

IL NUOVO CIMENTO

Fondato da CARLO MATTEUCCI e RAFFAELE PIRIA
e continuato da ENRICO BETTI e RICCARDO FELICI

ORGANO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Direttori ANTONIO RÒITI, VITO VOLTERRA, LUIGI PUCCIANI

Delegati della Società MICHELE CANTONE, TULLIO LEVI-CIVITA.

Redattore ANTONIO GARBASSO.

2693

Serie VI — Tomo XXI

PISA

STABILIMENTO TIPOGRAFICO TOSCANO

Cav. Vincenzo Lischi & Figli

1921

PIETRO CARDANI

IN MEMORIA

DI

AUGUSTO RIGHI

AUGUSTO RIGHI

« Trenta o quarant'anni fa e specialmente nell'orgoglio della conquista del grande principio della conservazione dell'energia, si dava generalmente scarsa importanza alle ipotesi scientifiche, con le quali si cercava da taluno di dare soddisfazione al bisogno istintivo, che l'uomo risente, di conoscere le cause prime dei fatti ai quali assiste: e l'attività dei fisici più eminenti era principalmente rivolta a rigorosissime e pazienti misure, all'accertamento sempre più preciso dei valori numerici di certe costanti, alla ricerca e allo studio dei fenomeni di dettaglio o tutt'al più ad inventare metodi sperimentali atti a recare decisione sicura di scelta tra ipotesi antagoniste. Forse solo nel proprio intimo ciascuno profittava dell'immensa utilità che presentano le buone ipotesi per ispirare ricerche nuove; ma dopo averne in tal modo ricavato qualche vantaggio, di esse più non si parlava o se ne faceva cenno soltanto come di semplici *modelli* artificiosi, non senza affettare una certa aria di superiorità rispetto a coloro che attribuivano ad esse un valore filosofico. Oggi invece comincia a preferirsi da molti un metodo di indagine, che potrà da taluno dirsi meno severo, ma è indubbiamente più geniale e più proficuo. Non si rifugge più con tanto orrore dalle ipotesi esplicative e si fa più largo uso, senza esagerate diffidenze,

dell'intuito e dell'immaginazione. Sono armi preziose queste, le quali, se riescono inefficaci e perniciose per chi non ha speciale perizia e grande prudenza, maneggiate da chi possiede insieme a queste doti anche larghe vedute, danno risultati d'alto valore ».

Così Augusto Righi si esprimeva in quel magnifico discorso che tenne per l'inaugurazione della V.^a riunione della Società per il progresso delle Scienze nel 1911: e, dopo aver parlato della « Nuova Fisica » e dopo aver esposto le nuove ipotesi e le nuove teorie, concludeva con queste parole:

« In ogni modo è innegabile la immensa utilità scientifica delle grandi sintesi filosofiche, di modo che debbono rispettarle e servirsi di esse anche quegli utilitari, i quali non sentono l'acuto pungolo dell'irrefrenabile ed istintivo desiderio, che ci spinge a cercare le cause recondite dei fenomeni del mondo ».

« È alla ragionevole fiducia delle nuove grandi ipotesi, è alla continua collaborazione di esse ai più severi metodi di ricerca sperimentale, è infine al sagace e prudente apprezzamento dei risultati dell'esperienza, che si devono gli immensi e rapidi progressi, rinnovatori della Fisica ».

Augusto Righi precisava dunque il nuovo indirizzo scientifico in una più intima ed armonica fusione della ricerca sperimentale e del pensiero filosofico, così che la ricerca sperimentale non fosse fine a sè stessa, ma fosse guidata da opportune ipotesi dove l'immaginazione e l'intuito dello sperimentatore potessero più liberamente spaziare: in tal modo, mentre le ipotesi dovevano servire ad aprire nuovi orizzonti alle ricerche scientifiche, reciprocamente le ricerche scientifiche dovevano servire a giudicare della bontà delle ipotesi, meglio definirne i contorni e permettere infine le grandi sintesi dei fenomeni naturali.

