

SILVIO BERGIA (*)

Augusto Righi e il moto degli ioni nelle scariche elettriche (**)

Abstract — Even though Augusto Righi cannot be numbered among those who directly contributed to the discovery of the electron, his investigations were very often tangential to the paths that led to that discovery or stemmed from it. He was among the few who endorsed from the beginning Crookes' view that cathode rays were «radiant matter». Well acquainted with Hittorf's and Goldstein's results on the phenomenon of the electric shadow, he performed experiments of his own in which he was able to obtain it in extremely simple experimental conditions, i.e. without having recourse to vacuum tubes and by using as electrodes a needle and a metallic plate. After the discovery, he was immediately aware of its importance (he wrote that physicists were confronted with an «evolution» comparable to that introduced by Maxwell), and ready to adapt his views to the new conceptual background. Righi's contributions to the field are reconstructed on the basis of a conference and a review article whose texts he published in 1903 and 1906. Some final considerations analyse some of the reasons which may have held Righi back at the threshold of fundamental discoveries.

1. *Augusto Righi, l'Istituto e il Museo di Fisica di Bologna e l'Accademia dei XL.*

Augusto Righi non può essere annoverato fra coloro che hanno contribuito direttamente alla scoperta dell'elettrone. Le sue ricerche sono state tuttavia assai spesso tangenti ai percorsi che a quella scoperta hanno portato e che da essa si sono diramati. La mia scelta di contribuire ad un convegno dedicato al centenario della scoperta con uno scritto su Righi, parzialmente giustificata da quanto appena detto, è dovuta alla circostanza che provengo dal dipartimento di fisica di Bologna, per svariati decenni (dal 1907), non per caso, «Istituto di Fisica Augusto Righi». È infatti per merito di Righi che a Bologna si realizzò un moderno istituto. Che fu inaugurato appunto il 12 aprile del 1907.

(*) Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, Via Imerio 46, 40126 Bologna.
E-mail: bergia@bo.infn.it

(**) Relazione presentata al Convegno su «J.J. Thomson e la scoperta dell'elettrone», C.N.R. «Sala Marconi», Roma, 4 dicembre 1997.

Non è questo il luogo per tracciare un profilo, anche sommario, della figura di Righi. Per dare qualche parametro che aiuti a individuare il livello al quale collocarlo, mi limiterò a ricordare che fu citato in ben tre discorsi tenuti nell'occasione del conferimento del premio Nobel per la fisica: da Zeeman e Lorentz (1902) per i suoi risultati sulla magnetoottica, da Lenard (1905) per i suoi lavori sui raggi catodici, da Marconi e Braun (1909) per i contributi nel campo della telegrafia senza filo; che al Nobel fu svariate volte candidato (ininterrottamente dal 1905 al 1920); e che Orso Mario Corbino, uomo della cui acutezza di giudizio i presenti saranno certo più che convinti, nell'occasione della commemorazione del '21, lo definì — forse con qualche esagerazione, comprensibile data la circostanza — il fisico più eminente che *avesse* avuto l'Italia dai tempi di Alessandro Volta.

Può essere interessante ricordare in questa occasione che l'Accademia dei XL conserva corrispondenza e altri documenti che la famiglia Righi ha voluto conservare alla storia della scienza attraverso una donazione. Mi è altresì gradito ricordare che, d'altra parte, il Museo di Fisica di Bologna, ospitato presso il dipartimento, conserva buona parte della strumentazione scientifica di Righi; in particolare quella usata per la ripetizione delle esperienze di Hertz sulle onde elettromagnetiche nel campo delle microonde, delle quali Righi evidenziò i comportamenti ottici, e quella usata per l'emissione e ricezione di onde elettromagnetiche, campo nel quale Righi occupa un posto eminente anche se, come altri, letteralmente «non vide» le prospettive di sviluppo tecnologico che vi avrebbe invece colto Marconi. Per completare questo breve cenno, ricorderò che il Museo di Bologna è debitore all'Accademia di una copia microfilmata del lascito.

È una curiosità menzionabile in questa sede che Righi ebbe, appena venticinque, un premio di mille lire dall'Accademia, della quale divenne in seguito membro.

Chiudo questa breve premessa sottolineando che devo la massima parte delle informazioni di cui faccio uso in questo scritto alle indicazioni bibliografiche fornitemi da Giorgio Dragoni, responsabile del Museo e studioso, fra l'altro, della figura e dell'opera del fisico bolognese, nonché a suoi scritti personali. Mi è anche gradito ringraziarlo per una lettura critica del manoscritto.

