

UNA LEZIONE DI GALILEO FERRARIS SUI RAGGI X*

ALESSANDRA FERRARESI

Dipartimento Storico Geografico

Università di Pavia

GIUSEPPE GIULIANI

Dipartimento di Fisica 'Alessandro Volta'

Università di Pavia

RIASSUNTO — Verso la fine del febbraio 1896, Galileo Ferraris tenne – all'interno del corso di Elettrotecnica – una lezione sulla recente scoperta dei raggi X. Possiamo oggi risalire ai contenuti di questa lezione attraverso la trascrizione effettuata da Gian Battista Lanciari ed il resoconto apparso su «La Stampa» qualche giorno dopo. In questo lavoro, la lezione del Ferraris viene analizzata in dettaglio, dopo averla inquadrata nel contesto istituzionale, culturale e scientifico dell'epoca.

1. INTRODUZIONE

La scoperta dei raggi X, avvenuta nel novembre del 1895 e resa pubblica nei primi giorni del 1896, ha suscitato un ampio interesse non solo nella comunità scientifica ma anche presso l'opinione pubblica mondiale. Le motivazioni di questo interesse erano ovviamente diverse: più legate agli aspetti scientifici le prime, più connesse alle possibili applicazioni le seconde. Come è noto, questa scoperta è stata, cronologicamente, la prima di una serie che ha condotto, nel giro di pochi anni, a profondi mutamenti nei temi di ricerca, a innovazioni rilevanti nel quadro teorico della fisica e a cambiamenti radicali nella immagine del mondo che la fisica contribuisce a

* Alessandra Ferraresi ha curato la stesura della sezione 3.1. Giuseppe Giuliani quella delle sezioni 3.2. e 3.3. Le parti rimanenti, anche nella stesura, sono frutto di una discussione comune.

costruire. La scoperta dei raggi X fu infatti seguita da quella della radioattività (1896), dell'effetto Zeeman (1896) e dell'elettrone (1897). Questo insieme di scoperte avveniva in un contesto *apparentemente* stabile, per quanto concerne lo stato della fisica. Testimonianze diverse tendono ad accreditare una immagine del 'fisico medio' attestata sulle solide fondamenta della meccanica, della termodinamica e dell'elettromagnetismo, fiduciosa nella possibilità di dovere, da allora innanzi, apportare solo qualche modificazione marginale al quadro acquisito. Certamente la situazione era molto più problematica: e di questo avevano chiara consapevolezza le menti più critiche. Tuttavia, nessuno poteva presagire, diciamo intorno al 1895, quello che sarebbe avvenuto di lì a poco. Queste scoperte sperimentali costrinsero infatti i fisici ad una svolta radicale: concentrare la ricerca di punta sui problemi riguardanti la (o connessi alla) *struttura microscopica* della 'materia'.¹ Concetti quali quello di atomo o molecola, sino ad allora rimasti sullo sfondo, o utilizzati, all'occorrenza, solo per descrizioni qualitative, divengono, nel giro di pochi anni, oggetto di ricerca specifica, ed entrano rapidamente a far parte dell'immagine del mondo dei fisici.² Questa svolta non è stata comunque né facile, né indolore. Perché se la diffusione della concezione corpuscolare della materia non ha incontrato grossi ostacoli, la proposta di Einstein (1905) dei quanti di luce, tesa a porre in evidenza la natura corpuscolare della radiazione elettromagnetica, ha, come è stato ampiamente documentato, incontrato forti e storicamente fondate resistenze. In questo quadro, è forse opportuno sottolineare come alcune diffuse e condivise ricostruzioni storiche sembrano privilegiare altri aspetti di innovazione: l'introduzione della discontinuità legata alla costante h di Planck e quelli connessi alla teoria della relatività ristretta. Queste ricostruzioni appaiono condizionate dalla visione che i fisici hanno assunto, *a posteriori*, della loro disciplina. L'introduzione della costante di Planck e la formulazione della relatività ristretta costituiscono indubbiamente, alla luce degli sviluppi dei successivi, due momenti fondamentali: la costante di Planck entra come costante fondamentale nella formulazione

¹ D'ora innanzi, useremo il termine 'materia' nella accezione in cui veniva usata nel tardo Ottocento come distinta dalla 'radiazione'.

² Richiamiamo qui, per evitare fraintendimenti, come ben diverso e fondamentale sia stato, nel corso dell'Ottocento, il ruolo svolto da questi concetti nella evoluzione della chimica; e come, da parte dei fisici, l'attenzione rivolta agli atomi e alle molecole (spesso usati come sinonimi, in quanto riferite ad unità fondamentali di materia) sia stata essenzialmente quella della fisica statistica che, comunque, non riguardava e non riguarda gli atomi o le molecole in quanto tali.

della meccanica quantistica e tutte le teorie fisiche che descrivono fenomeni non gravitazionali debbono essere formulate in modo da soddisfare le trasformazioni di coordinate di Lorentz. Tuttavia sarebbe probabilmente errato sostenere che questi due momenti hanno influito, *allora*, sulla natura della ricerca fisica e sulla immagine del mondo come ha influito la concezione corpuscolare della materia «imposta» dalle scoperte sperimentali di fine secolo.

2. I RAGGI X IN ITALIA: LE REAZIONI

La reazione dei fisici italiani alla scoperta dei raggi X è stata vistosa. Il 25 gennaio 1896, a distanza di poche settimane dalla acquisizione della notizia della scoperta avvenuta attraverso «i giornali politici», Angelo Battelli presenta, in una riunione pubblica convocata all'Istituto di Fisica pisano, i primi risultati ottenuti con i raggi X.³ Nel corso del 1896 appaiono su «Il Nuovo Cimento», quarantuno articoli sui raggi X (di cui venticinque sono riassunti di lavori pubblicati su altre riviste). Questa produzione, anche se depurata dei riassunti, risulta superiore a quella apparsa su riviste straniere quali gli «Annalen der Physik», il «Philosophical Magazine» e il «Journal de Physique». L'entusiasmo iniziale cala però rapidamente, in Italia e altrove, come peraltro solitamente avviene in occasione di questo tipo di scoperte. In Italia, alla diminuzione quantitativa della ricerca sui raggi X si accompagna un calo qualitativo notevole, verosimilmente dovuto alla difficoltà di mantenere alto il livello della ricerca quando questa richiede ai fisici sperimentali di orientare il proprio lavoro verso le problematiche connesse alla struttura della materia, problematiche ampiamente ignorate in Italia nel tardo Ottocento.⁴

³ Battelli fu uno degli scienziati italiani a cui Röntgen spedì, il primo gennaio del 1896, una copia della sua memoria. Si veda la nota 8.

⁴ Giuliani e Marazzini hanno trattato questo argomento in: G. GIULIANI, P. MARAZZINI, *The Italian Physics Community and the Crisis of Classical Physics: New Radiations, Quanta and Relativity (1896-1925)*, «Annals of Science», LI, 1994, pp. 355-390; G. GIULIANI, *Il Nuovo Cimento - Novant'anni di fisica in Italia, 1855-1944*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996; P. MARAZZINI, *Nuove radiazioni, quanti e relatività in Italia, 1896-1925*, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996.

3. LA LEZIONE

3.1. *Dove, quando, perché*

Ferraris tenne la lezione sui raggi X alla fine del febbraio 1896 nella stessa aula (figura 1), l'«anfiteatro» del Museo industriale italiano – l'istituto che a Torino affiancava la Scuola di applicazione nella formazione degli ingegneri⁵ – dove già svolgeva il suo corso di elettrotecnica: anzi essa si configura come una lezione 'speciale' di quel corso, forse sollecitata dagli stessi allievi, certo preceduta da «numerosi importanti esperienze» che Ferraris aveva realizzato nel proprio laboratorio, «intelligentemente coadiuvato» dall'assistente Riccardo Arnò. Della lezione, conclusasi con «un battimani continuo» da parte degli ascoltatori, diede infatti ampia notizia «La Stampa» il 2 marzo di quell'anno («In una delle ultime lezioni del corso di elettrotecnica il prof. Ferraris parlò dei raggi Röntgen [...]»);⁶ non era la prima volta però che il quotidiano torinese, nella rubrica dedicata alle *Arti e Scienze*, si occupava della nuova scoperta, a partire da una nota pubblicata lunedì 3 febbraio:

Gli esperimenti delle fotografie con i cosiddetti raggi Röntgen interessano in sommo grado scienziati e profani. Venerdì sera alla R. Accademia di medicina furono presentati tre saggi di tali fotografie eseguite dall'Istituto fisico governativo di Amburgo. Due di esse riproducono la parte ossea di una mano e di un avambraccio sinistro fratturato; la terza riproduce una scatola di compassi, di cui non sono rimasti fissati che gli strumenti metallici. Presentava tali fotografie il libraio signor Rosemberg nelle cui vetrine esse sono attualmente esposte. Sappiamo che al riguardo sono stati fatti esperimenti nei nostri istituti fisici universitari ove si proseguono ricerche e prove.

Cinque giorni dopo, l'8 febbraio, l'attenzione del quotidiano è già puntata sul laboratorio di elettrotecnica del Museo industriale, dove lavora

⁵ Sulle scuole di ingegneria italiane post-unitarie rinviamo alle recenti sintesi di C.G. LACAITA, *Ingegneri e scuole politecniche nell'Italia liberale*, in *Fare gli italiani*, a cura di S. Soldani, G. Turi, Bologna, Il Mulino, 1993, pp. 213-253; A. GUAGNINI, *Academic qualifications and professional functions in the development of Italian engineering schools, 1859-1914*, in *Education, technology and industrial performance in Europe, 1850-1939*, ed. by R. Fox, A. Guagnini, Cambridge, Cambridge University Press – Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1993, pp. 171-195. Per il caso torinese cfr. anche A. FERRARESI, *Le vicende del Museo industriale italiano (1860-1880)*, «Bollettino storico bibliografico subalpino», LXXVII, 1979, pp. 431-494; A. FERRARESI, *La formazione degli ingegneri nella seconda metà dell'Ottocento. Per una ricerca sulla Scuola di applicazione e sul Museo industriale di Torino (1860-1906)*, «Nuova rivista storica», LXVII, 1983, pp. 637-656.

