembre - 20 Ottobre 1989

Progetto Tecnoscienza, Chiesa di

S. Apollinare, San Giovanni in Per-



siceto (Bo), 25 - 31 marzo 1996.

Modelli didattici e ipertesto del Museo,  
Bologna, Dipartimento di Fisica - SMA, 22  
Marzo 1997

Farfare Fisica, Esperimenti in corso "...si prega  
di disturbare", San Giovanni in Persiceto (Bo),  
22 Novembre - 5 Dicembre 1997

Immagini della scienza e della tecnica - Da  
Augusto Righi alle tecniche più avanzate,  
Bologna, Dipartimento di Fisica - SMA, 28  
Marzo 1998

La luce: riflettere per osservare, Tecnoscienza,  
San Giovanni in Persiceto (Bo), 22-28 Marzo  
1999

Communication, Mostra interattiva sulla storia  
e sulle tecnologie della comunicazione,  
Palazzo Re Enzo e Palazzo Podestà, Bologna,  
31 Agosto - 5 novembre 2000

Il Museo di Fisica ha offerto, inoltre, numerose  
Collaborazioni per varie Esposizioni:

Scienza e Magia, Palazzo Re Enzo, Bologna, 1991

Fotografi e fotografia, Bologna 1839-1900, Museo Civico Archeologico, Bologna, 25 Gennaio - 1 Marzo 1992

Onde: suggestioni di un'invenzione, Centro San Domenico, Bologna, 19-23 Ottobre 1994

Radio. Da Marconi alla musica delle stelle, Expo - Palazzo Re Enzo, Salone del Podestà, 9 Aprile - 4 Giugno 1995  
"999". Il Novecento: un secolo breve, Modena, 2 - 27 Settembre 1999

Mostra organizzata dal GIREP, Le Energie e le loro trasformazioni, Centro Science et Culture, Liegi, Settembre 1999

Il Mondo in Ordine, Rettorato, Università di Bologna, Settembre 2000

Bologna e l'Invenzione delle Acque, Bologna, Febbraio-Maggio 2001

Envisat: Occhio alla Terra!, Mostra itinerante, Biblioteca Universitaria di Bologna, 20-29 Settembre 2001

L'Antichità del Tempo, Palazzo Poggi, 2 Marzo - 30 Ottobre 2002



## Collaborazioni

Negli ultimi vent'anni il Museo di Fisica ha offerto, grazie alle competenze dei suoi Collaboratori, una serie di concreti suggerimenti per il recupero di strumenti antichi a numerose strutture istituzionali italiane:

Museo Civico Medievale, Piazza S. Agostino, Modena. Recupero e restauro delle strumentazioni antiche dell'Università Estense e Ottocentesca. Collezioni aperte al pubblico.

Liceo Scientifico "L. Ariosto", Ferrara. Recupero e restauro delle strumentazioni ottocentesche e dei primi decenni del Novecento del Liceo. Collezioni aperte al pubblico.

Museo Universitario di Urbino: Il Gabinetto di Fisica. Consulenza. Recupero, studio e restauro dei materiali dell'antico laboratorio universitario. Sede Espositiva aperta al pubblico.

Museo della Bilancia, Campogalliano (Modena).

Liceo Scientifico "L. Galvani", via Castiglione, 38, Bologna. Consulenza per il recupero, studio, restauro dei materiali dell'antico Liceo. Esposizione visitabile.

Il nostro Museo intrattiene da più di vent'anni preziose collaborazioni con il Deutsches Museum di Monaco di Baviera. Il Museo ha organizzato, tra l'altro, diversi scambi culturali con loro gruppi in visita alle strutture museali bolognesi e viceversa. Più recentemente, con Heureka, Vantaa (Helsinki).

Ottimi rapporti si mantengono anche con il Science Museum di Londra.