2. *Righi e la «teoria dell'elettrone».*

Il titolo scelto per questa mia comunicazione coincide con quello di una conferenza che Righi tenne il 7 marzo 1903 presso la sezione bolognese della Società Elettrotecnica Italiana, il cui testo fu pubblicato da Zanichelli in forma di libretto nello stesso anno [1]. La scelta mi è sembrata opportuna in quanto identifica lo sfondo e la logica complessiva delle ricerche di Righi «attorno» all'elettrone. La discussione che segue è basata sul testo della stessa conferenza e su quello di una rassegna scientifica pubblicata da Righi nel 1906 [2].

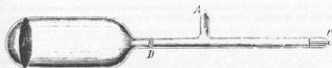


Fig. 1. Tubo di Braun. A anodo, C catodo, D diaframma forato, F disco di mica coperto con una polvere fosforescente.

I due testi permettono di

- 1) constatare la consapevolezza in Righi e della scoperta e della sua importanza;
- 2) documentare l'insieme delle attività di Righi nel campo;
- 3) seguire l'adeguamento della sua visione complessiva al mutato quadro concettuale.
- 4) individuare qualche caratteristica del Righi sperimentatore, ciò che permetterà forse anche di cogliere qualcuna delle ragioni per le quali egli si fermò sovente alle soglie di qualche grande scoperta.

Nella conferenza, Righi, prima di affrontare la trattazione del tema proposto nel titolo, delinea lo sfondo teorico: la teoria dell'elettrone. Nelle pagine introduttive, Righi scrive che le idee fondamentali intorno alla natura dei fenomeni elettrici hanno subito una nuova evoluzione (la precedente si era attuata con la teoria di Maxwell, «che ci liberava dalla necessità di ammettere forze a distanza»): «L'elettricità non viene più considerata come un fluido continuo, ma come costituita da innumerevoli piccole porzioni tutte eguali, specie di atomi elettrici, cui si è dato il nome di *elettroni*». Dopo aver ricordato che «la teoria degli elettroni ha origini multiple», in quanto vi si è giunti «partendo da fenomeni diversissimi, come l'elettrolisi, le scariche nei gas e certi fenomeni elettro-ottici», Righi riassume il quadro sperimentale e teorico riguardante questi diversi settori.

Giunto alla parte riguardante la scarica nei gas rarefatti, si intrattiene sui raggi catodici.

Come era sua consuetudine, Righi illustrò le sue esposizioni con esperienze qualitative realizzate per l'occasione. Egli illustrò in particolare la propagazione rettilinea dei raggi mediante un effetto di ombra elettrica ottenuto in un tubo di Crookes. Fra i dispositivi che Righi illustrò nel corso della sua presentazione figura un tubo di Braun (v. fig. 1). Accostando al tubo una piccola calamita. Righi mostrava che la macchia luminosa si spostava. Come egli scrisse,

«... dall'accurato studio che si è fatto d'un tal fenomeno, si è dedotto, che essi [i raggi] si comportano come fossero costituiti da corpuscoli elettrizzati negativamente e dotati di grandissima velocità».

«Tale è appunto il concetto che dobbiamo formarci dei raggi catodici, e tale è quello che ne ebbe il Crookes, quando formulò la sua ipotesi della materia radiante».

Righi ricorda che «da quell'epoca ad oggi» il concetto venne momentaneamente abbandonato e sostituito da un altro, sostenuto per qualche tempo da Hertz e da altri fisici tedeschi». Per modestia non dice quanto si sentirà invece di dire in un'occasione successiva, e precisamente nella rassegna del 1906. Vi si legge:

«Le brillanti esperienze del Crookes sulla così detta materia radiante, che vennero per qualche tempo spiegate da molti fisici considerando i raggi catodici come manifestazioni di speciali ondulazioni dell'etere, da pochissimi furono interpretate conformemente al concetto di Crookes; naturalmente mi trovai fra questi pochi, perché le idee del fisico inglese erano identiche alle mie, che anzi in gran parte si erano in me formate a guisa di estensione e generalizzazione di quelle».

Righi ricorda poi però che

«l'odierno concetto differisce alquanto da quello primitivo di Crookes. Secondo questo eminente fisico le particelle in moto dovevano essere le stesse molecole del gas rarefatto contenuto nel tubo; ma oggi si ritiene, e certo lo stesso Crookes ha ora la medesima opinione, che quelle particelle non siano altro che gli elettroni negativi liberi».