⁶ Si veda l'Appendice.

SCUOLA CON LABORATORIO DI ELETTROTECNICA GALILEO FERRARIS
 DEL R. MUSEO INDUSTRIALE ITALIANO IN TORINO

1867-1900

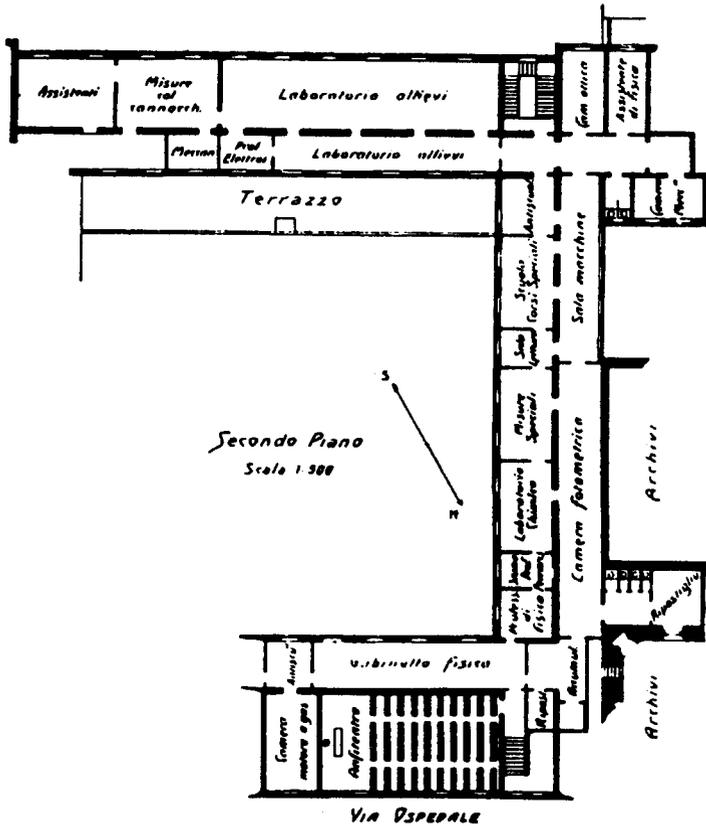


Fig. 1 – L'«anfiteatro», l'aula in cui Ferraris tenne la lezione, è visibile nella parte inferiore della pianta, tratta del volume di C. Montù citato in nota 24.

Galileo Ferraris, laboratorio che si conferma, come già era avvenuto nel caso della telefonia e della trasmissione dell'energia elettrica, una delle punte più avanzate della ricerca tecnico-scientifica italiana:⁷

⁷ Sin dagli anni Settanta, il laboratorio di fisica tecnica del Museo industriale italiano di Torino per l'attività di Giovanni Codazza, professore di fisica tecnica dal 1866, e del suo assistente Galileo Ferraris (che lo sostituirà dal 1877, divenendo ordinario per chiara fama nel 1879) è, pur nella crisi complessiva che investe il Museo nel primo ventennio di vita, un centro, tra i più avanzati in Italia, di ricerca, insieme scientifica e tecnologica. Un esempio di questa interazione è dato dagli studi teorico-

Esperienze in Torino sui raggi X di Röntgen furono eseguite in questi giorni nel laboratorio di elettrotecnica del Regio Museo Industriale dal professor Galileo Ferraris⁸ e dal suo assistente ing. Riccardo Arnò. Si ripeterono con completo successo le note fotografie. Citiamo tra le altre, parecchie di parti del corpo umano in cui risultò chiaro lo scheletro; quella di un paio di occhiali e di alcuni pesi attra-

sperimentali di acustica di Ferraris alla fine degli anni Settanta, che gli furono ispirati dalla prima linea telefonica montata a Torino, nel laboratorio, appunto, di fisica tecnica del Museo «dove convenivano numerosi i visitatori attratti dalla novità» (P.P. MORRA, *Galileo Ferraris. Commemorazione*, «Atti della Società degli ingegneri e degli industriali in Torino», 1897, p. 43), linea che egli utilizzò per la verifica sperimentale del principio di Helmholtz sulla tempera dei suoni (*Di una dimostrazione del principio di Helmholtz sulla tempera dei suoni ricavati da alcuni esperimenti fatti col telefono*, «Atti della Regia Accademia delle Scienze di Torino», XIII, 1877-78, poi in *Opere di Galileo Ferraris*, a cura della Associazione Elettrotecnica Italiana, 3 volumi, Milano, Hoepli, 1902-1904, I, pp. 81-90) e per eseguire le esperienze necessarie a determinare l'intensità della corrente necessaria a produrre nel telefono un suono percettibile (*Sull'intensità delle correnti elettriche e delle estracorrenti nel telefono*, *ibidem*, poi in *Opere di Galileo Ferraris*, cit., I, pp. 113-148). La conferenza, tenuta sempre nel 1878, *Sul telefono di Grabam Bell* alla Società degli ingegneri e industriali di Torino (poi in *Opere di Galileo Ferraris*, I, pp. 91-111), era una delle prime prove 'pubbliche' del suo 'stile' didattico, caratterizzato dal rigore scientifico del ragionamento che si accompagnava alla semplicità dell'esposizione, approccio ben presente anche l'anno successivo nelle celebri cinque conferenze sulla luce elettrica tenute al Museo, durante le quali utilizzò, per le esperienze, le diverse dinamo del laboratorio di fisica tecnica e presentò il sistema di illuminazione Jablochhoff da poco acquistato all'esposizione universale di Parigi. Dal 1879 l'interesse di Ferraris per l'elettrologia e poi per l'elettrotecnica diventa preminente e, pur nella convinzione che quest'ultima potesse svilupparsi solo su scala industriale e che dunque impianti e officine fossero essi stessi un laboratorio (del resto Ferraris eseguì le misure sul generatore secondario di Gaulard e Gibbs durante l'esposizione torinese del 1884 «nelle condizioni di un vero impianto industriale»), è indubbio il ruolo centrale che, nell'attività di ricerca di Ferraris e dei suoi collaboratori sul sistema di trasmissione dell'energia elettrica, continuò a ricoprire il Museo industriale con il laboratorio di elettrotecnica, che venne ad occupare gran parte dello spazio prima assegnato alla fisica tecnica. Sullo sviluppo dei laboratori torinesi di fisica tecnica e di elettrotecnica rinviando, anche per più precise indicazioni bibliografiche, a A. FERRARESI, *Nuove industrie, nuove discipline, nuovi laboratori: la Scuola superiore di elettrotecnica di Torino (1886-1914)*, in *Innovazione e modernizzazione in Italia fra Otto e Novecento*, a cura di E. Deleva, C.G. Lacaïta, A. Ventura, Milano, Angeli, 1995, pp. 376-494, part. pp. 410-426. Cfr. anche C.G. LACAÏTA, *Politecnici, ingegneri e industria elettrica*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia, 1, Le origini. 1882-1914*, I e II, a cura di G. Mori, Bari, Laterza, 1992, II, part. pp. 606-613; R. MAJOCCHI, *La ricerca in campo elettrotecnico*, in *ibidem*, I, part. pp. 158-166.

⁸ Non sappiamo attraverso quali vie Ferraris abbia avuto la «bellissima memoria» (così la definisce lo stesso Ferraris) del fisico tedesco, che pure il primo gennaio del '96 aveva inviato un centinaio di estratti a colleghi connazionali e stranieri, compresi alcuni italiani, come Grimaldi, Faè, Battelli, Garbasso e Roiti (cfr. G. COSMACINI, *Röntgen*, Milano, Rizzoli, 1984, pp. 157-163; 187-191). Nell'archivio privato di Galileo Ferraris, attualmente in fase di riordino, non è stato rinvenuto un carteggio tra i due, né materiale preparatorio alla lezione. È stato rintracciato solo un brevissimo appunto biografico su Röntgen, quasi 'voce' di una personale *Index notorum hominum*: «Röntgen, Professore nella università di Würzburg, già noto per pregevoli lavori in vari rami della fisica, ebbe la ventura di riconoscere e di porre in evidenza l'esistenza di radiazioni non prima conosciute lo studio ulteriore delle quali potrà forse aprire grandiosi campi di nuove ricerche». (Ringraziamo il prof. Andrea Silvestri e la dott.ssa Raffaella Gobbo, che stanno curando per la famiglia Buzzi Ferraris l'inventario delle carte dello scienziato, per aver con grande disponibilità risposto a tutte le nostre richieste di informazioni e per averci fornito copia dell'appunto.) Anche una ricerca presso il Deutsches Röntgen-Museum di Remscheid, dove è conservato un *Carteggio di italiani con Röntgen*, ha dato esiti negativi.

verso una lastra d'alluminio di 2/10 di *mm* e uno zoccolo di 3 *cm* di spessore, rimanendo nettamente distinti occhiali e peso. Il dott. Nota dell'Ospedaletto infantile portò alle esperienze un bambino con frattura dell'olocrano sinistro di difficile diagnosi, causa l'estremo gonfiore del braccio offeso. La fotografia ha reso evidente il punto preciso della frattura; è notevole che rimase impressionata dal braccio posto in involucri di legno anche la lastra posteriore del doppio *chassis*; benché separata dall'anteriore da sei fogli di stagnola, uno di cartone e due vetri, in essa esattamente si fotografò la molla metallica interna dello *chassis*. I tubi di Crookes furono fatti, crediamo per la prima volta in Italia, dalla Società per le lampade a incandescenza sistema Cruto di Alpignano (Torino). La corrente era fornita da una dinamo, intensità 5 a 6 ampere, che attraversava un enorme rocchetto di Ruhmkoff. Le negative furono sviluppate dall'ingegner E. Marchesi che coadiuvava alle esperienze: queste saranno proseguite e terremo informati i lettori di quanto potesse risultarne di nuovo e interessante.⁹

Alcuni giorni dopo, il 20 febbraio, è l'istituto di fisica dell'Università alla ribalta, puntualmente registrato il giorno successivo dal quotidiano:

Ieri il prof. Rizzo Giovanni, nell'anfiteatro di fisica della R. Università, faceva pubblici esperimenti sulla fotografia attraverso i corpi, mostrando riuscite prove fotografiche di uno scheletro di una mano, di una rana e di una moneta. Continua nello studio.