# Donazioni

Tra le donazioni ricevute ricordiamo:

La Collezione di apparecchi radio a transistor "E. Canedi" (1987-1988)

Donazione di materiali di Geofisica (Padre Alfani, anni 30-40) da parte del Seminario Arcivescovile di Milano (1988)

La Collezione di Valvole "G. Sinigaglia" (1991-1992)

L'Archivio "Ditta Bertagnin", settore Refrigerazione (1993-1994)

Il Fondo bibliografico marconiano "Generale P. Poli" (1994-1995)

I Materiali Scientifici elettrotecnici e elettronici (anni 40-70) "G. Degli Esposti" (1995-1996)

Donazione di materiali bibliografici e manoscritti "A. Righi", da parte della Famiglia (1998-2000)

Donazione di materiali bibliografici e manoscritti "Q. Majorana", da parte della Famiglia (2000-2001)

# Pubblicazioni

Pubblicazioni sul Museo

G. DRAGONI, La ricostruzione del Museo dell'Istituto di Fisica, in *Gli strumenti nella storia e nella filosofia della scienza*, a cura di G. TAROZZI, Istituto per i Beni Culturali, Alfa, Bologna, (1984), pp. 33-75.

G. DRAGONI, Il Museo di Fisica, in AA.VV., *I musei della Facoltà di Scienze*, Università di Bologna, Bologna, 1984, pp. 41-45.

P. FORTUZZI, *Conoscere la Fisica, Esperienza ed esperimenti*, Collana Scuola Territorio n°3, Comune di Bologna, Università, 1987.

G. DRAGONI, Un Museo: quattro secoli di fisica, in AA.VV., *I laboratori storici e i musei dell'Università di Bologna. I luoghi del conoscere*, Edizioni Amilcare Pizzi, Milano - Bologna, 1988, pp. 85-98.

G. DRAGONI, Il Museo di Fisica, in *Storia Illustrata di Bologna*, AIEP Editore, Repubblica di San Marino, 1988, 8/VII, pp. 141-160.

G. DRAGONI, Museo di Fisica, in *I Musei Universitari di Bologna*, Catalogo della Mostra "Immagini", Bologna, 1989, pp. 53-54.

P. FORTUZZI, M. GIORGI, *Le Proposte didattiche in "Scuola se..."* n° 56, Anno VIII, Dic. 1989, pp. 53-57.

G. DRAGONI (a cura di), *Instrumenta*, Grafis Edizioni, Bologna, 1991, pp. 1-286.

G. DRAGONI, Il patrimonio storico scientifico del Museo di Fisica attraverso i secoli: dal Seicento ai nostri giorni, in AA.VV., *Instrumenta*, a cura di G. DRAGONI, *Ibidem*, pp. 73-86.

G. DRAGONI, A. McCONNELL, G.L'E. TURNER (a cura di), *Proceedings of the Eleventh International Scientific Instrument Symposium*, Grafis Edizioni, Bologna, 1994, pp. 1-256.

G. DRAGONI (a cura di), *Farfare Fisica, Attività didattica al Museo di Fisica di Bologna*, CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 2000, pp.1-64.

G. DRAGONI, *Riflessioni sulla didattica museale attuale*, in *Farfare Fisica*, op. cit., pp. 3-6.

A. BUGINI, S. CAMPRINI, G. GOTTARDI, M. MANFERRARI, G.B. PORCHEDDU, *Calcolo e calcolatori: un secolo tra l'analogico e il digitale*, catalogo della mostra "1900-99 Frammenti di un secolo breve", Modena (2-27 Settembre 1999), Amilcare Pizzi, Cinisello Balsamo (MI), 2000, pp. 52-61.

A. BUGINI, S. CAMPRINI, *Catalogo Didattico "Communication"*, CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma 2000, pp. 1-48.

*Quaderni della settimana della Cultura Scientifica, Scienza Spazioaperto*, MURST, Presidenza del Consiglio dei Ministri (1991 p. 17; 1992 pp. 56-57; 1993 pp. 52-53; 1994 p. 94; 1995.....)

## Sitografia

<http://www.ecsite.net>  
<http://www.exploratorium.edu>  
<http://www.deutsches-museum.de>  
<http://www.nmsi.ac.uk>  
<http://www.palais-decouverte.fr>  
<http://www.imss.fi.it/indice.html>  
<http://www.museoscienza.org>  
<http://www.lis.trieste.it>  
<http://www.cittadellascienza.it>  
<http://heureka.science.museum/>  
<http://www.ibr.regione.emilia-romagna.it/index.htm>

## Museo di Fisica

<http://www.df.unibo.it/museo/welcome.htm>  
<http://www.unibo.it/musei-universitari/fisica/fisica.htm>  
<http://www.museionline.it>