Augusto Righi ha sempre ritenuto le ipotesi e le teorie non solamente utili ma necessarie e non risparmiava occasione per affermare questa sua intima e profonda convinzione particolarmente in quei mirabili discorsi e in quelle insuperabili

conferenze che tenne con incontrastato successo specialmente negli ultimi anni per diffondere le nuove idee relative ai fenomeni fisici. In quella stupenda lezione che tenne il 12 aprile 1907 in occasione del suo giubileo universitario « *Sull'ipotesi della natura elettrica della materia* » così prospettava il suo pensiero sull'importante argomento:

« L'uomo, messo in rapporto per mezzo dei suoi sensi col mondo esterno, è inevitabilmente condotto a formarsi una immagine mentale di quanto lo circonda. Sino a qual punto questa immagine corrisponda alla realtà, anzi se di una realtà possa neppure parlarsi, è questione puramente metafisica, per la cui soluzione discussioni e sforzi secolari riuscirono inefficaci. La scienza sperimentale, almeno nello stadio attuale, deve procedere libera da dubbi di questa specie, e presupporre una esatta corrispondenza tra l'immagine mentale delle cose e la realtà di esse. Ogni scetticismo a priori sarebbe infatti un ostacolo al suo sviluppo ed ai suoi progressi ».

« A questa immagine mentale del mondo si associa poco a poco, col crescere dell'età dell'individuo e col salire del livello intellettuale della razza, la constatazione di relazioni tra i fatti osservati, le quali inducono nella persuasione, che certi di questi sono la necessaria conseguenza di altri che li hanno preceduti o li accompagnano. Ed allora sorge spontaneo ed invincibile, specialmente nelle menti più evolute, il desiderio di risalire alle cause prime, onde possibilmente esser in grado di prevedere sino ad un certo punto eventi futuri in base all'osservazione del passato e del presente: e siccome non fu ancora possibile, e forse non la sarà mai, di trovare la ragione prima delle cose, così il pensatore cerca di intuire o di indovinare quanto non gli è stato dato scoprire. Nascono così le ipotesi fondamentali, le quali, oltre che rispondere ad un reale bisogno della mente, hanno un vantaggio pratico relevantissimo, che da solo giustificerebbe la loro adozione, e, cioè, permettono di ordinare e raccogliere le nozioni sempre più numerose costituenti un corpo di scienza,

metterne in luce le reciproche relazioni, agevolarne lo studio e la comprensione, guidare alla scoperta di nuove verità ».

La grande rivoluzione scientifica compiutasi nella fisica negli ultimi dieci lustri, è quasi esclusivamente dovuta al nuovo indirizzo, di cui Augusto Righi, per universale consenso, deve ritenersi uno dei maggiori esponenti: nella eletti-sima schiera di fisici eminenti, che possono considerarsi come i continuatori dell'opera che, iniziata dal Faraday, ebbe nel genio del Maxwell così profonda e suggestiva interpretazione, Egli occupa indubbiamente uno dei primissimi posti, così che Angelo Battelli con piena coscienza poteva affermare che « Augusto Righi va annoverato tra i pionieri della attraente teoria sulla natura elettrica della materia e il suo nome ricordato accanto a quelli di H. A. Lorentz e di J. J. Thomson ».

La superba opera scientifica lasciata da Augusto Righi non verrebbe quindi posta nella sua vera luce se non venisse analizzata alla stregua di questo nuovo indirizzo: i suoi lavori, sempre mirabili per la genialità dei metodi adoperati e per l'importanza dei risultati conseguiti, perderebbero quella magnifica armonia d'insieme che rappresenta il contributo del suo spirito così acuto e penetrante, della sua immaginazione così fervida e nello stesso tempo così prudente, della sua logica così ardita e nello stesso tempo così irreprensibile.

La produzione scientifica di Augusto Righi è stata quanto mai vasta e complessa, solenne testimonianza di tutta una vita spesa per il progresso della scienza e per la ricerca del vero. Nato nel 27 agosto 1850, fin da giovanetto mostrò una spiccatissima tendenza alla meccanica, che si trasformò poi in una vera passione per la fisica: il suo primo lavoro porta la data del 1872 e dopo proseguì ininterrottamente nei suoi studi prediletti. Fu un lavoratore di una tempra eccezionale: mi ricordo nei cinque anni che ebbi la fortuna di seguirlo a Palermo in quelle sue ricerche, con le quali si affermò così vittoriosamente tra i primissimi sperimentatori, come Egli,