La teoria poggia tuttavia su basi più ampie:

«Cadrebbe tuttavia in un gravissimo errore chi supponesse, che la teoria degli elettroni non avesse altre basi più sicure di questa...»; «... si è cominciato ad attribuire importanza alla teoria degli elettroni, soltanto dopo che fu dimostrato: che i raggi catodici hanno identiche proprietà, indipendentemente dal gas rarefatto in cui si producono, e dal metallo formante il catodo; che essi trasportano veramente delle cariche negative, le quali possono raccogliersi mediante disposizioni opportune; che la loro velocità, pur essendo grandissima, è minore di quella della luce; che le supposte particelle in moto posseggono una massa, reale o apparente che sia; che per il rapporto fra la carica elettrica e la massa di ogni particella si è trovato sempre sensibilmente lo stesso valore, quando si è riuscito a misurarle in base a metodi e fenomeni diversi; che infine questo rapporto è molto più grande di quello che spetta ai ioni elettrolitici, circa due mila volte quello relativo ai ioni idrogeno nell'elettrolisi».

Tutti questi fatti mal si concilierebbero coll'ipotesi della materia radiante nella sua antica forma, e peggio ancora colla teoria, secondo la quale i raggi catodici sarebbero dovuti ad un fenomeno più o meno simile a quello della luce, mentre danno più larga base alla teoria degli elettroni.

L'ultimo dei risultati accennati, e cioè essere grandissimo il rapporto fra la carica e la massa degli elettroni, in confronto dell'analogo rapporto spettante ai ioni, può, a rigore, spiegarsi principalmente in due maniere. E cioè, o si può supporre che le particelle in moto non sieno i supposti elettroni, ma molecole o atomi elettrizzati, ed allora bisogna ammettere che la carica di ciascuno sia un duemila volte circa quella dei ioni elettrolitici; o si può supporre, ciò che è di gran lunga più verosimile, che le cariche sieno le stesse in quei due diversi fenomeni, ed allora necessariamente la massa di ciascuna delle particelle è piccolissima, e queste sono veramente gli elettroni.

Quest'ultima interpretazione, oltre essere la più naturale, fu confermata da ingegnose esperienze fatte tempo fa, e recentemente riprese e completate, dal prof. J.J. Thomson...».

Nella conferenza Righi passò poi a presentare quelli che aveva in precedenza chiamato fenomeni elettro-ottici, che si rivelano consistere essenzialmente dell'effetto Zeeman, nonché il loro inquadramento teorico, che fece discendere dall'opera di Lorentz. Passò quindi a trattare in dettaglio la produzione degli ioni nei gas e il loro comportamento nella scarica, ovvero sia il tema proprio della sua conferenza, per il quale la teoria dell'elettrone fornisce la base teorica essenziale.

Allo sviluppo delle conoscenze presentate nella conferenza, Righi aveva ampiamente contribuito lui stesso. Nel corso della presentazione richiamò alcuni dei suoi esperimenti. La rassegna del 1906 fornì a Righi l'occasione per una disamina più completa della sua stessa opera e per un'ulteriore messa a punto. Egli vi sottolineò, ove gli sembrasse opportuno, le sue priorità, e rivendicò che i suoi lavori passati potevano essere chiamati ad illustrare «la nuova fisica». Bastava allo scopo introdurre un semplice codice di traduzione. Ricordato, a proposito delle sue ricerche pubblicate dal 1872 in poi, che «a quell'epoca ormai lontana l'ipotesi dell'esistenza nei gas di ioni positivi e negativi non era stata ancora formulata», egli scriveva:

«Oggi però le prove accumulate in favore della ionizzazione sono tali e tante, che s'impongono alla ragione, mentre d'altra parte non è possibile negare, che i raggi catodici consistono di particelle negative (elettroni) di massa di gran lunga minore di quella degli atomi, e dotate di moto velocissimo. Con ciò le antiche esperienze non perdono valore; molte di esse anzi, esaminate alla luce della nuova teoria, valgono a illustrarla in modo speciale. Perciò ho giudicato possa avere qualche interesse il richiamare alcune di quelle mie esperienze, e renderne conto a norma della teoria degli elettroni; il che richiederà semplicemente, almeno nella maggior parte dei casi, ch'io faccia una specie di traduzione, e cioè mi limiti quasi unicamente a sostituire certi vocaboli, come: *molecole gassose*, oppure *particelle elettrizzate*, ecc., con altri vocaboli come *ioni positivi* o *negativi*, oppure *elettroni*, ecc.»

Nei due paragrafi che seguono, basandoci sui testi citati, accenneremo ad aspetti dell'opera di Righi concernenti i raggi catodici e l'effetto fotoelettrico, i temi più prossimi a quelli interessanti questo incontro.