Quello stesso 21 febbraio, nella seduta dell'Accademia di medicina, presieduta da Cesare Lombroso, il dott. Nota presentava le radiografie realizzate nel laboratorio del Museo industriale. Nel resoconto della seduta, pubblicato il 25 febbraio, si legge:

Il dott. Nota presenta delle fotografie da lui ottenute col concorso del prof. Galileo Ferraris coi raggi della luce Röntgen in due casi patologici. In uno si tratta della regione del gomito sinistro di un bambino affetto da frattura dell'olocrano,

⁹ Di essere stato 'oggetto di esperimento' da parte di Ferraris viene ricordato nella propria autobiografia anche dal musicista Alfredo Casella, figlio di cari amici dello scienziato e allora tredicenne appassionato, oltre che di musica, di elettricità e chimica: «[...] Galileo Ferraris volle sperimentare su di me la nuova scoperta dei raggi Roentgen e mi fece venire un giorno nel suo laboratorio del Museo Industriale per farmi una radiografia della mano. Ricordo ancora benissimo l'impressione magica, anzi diabolica che produsse negli astanti la visione di quella immagine – confusa ancora e spettrale – ottenuta dopo venti minuti di posa». Interessante anche la successiva annotazione di Casella, testimonianza dell'informalità e familiarità di rapporti all'interno della 'scuola' di Ferraris: «Il buon Galileo approfittò di quella mia visita nel suo ambiente per presentarmi ai suoi collaboratori e discepoli, i quali cercarono dapprima di pormi in imbarazzo con insidiose domande scientifiche, e poi, vedendo che sapevo bene il fatto mio, mi improvvisarono calorose dimostrazioni di simpatia ed affetto». A. CASELLA, *I segreti della giara*, Firenze, Sansoni, 1942, p. 32, cui anche si rinvia per altri ricordi su Ferraris e il suo amore per la musica (pp. 31-33; 43-45); cfr. anche S. LESCHIUTTA, *Galileo Ferraris uomo e ricercatore*, in *Il centenario AEI e Galileo Ferraris*, a cura di A. Silvestri, Milano, AEI, 1997, pp. 57-77, part. pp. 63-64.

non facilmente accertabile nei primi giorni della lesione per la grande tumefazione dell'arto. In un secondo caso si trattava di una scheggia di porcellana penetrata nei tessuti dell'eminenza tenare della mano sinistra.

Pochi giorni dopo, infine, la lezione di Ferraris, durante la quale egli non si limita a parlare delle esperienze fatte in laboratorio insieme ad Ar-
nò, ma compie una serie di esperienze dimostrative:

Durante l'esposizione fatta dal professore vennero prese le fotografie dello scheletro della mano di un allievo del corso, e si sperimentò sopra due portamonete. La posa per la mano fu da sette a otto minuti e quella di un portamonete da 30 a 35 secondi. Abbiamo potuto vedere la lastra impressionata, riuscitissima.

Oltre al resoconto, necessariamente abbreviato, riportato da «La Stampa»,¹⁰ di questa lezione ci resta una redazione più ampia, pubblicata sotto forma di opuscolo litografato, dal titolo *Raggi X di Röntgen – Cenni del prof. Galileo Ferraris fatti agli allievi di Elettrotecnica e raccolti dal dr. G. B. Lanciai* (Fig. 2).¹¹ Ad ascoltare Ferraris erano stati i frequentatori di quella Scuola con laboratorio di elettrotecnica che, iniziata nel gennaio 1887 come corso annuale teorico-pratico di specializzazione per ingegneri presso il Museo industriale – in concomitanza con analoghe iniziative a Milano, Roma, Napoli e sul modello del prestigioso corso che si teneva dal 1883 all'Istituto Montefiore di Liegi – nel 1888 era stata riconosciuta ufficialmente dal Ministero di agricoltura, industria e commercio. Ferraris, che era stato il principale artefice dell'iniziativa, da allora dedicò sempre maggior spazio all'insegnamento dell'elettrotecnica, lasciando in secondo piano quello della fisica tecnica, di cui peraltro era docente ordinario dal 1879, mentre il corso di elettrotecnica era tenuto per incarico.¹² Nata per una specializzazione post-laurea riservata agli ingegneri, civili e industriali, la Scuola di elettrotecnica aveva progressivamente ammesso anche gli studenti di ingegneria industriale che, al terz'anno di corso, potevano

¹⁰ Il resoconto de «La Stampa» sembra quasi una sintesi della trascrizione effettuata dal Lanciai. A parte un errore concernente il valore minimo della pressione residua in un tubo di Crookes (un milionesimo di millimetro invece di un millesimo), il resoconto è scientificamente corretto e riporta tutte le notizie essenziali. Comunanze di termini e analogie nella struttura del discorso suggeriscono l'ipotesi che esso sia opera dello stesso Lanciai.

¹¹ *Raggi X di Röntgen – Cenni del prof. Galileo Ferraris fatti agli allievi di Elettrotecnica e raccolti dal dr. G.B. Lanciai*. Un esemplare dell'opuscolo è conservato nella Biblioteca nazionale di Torino sotto la segnatura M.V.E. 1207.

¹² Dopo il 1890, egli lasciò all'assistente Pietro Paolo Morra tutta la parte relativa alla tecnologia del calore del corso di fisica tecnica. Per un'analisi più dettagliata dello sviluppo della Scuola con laboratorio di elettrotecnica, comunemente nota come Scuola superiore di elettrotecnica, rinviamo, anche per la bibliografia a cui risale, al lavoro di A. FERRARESI, *Nuove industrie*, cit.

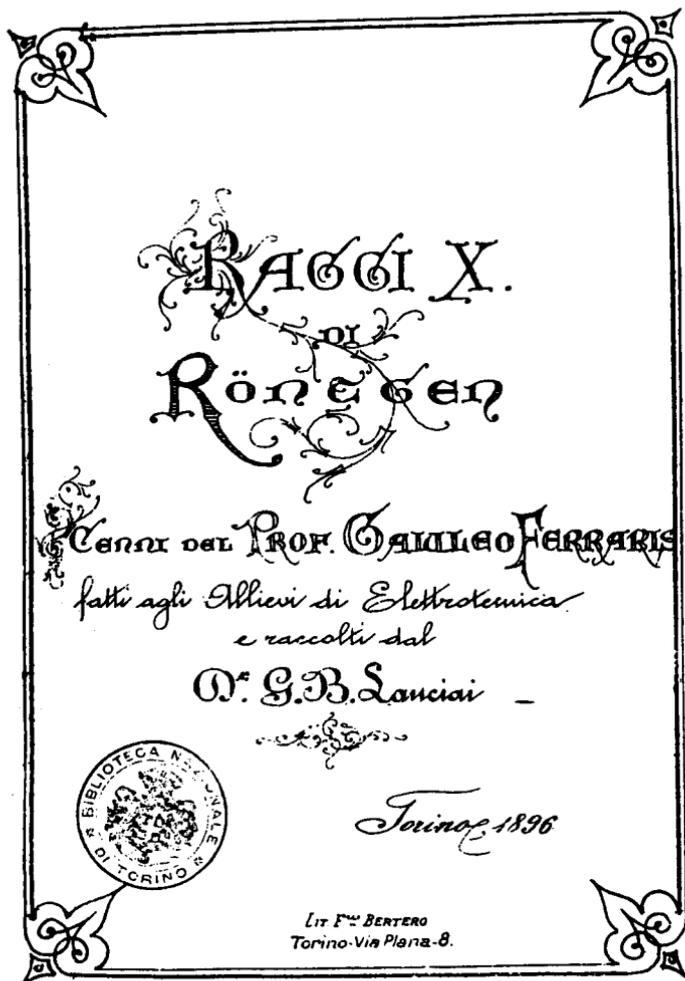


Fig. 2 - Il frontespizio dell'opuscolo del Lanciani

scegliere tra elettrotecnica o chimica industriale, gli ufficiali di Artiglieria e del Genio e quelli di Marina: dal 1887 al 1896 gli iscritti erano quasi quadruplicati: da 24 a 83, cui si aggiungevano, nel '96, 14 studenti di ingegneria industriale. L'aumento delle iscrizioni va collegato non solo alla crescita dell'interesse per il settore elettrotecnico,¹³ ma anche all'indubbio carisma

¹³ Per lo sviluppo dell'industria elettrica e del connesso settore elettrotecnico e il loro ruolo nel

di Ferraris come docente, attestatoci dalle unanimes testimonianze di colleghi e allievi,¹⁴ in relazione sia alle sue capacità didattiche e comunicative, sia ai contenuti del suo insegnamento. Essi si possono ritrovare nelle *Lezioni di elettrotecnica*, pubblicate postume dall'Associazione elettrotecnica italiana,¹⁵ negli appunti presi a lezione dagli studenti, che alcuni di loro rilegarono e conservarono, e nelle dispense litografate, anch'esse curate da studenti, che stanno ora riemergendo dalle biblioteche pubbliche e private.¹⁶ Questi materiali, confrontati con le carte di Ferraris, attualmente in fase di riordino, permetteranno di ricostruire il suo sforzo continuo, e interrotto dalla morte, per convertire in disciplina didattica – cioè accessibile, organica, ordinata – una scienza applicata, quale l'elettrotecnica, che era in continua crescita e trasformazione sia dal punto di vista concettuale sia sotto il profilo più strettamente tecnologico e che aveva i propri 'laboratori' non tanto nelle scuole quanto nelle industrie, negli impianti, nelle centrali.¹⁷ Tale lavoro didattico doveva accoppiare il massimo rigore concettuale – nel definire, su basi maxwelliane, la «natura intima dei fenomeni» elettromagnetici – alla «forma strettamente matematica di ragionamento che meglio conviene all'ingegnere»¹⁸ (venuta a definirsi, nel corso degli anni, nella *Teoria geometrica dei campi vettoriali come introduzione allo stu-*

processo di industrializzazione italiano rinviamo al volume collettivo *Storia dell'industria elettrica in Italia, 1, Le origini. 1882-1914*, cit.

¹⁴ Si vedano, a titolo esemplificativo, le testimonianze citate da L. FIRPO, *Galileo Ferraris, «Studi piemontesi»*, I, 1972, 2, p. 126.

¹⁵ Galileo Ferraris, *Lezioni di elettrotecnica, I, Fondamenti scientifici dell'Elettrotecnica*, a cura dell'AEI, Torino, Roux-Frassati, 1899.

¹⁶ Segnaliamo, tra le dispense, le *Lezioni di elettrotecnica date dal Prof. Galileo Ferraris e riasunte dall'ing. I. Verrotti*, 1894-95, le *Lezioni di elettrotecnica date dal Prof. Galileo Ferraris nell'anno 1894-95. Riassunto di alcuni allievi del 2° corso* (sono le lezioni di fisica tecnica relative alle 'applicazioni dell'elettricità' che Ferraris continuava a tenere per gli studenti del secondo anno di ingegneria civile e industriale) e *Elettrotecnica. II parte: Macchine dinamo-elettriche. Appunti fatti sulle lezioni dal prof. Galileo Ferraris per cura di G.B. Lanciati, dottore in fisica, laureando ingegnere industriale*, Torino 1895 (si tratta di un volume di un corso di elettrotecnica, in tre parti, appartenuto all'ingegnere bresciano Giuseppe Benasaglio – che si iscrisse e diplomò alla Scuola superiore di elettrotecnica nel 1895-96 – recentemente donato da un erede), depositate presso la biblioteca del Dipartimento di ingegneria elettrica dell'Università di Pavia; sono invece conservate nella biblioteca dell'INGF di Torino: *Fisica tecnica, elettricità e calore*, 1890, testo e tavole litografate; le *Lezioni di fisica tecnica [...] raccolte dall'ing. Luigi Errera*, 1883-84 (appunti); gli *Appunti delle lezioni di elettrotecnica tenute da Galileo Ferraris nel 1889-90, presi durante le lezioni dall'ing. Luigi Errera*.

¹⁷ Cfr. R. FOX, A. GUAGNINI, *Starry Eyes and Harsh Realities: Education, Research and the Electrical Engineer in Europe, 1880-1914*, «Journal of European Economic History», 23, 1994, 1, pp. 69-92; *Life in Slow Lane: Research and Electrical Engineering in Britain, France and Italy, ca 1900*, in *Technological Development and Science in Industrial Age*, ed by P. Kroes, M. Bakker («Boston Studies in the Philosophy of Science», 144), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1992, pp. 133-153.

¹⁸ I. VERROTTI, *Galileo Ferraris nella sua Scuola di elettrotecnica*, in *In onore di Galileo Ferraris*, Torino, Stamperia Reale (G.B. Paravia), 1903, pp. 101-110, part. pp. 106-107.

dio dell'elettricità, del magnetismo),¹⁹ insieme al costante aggiornamento, 'in tempo reale', della pratica elettrotecnica nei suoi diversi aspetti che egli – favorito anche dall'intensa attività di consulenza – operava di anno in anno.²⁰ Tale opera di aggiornamento ci è testimoniata sia dai cambiamenti nei programmi ufficiali dei corsi, sia dagli appunti e dalle dispense degli allievi, che circolavano nonostante Ferraris, mai soddisfatto dei risultati raggiunti e sempre alla ricerca di una maggiore semplificazione didattica, disapprovasse la loro diffusione.²¹ E, in effetti, anche nel caso di questa lezione ci troviamo di fronte ad una redazione affidata a un ascoltatore, il dott. Gian Battista Lanciai, che già l'anno precedente aveva curato un'edizione litografata del corso di *Elettrotecnica*, in tre parti, sul cui frontespizio si definiva «dottore in fisica e laureando ingegnere industriale».²² Se dall'*Annuario* dell'Università di Torino, Lanciai risulta in effetti essersi laureato in fisica nel 1889-90, «con approvazione»,²³ uno spoglio degli *An-*

¹⁹ *La Teoria geometrica dei campi vettoriali*, trovata manoscritta nelle sue carte come primo capitolo di un futuro trattato di elettrotecnica, venne pubblicata nel 1897 a cura di C. Segre nelle *Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino* e costituì poi il primo capitolo delle postume *Lezioni di elettrotecnica*; essa è riprodotta anche in *Opere di Galileo Ferraris*, cit., I, pp. 389-492.

²⁰ L'attività di consulenza, gli incarichi ufficiali, la partecipazione a commissioni, le perizie crebbero nel corso degli anni e lo resero partecipe in prima persona dello sviluppo tecnologico e della scienza ingegneristica. Un esempio può essere dato dalla sua partecipazione alla Commissione internazionale per lo studio dell'impianto elettrico a corrente alternata di Francoforte sul Meno, i cui risultati sono registrati negli appunti di Luigi Errera quello stesso anno: «A Francoforte si fecero notevoli esperienze con motori a corrente alternativa di Ganz con speciali commutatori per l'avviamento. Lavorando a 25 cavalli si trovò un rendimento prossimo all'85%. Nel constatare l'attitudine al sincronismo si trovò che con aggiunte [...] graduate si poté arrivare allo sforzo di 46 cavalli. Oltre, la macchina si fermò. L'arresto avvenne più presto caricandolo a salto. È però presumibile che i motori a corrente alternativa per gli usi domestici, piccole industrie, tram non avranno grande avvenire. Per la trasmissione di grandi forze a distanza l'avvenire è per le macchine a motore alternative, colle quali sole si può usare alti potenziali, e quindi avere buoni rendimenti» (*Appunti delle lezioni di elettrotecnica*, cit., p. 431).

²¹ Si vedano a questo proposito le testimonianze di due allievi, Luigi Lombardi ed Ettore Thovez, durante la *Commemorazione solenne di Galileo Ferraris nel XXV anniversario della sua morte*, indetta dall'Associazione elettrotecnica italiana, Torino, 7 maggio 1922, «L'Elettrotecnica», IX, 1922, pp. 516-536. Lombardi, allora professore di elettrotecnica al Politecnico di Napoli, sottolineava come «nessuno degli allievi più fidati tentò in Sua vita di riprodurne le lezioni, né egli anche ai più capaci lo avrebbe consentito [...]» (p. 530); l'ing. Thovez ricordava come «egli non volesse ancora pubblicare le sue lezioni perché non gli parevano ancora abbastanza elementari malgrado il grande sforzo di portare nella scuola, che stava creando, le teorie dei più grandi fisici» (p. 532). L'affermazione di Thovez poggiava su ciò che Ferraris gli aveva scritto rispondendo a una sua precisa domanda in tal senso: «Perché non ho ancora potuto renderle semplici come vorrei. Ho fatto questa notte una grande fatica per rendere accessibile a loro allievi certe teorie del Thomson e del Mascart, per fare la lezione di stamane».

²² Cfr. nota 16.

²³ Cfr. Regia Università degli Studi di Torino, *Annuario accademico per l'anno 1890-91*, Torino, 1891, p. 233. Lanciai si era laureato dunque con una votazione modesta; a parte la redazione delle dispense, non si sono rinvenute altre notizie su di lui.

nuari del Museo industriale rivela, però, che non solo Lanciai non si laureò mai in ingegneria industriale, ma che neppure fu iscritto al corso di laurea. Con ogni probabilità quel «laureando in ingegneria industriale» serviva a Lanciai per vendere meglio le proprie dispense, dando un crisma di ufficialità alla sua frequenza; numerose sono del resto le testimonianze di una presenza, almeno al corso orale – facilitata dallo stesso Ferraris che, scrive un suo biografo, «sorvolando talvolta su certi dettagli di regolarità d'iscrizione» accettava «chiunque purché studioso, disinteressato, curioso di seguirlo»²⁴ – di «tecnici dilettranti», come di specialisti, anche autorevoli, quali Federico Pescetto.²⁵ Il pubblico che «riempiva anche il più piccolo vano dell'anfiteatro di via Ospedale»,²⁶ pur essendo, ovviamente, selezionato dalla specificità della disciplina, aveva dunque una sua eterogeneità, cui contribuivano, del resto, anche gli iscritti «regolari», in cui si mescolavano, in proporzioni diverse, studenti di ingegneria, ingegneri civili e industriali laureati a Torino; ingegneri provenienti da altre sedi, ingegneri appena laureati, ingegneri con parecchi anni di laurea, militari.²⁷ La Scuola di elet-

²⁴ C. MONTÙ, *La Scuola con laboratorio di elettrotecnica 'Galileo Ferraris' del Regio Museo Industriale Italiano in Torino. Dati storici e statistici*, Torino, [1899], p. 11. A Torino si attuava una politica di reclutamento del tutto diversa da quella seguita all'Istituzione elettrotecnica Carlo Erba dell'Istituto tecnico superiore di Milano, che iniziò a funzionare anch'essa nel 1887, e il cui corso era riservato a non più di 12 allievi, il numero che il severo direttore dell'Istituto tecnico superiore, Francesco Brioschi, riteneva compatibile con le modeste dimensioni del laboratorio. Si veda a questo proposito la testimonianza del prof. Rinaldo Ferrini su «L'elettricista», VII, 1898, pp. 41-42, in un ricordo di Brioschi, morto nel dicembre dell'anno precedente (*Francesco Brioschi e l'Istituzione elettrotecnica Carlo Erba*): «Ai [...] corsi si ammettono non più di dodici allievi, che il direttore sceglieva personalmente tra quelli del 3° corso della sezione industriale che vi aspiravano, al principio dell'anno scolastico. Da qualche anno si ricevono anche degli ingegneri industriali, riducendo il numero degli allievi perché non vi sono altri posti disponibili».