3. I raggi catodici e l'ombra elettrica.

Righi era a conoscenza del fenomeno delle ombre elettriche osservato da Hittorf e Goldstein, e ben evidenziato, come si è visto, nei tubi a vuoto di Crookes. Scrive, nella rassegna del 1906:

«Convinto, come fui sempre, che i raggi catodici constassero di particelle elettrizzate, era naturale che considerassi come effetto di una speciale convezione elettrica ogni fenomeno di scarica. Così, mi spiegavo la scarica di una punta elettrizzata come dovuta ad innumerevoli particelle, elettrizzate dalla punta e da essa violentemente respinte; ciò che corrisponde alla odierna teoria, secondo la quale, avvenendo la ionizzazione per urto in prossimità della punta, tutto lo spazio compreso fra la regione di ionizzazione e la

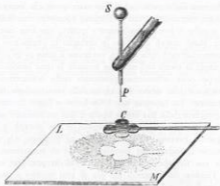


Fig. 2. Ombra elettrica nell'aria. *SP* conduttore terminante in *P* con una punta acuta, *C* croce di ebanite, *LM* lastra su cui si forma l'ombra.

lastra piana funzionante da secondo elettrodo è percorso unicamente da ioni che si dirigono verso di questa, e di egual segno di quello della carica data alla punta.

Era dunque naturale che, conosciuto appena il fenomeno dell'ombra elettrica, osservato da HITTORF e GOLDSTEIN e brillantemente dimostrato dal CROOKES, intuissero il modo di ottenere un analogo fenomeno nell'aria all'ordinaria pressione per opera di una punta».

Righi riuscì ad ottenere gli stessi fenomeni in condizioni sperimentali estremamente semplici senza bisogno di tubi e di pompe a vuoto, vale a dire ripetendo il fenomeno nell'aria alla pressione ordinaria per mezzo di una punta metallica e di una lastra pure metallica tra le quali avveniva una scarica. Egli aveva pubblicato un resoconto su queste esperienze nelle Memorie dell'Accademia delle Scienze di Bologna nel 1881. Nella rassegna del 1906 Righi ricordò di aver potuto riprodurre il fenomeno in più maniere. Nel corso della conferenza egli illustrò uno dei procedimenti con un semplice esperimento qualitativo (v. fig. 2).

A proposito di questi contributi di Righi sembrano pertinenti due osservazioni. La prima nasce dalla considerazione che i fenomeni di scarica dalle punte studiati da Righi, benché interessanti di per sé, hanno poco a che vedere con l'oggetto dell'interesse primario — e non senza buone ragioni — del campo di studi in questione. Sembra di poter dire che, attratto dalla suggestività del fenomeno, dalla prospettiva di semplici ed eleganti esperimenti, dalla sfida insita nell'idea di riprodurre gli stessi fenomeni nelle normali condizioni di laboratorio, senza ricorrere ad alcuna sofisticata apparecchiatura, egli svii la sua atten-

zione dal nucleo di maggior interesse teorico. La seconda osservazione, che mitiga quanto di negativo si potesse eventualmente scorgere nella prima, nasce dalla considerazione che il metodo di Righi prefigura il principio di funzionamento di molte delle attuali macchine fotostatiche [3], di cui quindi Righi può essere considerato un, seppur inconsapevole, anticipatore.

4. *L'effetto fotoelettrico.*

Fra il 1886 e il 1888, con una serie di mirabili accuratissime esperienze, Hertz scopre che il potenziale di scarica tra due elettrodi nell'aria è più basso quando si invia luce ultravioletta sugli elettrodi. I suoi risultati saranno poi interpretati in termini di effetto fotoelettrico, e sarà proprio Righi a chiamare in questo modo il fenomeno. Hallwachs osserva che l'effetto si deve probabilmente attribuire ad un'azione specifica della luce sull'elettrodo negativo. Righi contribuisce con una misura che fornisce un risultato che appare scontato a posteriori, ma che fornì allora un chiarimento essenziale. Ce ne riferisce, in modo contenuto, nella rassegna del 1906:

«Credo possa presentare qualche interesse un breve richiamo relativo al caso in cui il corpo colpito dalle radiazioni è inizialmente allo stato neutro. Nel corso delle mie ricerche ebbi occasione di stabilire, che un corpo scarico (dielettrico o conduttore) si elettrizzava positivamente per effetto delle radiazioni. Il sig. Hallwachs confermò questo fatto, che dapprima io avevo attribuito all'effetto Volta fra il corpo in esperienza ed i corpi circostanti».

Nel primo atteggiamento di Righi si può forse riscontrare la suggestione che esercitò su di lui l'invenzione della pila di Volta, di cui si era celebrato pochi anni prima il primo centenario. Righi arrivò in successive ricerche a stabilire una legge riguardante l'effetto:

«Cessa di aumentare la carica positiva del corpo, allorché la densità elettrica nelle parti colpite dalle radiazioni arriva a un determinato valore dipendente solo dalla natura del corpo stesso».

Nel riportare, nella stessa rassegna, la sua legge, Righi ne illustrava l'origine in termini fisici qualitativi:

«Sotto l'azione delle radiazioni che giungono sul corpo, escono dal medesimo degli elettroni con velocità verosimilmente grandissima, e così rimane al corpo stesso una carica positiva. Se il corpo fosse nel vuoto, quegli elettroni costituirebbero veri raggi catodici, i quali, rapidamente trasporterebbero a grande distanza la carica negativa; ma nell'aria alla pressione atmosferica gli elettroni gli elettroni divengono tosto ioni negativi, e questi sono esposti a innumerevoli e frequenti collisioni colle molecole neutre, che hanno come conseguenza di diminuire la loro velocità, in modo che parte di essi, attratti dal corpo che si è intanto caricato positivamente, gli restituiscono la carica negativa. Sarà raggiunto uno

stato stazionario quando si avrà compensazione fra gli elettroni emessi e i ioni negativi che ricadono sul corpo. [...] Siccome ad un determinato valore del campo elettrico presso la superficie del corpo corrisponde un determinato valore della densità superficiale della carica, così la precedente legge rimane spiegata».

Sembra pertinente, a proposito di questa legge, un commento analogo a quello già fatto per gli esperimenti di Righi sull'ombra elettrica: la legge ha indubbiamente una sua rilevanza sperimentale; né la spiegazione è priva di interesse fisico. Ma i più profondi motivi di interesse per l'effetto fotoelettrico, per le cause che lo producono, rimangono nell'ombra. Dragoni ha opportunamente riprodotto, a mo' di giudizio sull'atteggiamento di Righi ed altri autori dell'epoca sull'effetto fotoelettrico, un passo di Rostagni:

«Mi limiterò ad osservare come possa oggi recare meraviglia, a tutta prima, che né Righi né Hallwachs, né parecchi altri fisici ben qualificati, che in quegli anni affrontarono lo studio dell'effetto fotoelettrico, abbiano pensato a sperimentare nel vuoto, il che avrebbe loro permesso di scoprire quella relazione fra potenziale limite e frequenza della luce, dalla quale doveva venire lo spunto alla teoria di Einstein e all'idea del fotone».

In questo passo Rostagni mostra di dar credito all'idea errata, largamente diffusa fra i fisici, che Einstein si sia basato, per la sua teoria dell'effetto fotoelettrico (1905), su dati sperimentali riguardanti appunto la relazione lineare tra potenziale d'interdizione e frequenza, quando è invece vero che egli dedusse la relazione direttamente dalla sua ipotesi dei quanti di luce, e che fu Millikan (1916) a verificarla sperimentalmente. A parte questo, come giustamente osserva Dragoni, nel passo riportato Rostagni si mostra consapevole della «profonda influenza che l'ambiente culturale esercita, positivamente o negativamente, sull'immaginazione scientifica», e mette a fuoco «almeno uno di quei casi di scoperte eclatanti sfiorate, ma non raggiunte, da Augusto Righi».

L'atteggiamento di Righi in questo come in altri casi fu senza dubbio ispirato all'idea, metodologicamente rispettabile, propria della sua formazione culturale, di indagare la natura nelle sue condizioni *normali*, non in condizioni *astratte* o *artefatte*. L'atteggiamento, in linea di principio condivisibile, gli pretese forse, in questo come in altri casi, la possibilità di una più profonda comprensione dei fenomeni in gioco.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AUGUSTO RIGHI, *Il moto dei ioni nelle scariche elettriche*, Zanichelli, Bologna 1903.
- [2] AUGUSTO RIGHI, *Di alcune non recenti esperienze considerate dal punto di vista della teoria elettronica*, Memorie della Società Italiana delle Scienze (detta dei XL), serie 3^a, Tomo XIV, 1906.
- [3] GIORGIO DRAGONI, *Figure di Maestri che hanno operato nel corso del IX Centenario dell'Università di Bologna*, Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, Classe di Scienze Fisiche, Bologna 1990.