²⁵ Ingegnere militare e futuro direttore dello Stabilimento elettrotecnico Ansaldo, Federico Pescetto si era diplomato in elettrotecnica all'Istituto Montefiore di Liegi e dal 1892 insegnava elettrotecnica alla Scuola di applicazione di artiglieria e genio di Torino. Nonostante questo, era un assiduo frequentatore delle lezioni di Ferraris, tanto che prese parte alla redazione postuma delle *Lezioni di elettrotecnica* (G.B. MAFFIOTTI, *Federico Pescetto. Cenni necrologici*, «Rivista tecnica», III, 1904, pp. 731-736).

²⁶ C. MONTÙ, *op. cit.*, p. 11.

²⁷ Nel '95-'96, gli iscritti alla Scuola di elettrotecnica erano costituiti, oltre che dai 14 studenti di ingegneria, da 69 laureati a Torino (52 in ingegneria civile e 17 in ingegneria industriale), 9 laureati in altre sedi, 5 ufficiali dell'esercito e della marina. La nettissima prevalenza di laureati a Torino (tra il 1886 e il 1906 essi sono il 75% degli iscritti) è una caratteristica della Scuola, che va d'altro canto probabilmente collegata al carattere «nazionale» che ebbe invece il reclutamento degli studenti di ingegneria a Torino, dove la Scuola di applicazione, che operava come si è detto in collaborazione col Museo industriale, era la più frequentata d'Italia, sia per la sezione di ingegneria «civile», sia per quella (dal 1879) industriale. È un'ipotesi plausibile che l'incremento di iscritti ai corsi di ingegneria negli anni Novanta sia dovuto alla presenza della scuola di elettrotecnica, un elemento in più, per studenti che si dovevano comunque muovere da casa, per scegliere Torino rispetto ad un'altra sede. Cfr. per i dati sulle iscrizioni e per un primo commento (che va però ulteriormente approfondito e articolato), A. FERRARESI, *Nuove industrie*, cit., pp. 397-400, 490-492; C. MONTÙ, *op. cit.*, p. 11.

trotecnica negli anni di Ferraris (e ancora in quelli immediatamente successivi alla sua morte, in cui il corso venne tenuto dall'assistente Riccardo Arnò)²⁸ si configura infatti come luogo di formazione per gli studenti e di specializzazione per ingegneri neolaureati, ma anche come centro di aggiornamento per ingegneri già inseriti, anche da parecchi anni, nel mondo del lavoro, che sentivano l'esigenza o la curiosità di conoscere un settore tecnologico nuovo, non solo per avere nuove opportunità, ma anche per le sue caratteristiche di supporto e di collegamento con altri comparti della pratica ingegneristica.²⁹ Questa è una delle spiegazioni del numero relativamente basso di diplomati rispetto agli iscritti, che non supera complessivamente il 40% (proprio nel '95-96 ci fu una delle punte più alte, con il 48% di diplomati);³⁰ per molti un diploma in elettrotecnica non era necessario in una carriera già avviata, mentre era importante essere iscritti non solo per ascoltare le lezioni di Ferraris, ma per partecipare alle esercitazioni di laboratorio. Esso era probabilmente il più attrezzato in Italia quanto a dotazione strumentale e a possibilità sperimentali, pur essendo assai infelice quanto a condizioni logistiche: un problema, quello degli spazi, scarsi e inadeguati, comune a tutto il Museo industriale, all'origine un convento, ma particolarmente evidente per la Scuola di elettrotecnica. Essa aveva trovato

²⁸ Morto Ferraris nel febbraio del '97, Arnò concluse l'anno scolastico 1896-97 e tenne il corso per incarico l'anno successivo, per poi lasciare Torino, chiamato all'Istituto tecnico di Milano da Giuseppe Colombo, quando il concorso di ordinario per la cattedra di elettrotecnica al Museo industriale (la prima istituita in Italia) fu vinto da Guido Grassi, professore di fisica tecnica alla Scuola di applicazione per gli ingegneri di Napoli. Cfr., per notizie su Arnò e per la vicenda del concorso, A. FERRARESI, *Nuove industrie*, cit., pp. 431-449; per il periodo 'milanese' di Arnò anche P. REGOLIOSI, A. SILVESTRI, *L'Istituzione elettrotecnica Carlo Erba*, in *Il Politecnico di Milano nella storia italiana (1914-1963)*, a cura di E. Deceva, Milano-Bari, Cariplo-Laterza, 1988, pp. 433 ss.

²⁹ Ad esempio, proprio nel '96 tra gli iscritti alla scuola c'erano Carlo Carletti che si era laureato a Torino nel 1873 ed era un ingegnere del Genio civile, dove continuò ad operare (Carletti avrebbe anche preso il diploma l'anno successivo), e Leopoldo Nobili, laureato in ingegneria civile nel 1875, ingegnere ferroviario e poi industriale meccanico. Altri cinque iscritti si erano laureati negli anni Ottanta, tra cui Diofebo Negrotti, laureato nell'85, che frequentò la Scuola per due anni di seguito, diplomandosi nel '97, e fece carriera negli uffici tecnici municipali, e Enrico Borgesa, laureato nel 1886 e libero professionista. Questa particolare fisionomia della Scuola, più evidente nei primi anni, era destinata a sfumare nel tempo e può dirsi esaurita agli inizi del secolo. Nel 1904, quando la Scuola di elettrotecnica, che aveva raggiunto l'apice delle iscrizioni nel 1898-99 con 128 allievi, era avviata lungo una parabola discendente, il direttore G.B. Maffiotti individuava nel calo degli iscritti il «progressivo esaurimento delle schiere dei vecchi ingegneri che si laurearono quando l'elettrotecnica non esisteva ancora ed ora sentono il bisogno d'istruirsi in questo nuovo ramo d'ingegneria»: di fatto le motivazioni del fenomeno erano più complesse, ma era una realtà che l'utenza della Scuola fosse ormai quasi esclusivamente costituita da giovani neolaureati. Cfr., per la citazione di Maffiotti, la *Relazione del direttore sull'andamento didattico del Regio Museo industriale italiano nell'anno scolastico 1903-1904*, in *Annuario per l'anno scolastico 1904-05 del Regio Museo industriale italiano in Torino*, Torino, 1905, p. 288.

³⁰ Tra il 1886 e il 1906 gli iscritti furono complessivamente 1205 con 486 diplomati.

posto semplicemente sottraendo spazi ad altre discipline o recuperandoli in modo più o meno fortunoso, utilizzando corridoi o coprendo terrazzi, come si fece proprio per ottenere un nuovo laboratorio per gli studenti: una situazione che, accrescendosi il numero degli allievi, si rifletteva sull'organizzazione della didattica, con una possibilità di accesso alle esercitazioni di laboratorio limitata a due volte alla settimana per ciascuno studente.³¹

Ma tornando alla nostra lezione, prima di analizzarne il contenuto, va sottolineato come essa – evidentemente inserita nel normale corso di elettrotecnica come lezione ‘straordinaria’ – sia il segno di quella ‘tensione’ che Ferraris viveva sia come ricercatore sia come docente, in grado di muoversi su piani diversi, quello della scienza ‘pura’ e quello della scienza ‘applicata’ o, meglio, della scienza ingegneristica e teso appunto a trasmettere anche agli allievi la stessa elasticità. Nel necrologio pubblicato su una delle principali riviste tecniche italiane, «L'industria» (espressione della migliore imprenditoria milanese), l'anonimo estensore così ricorda una conversazione da lui avuta con Ferraris:

Come indirizzare – diceva egli – i giovani meglio dotati alla comprensione dei più importanti lavori di fisica matematica, ai quali l'insegnamento universitario non indirizza sufficientemente e nello stesso tempo metterli in grado di scoprire un difetto di avvolgimento in una bobina o di vincere una piccola difficoltà che si presenti nell'applicazione dell'indicatore a una motrice? E quanto è difficile soggiungeva – se non le parole ricordiamo certo il concetto – impartire un insegnamento che permetta ad alcuni pochi eletti di prepararsi alla lettura di Maxwell e di Hertz e nello stesso tempo non perda mai di vista quella connessione fra le quantità fisiche e le formule destinate a rappresentarle; connessione senza la quale l'insegnamento non lascia traccia durevole nella mente della gran maggioranza dei giovani che lo seguono.³²

Certamente in questa lezione non mancarono gli accenni all'«utilità pratica» in relazione alle applicazioni dei raggi X in campo medico e inge-

³¹ Proprio nell'ottobre 1896, di fronte alla crescita delle iscrizioni, il direttore del Museo industriale Giacinto Berruti si era premurato di «far conoscere preventivamente agli allievi che il numero dei posti per le esercitazioni pratiche è limitato» e dal 1897 al 1903 gli studenti di ingegneria poterono frequentare solo il corso orale (cfr. A. FERRARESI, *Nuove industrie*, cit., pp. 428 e 442). Sotto questo profilo assai svantaggioso era il confronto con l'Istituto Montefiore di Liegi, dove gli allievi potevano lavorare in laboratorio anche 5-6 ore al giorno e che rimase sempre per gli ingegneri italiani un punto di riferimento costante per quanti volessero specializzarsi in elettrotecnica, anche dopo che la Scuola di elettrotecnica torinese ebbe, a cavallo del secolo, nuovi e più ampi spazi, quando il Museo industriale venne ampliato e ristrutturato secondo un progetto peraltro assai discusso perché, lasciando il Museo nel centro della città, ne condizionava l'attuale e i futuri ampliamenti (*ibidem*, pp. 442-445).

³² *Necrologio. Galileo Ferraris*, «L'Industria. Rivista tecnica», 1897, p. 111.

gneristico,³³ ma nell'approccio di Ferraris prevalsero la dimensione speculativa, tesa alla comprensione del fenomeno e, più in generale, della realtà.

3.2. *La struttura della lezione*

La lezione si presenta come uno scritto non suddiviso in sezioni; è tuttavia facile individuare in essa la seguente struttura:

1. Premessa
2. La scarica elettrica nei gas rarefatti
3. I raggi catodici: scoperta e proprietà
4. Riflessione sulla natura dei raggi catodici
5. I raggi X: scoperta e proprietà
6. Riflessione sulla natura dei raggi X
7. Riflessione sul mutamento dei concetti della fisica.

3.3. *I contenuti della lezione*

La «premessa» consiste nell'avvisare il lettore che:

Quel che si può dire a tale riguardo è poco, poiché si tratta di un fenomeno assolutamente nuovo, per il quale non si può fare alcuna teoria; si possono fare soltanto delle induzioni, che però finora non hanno sufficiente fondamento sperimentale.³⁴

Vengono quindi richiamati i fenomeni luminosi che caratterizzano la scarica elettrica nei gas rarefatti; in particolare, si ricorda che, a pressioni sufficientemente basse, la corrente attraversa il tubo solo in una direzione perché la differenza di potenziale prodotta ai capi della bobina secondaria del rocchetto di Rümckorf, è molto più elevata quando si interrompe il circuito primario: in queste condizioni, un elettrodo funziona stabilmente come catodo e l'altro come anodo. Si richiama quindi che:

Quando il vuoto è ben fatto, ossia quando la pressione del gaz non è superiore a qualche millesimo di millimetro, allora si presenta il fenomeno che il gaz che rimane nell'interno del palloncino manda poco o punto luce; la massima parte

³³ Il resoconto de «La Stampa» riporta che Ferraris aveva fatto riferimento anche agli ingegneri che «forse in avvenire potranno servirsi di questa scoperta per riconoscere la costituzione interna o le impurità dei metalli e condizionarne l'acquisto ad un preventivo assaggio delle lastre metalliche per mezzo delle fotografie con i raggi X».

³⁴ Vedi nota 11.

della luce che si osserva è quasi esclusivamente mandata dal vetro che diventa fluorescente, e questo splende con luce giallognola, verdognola od azzurrognola a seconda della composizione del vetro; si osserva inoltre che non tutta la superficie del vetro è egualmente luminosa, ma che la fluorescenza si fa specialmente notare sulla parete del palloncino di vetro che sta opposta al catodo, cioè a quel pezzo metallico attraverso il quale la corrente esce dal gaz, cioè l'elettrodo negativo che è in comunicazione col polo negativo.

Le indagini classiche [...] hanno messo in evidenza che la fluorescenza del vetro è dovuta ad una radiazione speciale che parte dal catodo: dal catodo partono raggi speciali i quali si propagano attraverso al tubo, attraverso al gaz rarefatto in linea retta e vengono a colpire la porzione opposta del vetro là dove i raggi colpiscono il vetro: il vetro diventa fluorescente, e siccome i raggi accennati emanano dal catodo, si dicono *raggi catodici*; essi non sono raggi di luce.³⁵

Le proprietà dei raggi catodici vengono così riassunte:

1. vengono emessi dal catodo in direzione normale alla sua superficie;
2. vengono deviati da una calamita, «come si sposterebbe una corrente elettrica che partisse dal catodo»;
3. si propagano in linea retta;
4. producono luminescenza nel vetro;
5. producono effetti meccanici (pongono in rotazione un mulinello).

Tutti questi fatti hanno condotto alcuni dei primi sperimentatori di questa materia, e specialmente il Crookes, a fare una ipotesi sulla natura dei raggi catodici; egli emise l'idea che i raggi catodici siano semplicemente le traiettorie di particelle lanciate dal catodo; [...] l'idea che i raggi catodici siano dovuti ad una corrente di materia è poggiata specialmente sopra gli effetti meccanici che essi producono [...].³⁶

Dai raggi catodici ai raggi X:

Quasi tutti i corpi sono opachi per i raggi catodici; tuttavia *uno sperimentatore al quale spetta una gran parte del merito della odierna scoperta*³⁷ e che si occupò a lungo dei raggi catodici, un certo Lenard, riuscì a far uscire i raggi catodici dal palloncino con questo artificio; [...] egli trovò che essi anche all'esterno hanno proprietà simili a quelle nell'interno, per esempio quella di essere deviati da una calamita e trovò che essi vengono assorbiti dall'aria con una grandissima ra-

³⁵ *Ibidem*, p. 5-6.

³⁶ *Ibidem*, p. 9.

³⁷ Corsivo nostro.

pidità. Egli poté vedere solo a distanza di qualche centimetro, e per osservare a distanza maggiore fu obbligato a rarefare l'aria dell'ambiente. Mostriamo di passaggio che per le proprietà che il Lenard scoprì nei raggi catodici fatti uscire col l'artificio della finestra di alluminio vi era questo di notevole, di eccitare la fluorescenza nei corpi fluorescenti, di produrre e provocare quei fenomeni chimici che la luce provoca sulle lastre fotografiche, ed allora il Lenard fece effettivamente delle fotografie per mezzo dei raggi catodici; egli notò ancora che di tali fotografie si potevano fare facendo passare questi raggi catodici attraverso sostanze che per la luce ordinaria sono opachi, come l'alluminio; egli fotografò in questo modo ombre di oggetti chiuse in scatole di alluminio.

Fra gli sperimentatori che da qualche tempo si occupavano dei raggi catodici vi era il Professore Röntgen di Würzburg al quale fu dato di fare una scoperta «imprevista» e di cui l'importanza potrebbe essere grandissima [...].³⁸

Si noti come venga attribuito «gran parte del merito» della scoperta a Lenard. Questa asserzione richiede qualche precisazione. La scoperta di Röntgen avvenne in un contesto caratterizzato dal fatto che Röntgen stava effettuando esperimenti con un apparato simile a quello di Lenard, ma con una differenza fondamentale: l'involucro metallico con cui Lenard aveva schermato nei suoi esperimenti il tubo a raggi catodici, era stato sostituito da Röntgen con uno schermo di cartone. Fu questa differenza a permettere a Röntgen la scoperta, *casuale*, dei raggi X: la sostituzione dello schermo metallico con quello di cartone, non era infatti motivata da alcuna ragione di carattere fisico; probabilmente Röntgen lo fece per convenienza pratica.

Secondo Ferraris, queste sono le caratteristiche principali dei raggi X:

- 1) si propagano nell'aria anche per qualche metro, mentre i raggi catodici percorrono solo qualche centimetro;
- 2) non sono deviati dalla calamita, mentre i raggi catodici lo sono;
- 3) non sono rifratti* e non subiscono riflessioni speculari*;
- 4) Passano attraverso materiali diversi: carta, legno, cautchouc, ebanite...; i materiali più opachi sono i metalli e fra questi, quelli più opachi sono i più densi*;
- 5) eccitano fluorescenza;
- 6) producono gli effetti chimici prodotti dalla luce sulle lastre fotografiche.³⁹

³⁸ *Ibidem*, p. 10-11; corsivi nostri.

³⁹ Abbiamo segnato con un asterisco le osservazioni sperimentali che sono state successivamente spiegate (le prime due) o corrette (l'ultima).

Le ragioni per cui i raggi X non possono essere raggi catodici (o, se sono tali, sono di «altra qualità»):

- attraversano grossi strati di aria;
- non sono deviati da calamite.

Le ragioni per cui i raggi X non possono essere 'raggi di luce':

- non vengono rifratti;
- non vengono riflessi specularmente.

Le ragioni per cui i raggi X non possono essere 'radiazioni elettriche':

- i raggi X passano attraverso alcuni metalli, mentre le radiazioni elettriche vengono assorbite da tutti i metalli;
- la trasparenza dei materiali ai raggi X sembra associata al loro peso atomico (densità) e non alla loro conducibilità elettrica (come accade per le 'radiazioni elettriche').

Si noti come Ferraris distingue nella discussione la luce dalle radiazioni elettriche. Tale distinzione serve unicamente a mostrare come i raggi X si differenzino dai varî tipi di radiazione elettromagnetica allora conosciuti: la luce, ordinariamente intesa, e le onde scoperte da Hertz. È inoltre interessante notare come Ferraris sottolinei con forza che la trasparenza di molti materiali ai raggi X non possa costituire, per lo scienziato, motivo di sorpresa. Infatti:

Che la radiazione passi attraverso a corpi che per la luce sono opachi non è un carattere né che debba recare sorpresa, né che basti a farci dire che si tratti di radiazioni diverse dalla luce; già le radiazioni luminose percettibili coll'occhio passano in misura diversa attraverso a diversi corpi, perché ci sono corpi opachi per alcune luci e trasparenti per altre. Se poi si pensi alle radiazioni elettriche del Hertz, che fisicamente non sono che radiazioni luminose le quali hanno lunghezza d'onda molto più grande, e si pensi che esse passano, con minimo assorbimento attraverso i muri, attraverso l'ebanite ecc., non deve recar sorpresa che queste radiazioni passino attraverso i suddetti corpi. *Ma quello che c'è di nuovo è che fra i corpi mediocrementemente trasparenti vi è anche qualche metallo.*⁴⁰

E più avanti:

Fra i corpi trasparenti o quasi trasparenti per i raggi X, vi hanno i tessuti molli del nostro organismo, e fra i corpi quasi opachi vi hanno invece le ossa. Questo è un fatto che il Röntgen scoprì quando, dopo di avere sperimentato tutte le sostanze di cui disponeva pensò di frapperre le sue mani fra la lampada e lo schermo. *Questo per i fisici non è un fatto che interessi di più, ma è il fatto*

⁴⁰ *Ibidem*, p. 15; corsivo nostro.

che rese più popolari le esperienze del Röntgen poiché si può fare la fotografia dello scheletro.⁴¹

Le possibili spiegazioni.

Il Röntgen dice: se questi raggi che producono gli effetti descritti non sono né raggi luminosi né raggi catodici, né radiazioni elettriche, che cosa sono? Il Röntgen rispose col nome che diede ai raggi medesimi, ma non poté evitare di dichiarare un suo sentimento, una sua *idea fissa*, ed egli allora dichiarò nella bellissima memoria con cui ci espose sommariamente i primi fatti da lui osservati: «La teoria non esclude che oltre alle vibrazioni trasversali che costituiscono la luce ed il calore e le radiazioni elettriche si possano propagare nell'etere anche le vibrazioni longitudinali». Le equazioni del Maxwell non danno, né indicano la esistenza di vibrazioni longitudinali, ma tali equazioni sono semplicemente la sintesi dei fatti riguardanti la elettricità ed il magnetismo; ci restituiscono queste equazioni quello che abbiamo detto adesso compendiando tutto ciò che la teoria e la pratica ci hanno detto; ma se ci sono altri fenomeni di cui non abbiamo tenuto conto nello scrivere le equazioni, questi non possono essere previsti dalla teoria: non è assurdo pensare che nell'avvenire si abbiano a scrivere delle equazioni più importanti di quelle di Maxwell e di Hertz e che comprendano queste ultime come caso particolare. Non solo è possibile che ci siano delle radiazioni longitudinali nell'etere, ma è anche verosimile: soddisfa alla mente pensare che l'etere trasmetta una grande quantità di materie diverse, ma soddisfa di più pensare alla possibilità di radiazioni longitudinali di quello che soddisfi la impossibilità assoluta che non si può assicurare.⁴²

Ricorda che in Germania vi è

una corrente decisamente favorevole al pensiero della esistenza di vibrazioni longitudinali che si propagano nell'etere, ed è tanto vero che gli autori tedeschi quasi tutti si trovano d'accordo nel ritenere che i raggi catodici stessi che, veduti così a prima vista si presentano come un flusso di materia e presentano tanti fenomeni che ci fanno dire che c'è qualche cosa di lanciato, siano invece semplicemente una trasmissione di una condizione oscillatoria che si propaga nell'etere e probabilmente una condizione oscillatoria longitudinale. È naturale che in Germania dove si pensa così dei raggi catodici, si pensi così anche dei raggi X che nascono là dove terminano i raggi catodici. Altri però inclinano a pensare che i raggi X siano una qualche cosa di analogo a ciò che il Crookes pensava essere i raggi catodici, come dovuti non ad un moto vibratorio, ma ad un flusso di qualche materia lanciata;

⁴¹ *Ibidem*, p. 18; corsivi nostri.

⁴² *Ibidem*, p. 19-20; corsivo nostro.

che cosa poi sia questa materia non si sa. *Sono così pochi i fatti sperimentali e così poche le misure quantitative, che siamo troppo lontani dal poter fare una ipotesi. Semplicemente si possono esporre queste idee come quelle che si dovranno discutere ed aspettare che la decisione venga, e la vittoria si pronuncerà per le une o per le altre; stiamo ad aspettare lo sviluppo qualitativo della scoperta.*⁴³

Ferraris sostiene che se si scoprisse che i raggi X sono «un flusso di materia» ci troveremmo di fronte ad «un fatto nuovo, lo studio del quale darà luogo forse ad un capitolo nuovo di scienza, ma non sarà questo il caso in cui l'importanza della scoperta sarà massima; invece *l'importanza della scoperta sarà enorme se l'esperienza dimostrerà che si tratterà di una vibrazione longitudinale [...]*».⁴⁴ Perché, in quest'ultimo caso:

- probabilmente l'attuale modo di produzione dei raggi X non sarà l'unico né il migliore;
- «molto probabilmente queste radiazioni esistono nello spazio ed hanno una parte nei fenomeni della natura fin d'ora importante».⁴⁵

Inoltre:

Se è vero che l'etere può trasmettere vibrazioni longitudinali, ce le trasmette; quei centri d'energia che emettono le diverse energie probabilmente emetteranno anche questa forma di energia insieme alle altre; e se questo fosse vero, se questo non fosse un sogno, le radiazioni longitudinali potrebbero avere nella natura la stessa importanza che hanno le radiazioni trasversali come trasversali sono quelle della luce e del calore e sono quelle a cui si devono tutti i fenomeni naturali conosciuti. L'energia che studiamo è quasi tutta energia che ci arriva dal sole sotto forma di calore e luce; potrebbe darsi che ci fosse un'altra forma di energia incognita, come sarebbe incognita, ad esempio l'energia della luce se tutti gli uomini fossero privi di occhi; potrebbe darsi che questa energia ci sia incognita perché ci manca un organo per concepirla.

Si avrebbe allora il principio di una nuova scienza e si potrebbe attendere spiegazioni di fenomeni importanti della natura, come la gravitazione universale ed altri.⁴⁶

Nella parte finale della lezione Ferraris inquadra l'ipotesi delle onde elettromagnetiche longitudinali nel processo di mutamento dei concetti usati nella fisica. Questi concetti nascono «semplici, ristretti, di contorno

⁴³ *Ibidem*, p. 20-21; corsivo nostro.

⁴⁴ *Ibidem*, p. 22; corsivo nostro.

⁴⁵ *Ibidem*, p. 22.

⁴⁶ *Ibidem*, p. 22-23.

ben netto»; con il progredire della scienza essi «si allargano tanto che non si vedono più, ed ognuno si domanda se i concetti esistono ancora; e questo avviene ai nostri giorni». ⁴⁷ Per chiarire il suo pensiero, Ferraris riflette sul mutamento dei concetti di materia e di luce. Sulla materia:

Adesso se noi volessimo parlare di materia nel modo antico, tangibile ai nostri sensi, noi non troveremmo una materia di esistenza sicura, ma siamo portati ad ammettere che in questa materia esistano le forze ed in questa materia si trasmetta l'energia. Le energie che si trasmettono nell'universo, anche quelle che si trasmettono per opera nostra, si trasmettono attraverso l'etere. Se per trasmettere della energia elettrica da *A* a *B* adoperiamo dei fili, questo facciamo semplicemente per guidarla, ma ciò che trasmette è l'etere; i metalli negli impianti fanno semplicemente l'ufficio di corpi cedevoli, di corpi molli, occupano porzioni dello spazio che a noi interessano perché sono porzioni di spazio in cui non possono trasmettersi forze magnetiche ed elettriche. ⁴⁸

Sulla luce:

[...] la luce era una volta ciò che impressionava l'occhio, ma i fisici da molto tempo hanno scoperto che ci sono molte qualità di luce fra quelle che impressionano l'occhio, e queste si distinguono per le diverse rifrangibilità, e poi scoprirono che alcuni effetti della luce e precisamente gli effetti chimici, fotografici si ottengono anche con radiazioni che non sono comprese nello spettro luminoso, specialmente nella parte del violetto, e quindi è fuori dello spettro visibile la massima azione chimica; adunque ci sono delle radiazioni che hanno le stesse proprietà delle radiazioni luminose, ma che non impressionano il nostro occhio; non abbiamo potuto negare a queste radiazioni il nome di luce, benché non siano sensibili; anche dalla parte del rosso dello spettro, al di là della parte visibile si possono ottenere degli effetti termici ed anche chimici se si adoperano corpi di materia conveniente; lo spettro adunque anche oltre al rosso si prolunga più di quello che si prolunga lo spettro visibile; e siccome anche qui si tratta di vibrazioni della stessa natura della luce, si dà il nome di luce anche se non è sensibile all'occhio: ma questo concetto di luce si allargò enormemente più in questi ultimi anni, dopo che l'Hertz ebbe studiato la propagazione delle vibrazioni elettriche nello spazio: egli verificò

⁴⁷ *Ibidem*, p. 23.

⁴⁸ *Ibidem*, p. 23-24. Riemerge qui un tema centrale nella ontologia del Ferraris: l'etere ed il suo ruolo nella trasmissione dell'energia. I concetti e le parole sono molto simili a quelli già usati dal Ferraris nella conferenza, tenuta all'Accademia dei Lincei il 3 giugno 1894: «Il filo non è un canale dentro il quale l'energia fluisca; è una rotaia lungo la quale l'energia scorre esternamente e nella quale una parte di questa energia si dissipa come calore. Il metallo del filo non è il materiale attivo del meccanismo trasmittente; è invece un materiale passivo, che nel funzionamento di tale meccanismo interviene con la sua cedevolezza» (G. FERRARIS, *Sulla trasmissione elettrica dell'energia*, in *Opere di Galileo Ferraris*, cit., II, pp. 445-469: p. 462).

che le vibrazioni elettriche si trasmettono colla stessa velocità e che sono della natura delle vibrazioni luminose, ma con lunghezza d'onda molto più grande di quelle con cui si è abituati a sperimentare per la luce; ed invero, la lunghezza d'onda delle vibrazioni luminose è compresa fra 4 e 7 milionesimi di metro⁴⁹ e quella delle vibrazioni elettriche è compresa fra qualche centimetro e qualche metro. Ed ecco così che il concetto di luce è venuto allargandosi sempre più fino a non avere a che fare coi concetti antichi. Ed adesso noi troviamo altre radiazioni che si trasmettono con altre leggi, ma nel medesimo veicolo molto probabilmente.

Forse uno studio ulteriore ci indicherà un legame colle radiazioni luminose ed elettriche tale da formare una categoria di fenomeni unici. Avremo allora altra luce dovuta a radiazioni longitudinali, ed il concetto di luce sarà molto più allargato di quello che sia adesso; è questa la tendenza naturale della scienza.⁵⁰

4. CONCLUSIONI

La lettura di documenti di questo tipo pone una serie di questioni. Quella principale è ovviamente connessa alla possibilità di stabilire quanto del pensiero di Ferraris è stato effettivamente riflesso nella trascrizione del Lanciai. In assenza di riscontri specifici, possiamo solo fare riferimento al contesto di conoscenze disponibili quando la lezione fu svolta e agli scritti di Ferraris. Per quanto riguarda il contesto delle conoscenze disponibili, dobbiamo osservare che la trascrizione del Lanciai è – a parte la già segnalata imprecisione sulle lunghezze d'onda della luce visibile (si veda la nota 49) – precisa e puntuale ad eccezione di un passo, riguardante la luminescenza prodotta dai raggi catodici sul vetro del tubo di Crookes, che recita:

[...] se dopo avere proiettato sul palloncino un'ombra, si sposta il corpo od il fascio di raggi catodici in modo che il corpo cessi di proiettare l'ombra dove la proiettava prima, l'ombra s'inverte, cioè dove c'era l'ombra si ha la porzione luminosa, *il che vuol dire che il vetro fu modificato*.⁵¹

Qui, la conclusione evidenziata in corsivo non segue logicamente dalle premesse. Non è inoltre chiaro a quale osservazione sperimentale si riferisca questo discorso.

Per quanto concerne invece il riscontro con posizioni espresse da Ferraris altrove, sono due i passi della lezione che vanno sottolineati. Innan-

⁴⁹ In realtà sono decimilionesimi di metro.

⁵⁰ *Ibidem*, p. 26.

⁵¹ *Ibidem*, pp. 8-9; corsivo nostro.

zitutto il passo in cui si parla della trasmissione dell'energia: come già osservato (si veda la nota 48), esso riprende quasi alla lettera un passaggio analogo di una conferenza di Ferraris. Il secondo brano è quello relativo alla possibile generalizzazione delle equazioni di Maxwell; esso va confrontato con il passo seguente:

Una teoria è tanto più probabile quanto più è astratta. Se essa si traduce in equazioni rispondenti ai fatti direttamente dati all'esperienza, essa è quanto oggi si può desiderare. Il progresso starà nel fare che le equazioni abbraccino domani un più largo numero di fatti sperimentali.⁵²

È pertanto ragionevole concludere che la trascrizione del Lanciai riproduce in maniera attendibile l'esposizione fatta da Ferraris.

Sulla base di questa conclusione, è possibile svolgere qualche ulteriore riflessione. L'aspetto forse più rilevante della lezione è costituito dall'insieme delle considerazioni metodologiche di Ferraris. Le richiamiamo qui di seguito:

1. «Quel che si può dire a tale riguardo è poco, poiché si tratta di un fenomeno assolutamente nuovo, per il quale non si può fare alcuna teoria; si possono fare soltanto delle induzioni, che però finora non hanno sufficiente fondamento sperimentale».⁵³ Appare qui evidente il ruolo centrale riconosciuto alla teoria e quello ausiliario delle induzioni che abbiano sufficiente fondamento sperimentale.

2. «Sono così pochi i fatti sperimentali e così poche le misure quantitative, che siamo troppo lontano dal poter fare una ipotesi. Semplicemente si possono esporre queste idee come quelle che si dovranno discutere ed aspettare che la decisione venga, e la vittoria si pronuncerà per le une o per le altre; stiamo ad aspettare lo sviluppo qualitativo della scoperta».⁵⁴

3. L'insieme delle considerazioni svolte sull'ipotesi che i raggi X siano costituiti da onde elettromagnetiche *longitudinali*. Qui gli aspetti interessanti sono due. Il primo è costituito dalla affermazione secondo cui tale ipotesi è compatibile solo con la possibilità che le equazioni di Maxwell siano solo un caso particolare di equazioni più generali che contemplino anche la possibilità di onde elettromagnetiche longitudinali. Questa posizione di Ferraris non va confusa con quelle che Pais, nel commentare l'ipotesi delle onde elettromagnetiche longitudinali, attribuisce ad una scarsa

⁵² G. FERRARIS, *Sulla trasmissione elettrica dell'energia*, cit., pp. 467-468.

⁵³ *Ibidem*, p. 1.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 21.

comprensione della teoria di Maxwell.⁵⁵ L'ipotesi avanzata da Ferraris apparirebbe oggi piuttosto singolare perché oltre un secolo di sviluppo della fisica ha mostrato che non sono state trovate equazioni più generali di quelle di Maxwell; tuttavia essa era del tutto plausibile e metodologicamente corretta nel contesto storico di allora. Il secondo aspetto è quello legato alla ontologia dell'etere, caro a Ferraris, su cui si innestava una ontologia, di derivazione hertziana, che privilegiava il campo elettromagnetico rispetto alle cariche elettriche.⁵⁶

Nel suo insieme, la lezione sui raggi X appare dunque come un esempio significativo di come Galileo Ferraris intendesse l'impegno didattico: trasmissione di conoscenze in un contesto metodologico sofisticato e inserite in una immagine del mondo fisico caratterizzata da forti opzioni ontologiche.

APPENDICE

Dall'articolo della «Stampa» apparso il 2 marzo 1896

[...] Il prof. Ferraris, dopo aver accennato alle esperienze delle scariche elettriche nei gas rarefatti nei tubi di vetro, riassunse sia le principali esperienze fatte dai Geissler, Hittorf, Crookes ed altri, sia le conseguenze che ne risultarono. Così, per esempio, alle variazioni che si verificano nelle resistenze e corrispondentemente negli effetti luminosi col diminuire della pressione del gas dentro il tubo. Quando la pressione interna è ridotta a un centesimo o ad un milionesimo di millimetro di mercurio, si ha la fluorescenza del vetro, dovuto ai raggi detti catodici. Giunto a questo punto il prof. Ferraris accennò alle differenze principali fra questi raggi e quelli della luce, sia nel modo che nelle leggi di propagazione, e fece anzi vedere come si potessero deviare con una calamita ordinaria. Accennò alle ipotesi del Crookes sui raggi catodici. Secondo il Crookes, questi raggi sarebbero traiettorie di particelle lanciate dal catodo, un vero effluvio di atomi lanciati con grande violenza e la fluorescenza del vetro sarebbe dovuta appunto allo scuotimento, al bombardamento di que-

⁵⁵ A. PAIS, *Inward Bound*, Oxford, Clarendon Press, 1986, p. 41.

⁵⁶ Si vedano, in proposito, le pagine dedicate alla filosofia della fisica di Ferraris in G. GIULIANI, *Il Nuovo Cimento - Novant'anni di fisica in Italia, 1855-1944*, cit.

ste particelle provenienti dal catodo. A questo punto il prof. Ferraris descrisse minutamente le esperienze del Röntgen che condussero il Röntgen stesso alla conclusione. Essere i raggi che egli chiamò X di natura diversa sia di quelli catodici, sia di quelli luminosi, sia delle radiazioni elettriche dello Hertz. Fra le esperienze citò quelle che dimostrarono che la trasparenza dei corpi per i raggi X dipende dalla densità dei corpi sui quali si sperimenta. Dopo aver detto del modo col quale si eseguirono gli esperimenti e si ottengono le fotografie, e dopo aver detto che per il fisico ha pari importanza di tutto il rimanente il fatto delle fotografie del nostro scheletro, che rese popolari le esperienze sui raggi Röntgen, il prof. Ferraris accennò al sentimento del Röntgen sulla natura di questi raggi. È nel Röntgen l'idea che la teoria non esclude che, oltre alla propagazione delle vibrazioni trasversali che costituiscono luce, elettricità, calore, si possono propagare nell'etere anche vibrazioni longitudinali. E qui il prof. Ferraris dice: «Non è dimostrato questo, ma è da studiarsi. È troppo presto perché si possano annunciare delle teorie, ma possono esporsi delle idee che debbono essere discusse». Ora il Ferraris aggiunge: «Se si potesse dimostrare vera la ipotesi analoga a quella di Crookes, relativamente a questi raggi Röntgen, il fatto, quantunque interessantissimo, non avrebbe però grande importanza. Se invece si potesse dimostrare trattarsi di radiazioni propagantesi nell'etere longitudinalmente, questo fatto avrebbe allora un'importanza enorme, incalcolabile. Altri metodi allora scaturirebbero per produrre queste radiazioni e in un modo più pratico. Molto probabilmente queste radiazioni esistono nello spazio ed hanno una parte importante nei fenomeni della natura. Oggi tutti i fenomeni naturali conosciuti si riducono a quelli luminosi e calorifici, e tutta l'energia del sole si ha sotto forma di luce e di calore, con propagazione trasversale delle oscillazioni. Se invece nell'etere esistessero propagazioni longitudinali, allora si avrebbe un'altra forma di energia, ora incognita per la mancanza dell'organo necessario per riconoscerla come fino ad oggi era ignorata l'esistenza dei raggi Röntgen. Ora, se si potesse riconoscere l'esistenza delle propagazioni longitudinali, si sarebbe al principio di una nuova scienza, che potrebbe condurci alla spiegazione di altri fenomeni importanti come quello della gravitazione universale. Noi siamo testimoni di un bellissimo esempio di come, col progredire della scienza, vadano allargandosi i concetti fondamentali. I concetti primitivi sono di cose tangibili, ristrette, ora si allargano tanto che i contorni non si vedono più e quasi ci si domanda se esistano ancora» [...].

SUMMARY — At the end of February 1896, in his course on electrical technology, Galileo Ferraris gave a lecture on the recently discovered X-rays. We know the contents of this lecture through its transcription done by Gian Battista Lanciani and a report published a few days later by the Italian newspaper «La Stampa». In this essay Ferraris' lecture is analysed paying special attention to its relationship with the institutional, cultural and scientific background of the end of the nineteenth century.