dopo lunghissime ore di lavoro nel laboratorio, che talvolta abbandonava a sera inoltrata, trovasse ancora il modo di dedicare molto spesso qualche altra ora della notte per vagliarne i risultati e comprenderne lo svolgimento, ed aprirsi così la via a nuove esperienze: e questo sistema seguì sino all'ultimo giorno della sua preziosa esistenza: nella sera stessa dell' 8 giugno scorso, poche ore prima che la morte lo colpisse, dopo una giornata di intenso lavoro scriveva una fitta pagina riguardante l'ultima sua memoria « *Sulla teoria della relatività e sopra un progetto di esperienza decisiva per la necessità di ammetterla* ». Ciò non ostante non era affatto un misantropo. Dedicava alla Famiglia, che idolatrava e nella quale trovò sempre intensa corrispondenza di affetto, le cure più amorose e delicate: e sapeva prendersi ancora tutte le necessarie distrazioni per mantenere la sua vigoria fisica. Fu un uomo veramente privilegiato che trovava tempo a tutto perchè non perdeva mai un solo minuto. La sua vita fu tutta una vita di lavoro, ma dove il lavoro non è sacrificio ma quasi ristoro dello spirito. Egli stesso così affermava, nel ringraziamento che rivolse nella cerimonia del suo giubileo universitario, a quanti gli avevano presentato l'omaggio della loro ammirazione:

« Avete tutti troppo largamente e benevolmente valutato ciò che di buono possa aver fatto per la Scienza e per la Scuola in poco più di un quarto di secolo d'ordinariato universitario, e in sette lustri di ininterrotto lavoro sperimentale, e dubito che questa troppo alta valutazione dell'opera mia provenga dalla persuasione, che io abbia dovuto impormi gravi sacrifici per rimanere assiduo allo studio anzichè cedere alle attrattive degli svaghi e del riposo. Ebbene, ai sentimenti che provo si sovrapporrebbe l'ombra del rimorso, se lealmente non dichiarassi qui che, se ho assai lavorato, se, come spero, lavorerò ancora per molto tempo, ciò non richiese mai nè richiederà da parte mia nessuno sforzo di volontà, giacchè ho sempre ceduto, e cederò con gioia in avvenire, ad un desi-

derio vivissimo e prepotente, che provo ancora come nella mia prima gioventù ».

Si può ben dire che, in questi ultimi cinquant'anni, ogni nuova scoperta o importante questione, riguardante specialmente l'ottica, l'elettricità e il magnetismo e le loro reciproche relazioni, abbia ricevuto il poderoso contributo di Augusto Righi, mentre Egli stesso, con lavori suoi originali, apriva nuovi campi all'indagine scientifica. Aveva però qualche argomento preferito, sul quale ritornava volentieri, per colmare qualche lacuna, per coordinare le sue esperienze alle nuove vedute. Passando quindi in rapida rassegna l'opera scientifica del Righi, sarà per ciò conveniente, più che seguire l'ordine cronologico, riferire insieme sui gruppi di lavori attinenti ad un determinato argomento.

* * *

I primi lavori del Righi, fatti tra il 1872 e il 1880, nei quali anni fu, prima assistente all'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna col professore Villari e poi professore all'Istituto tecnico della stessa città, trattano di argomenti vari, ma che già dimostrano, oltre che le sue eccezionali doti di sperimentatore, quali saranno i rami prediletti delle sue investigazioni.

Un primo gruppo riguarda il comportamento degli isolanti posti nei campi elettrici e conseguentemente le teorie dei condensatori, dell'elettroforo e delle macchine ad induzione. Con l'uso di un conduttore cavo (1873) dimostra anzitutto in modo semplice e rigoroso come fosse assurda la teoria che riteneva dovuta a polarizzazione la carica svolta per strofinamento sopra una faccia di una lastra coibenté e con esperienze altrettanto semplici riesce a spiegare il funzionamento dell'elettroforo senza ricorrere, come allora da taluni si ammetteva, ad una semi-conducibilità superficiale degli isolanti: non meno interessanti sono le numerosissime esperienze (1875) con le quali prova la penetrazione delle cariche nelle lastre coibenti e

spiega la formazione delle cariche sulle lastre medesime. Egli riesce a provare col metodo del conduttore cavo, che una lastra isolante elettrizzata sopra una faccia e messa in moto di fronte ad un conduttore munito di punte, può acquistare sull'altra faccia una carica di nome contrario più grande di quella primitiva.

Riportata l'esperienza del Riess, nota col nome di doppia influenza, per la quale una lastra isolante strofinata sopra una faccia acquista carica di nome contrario se questa è posta in contatto con un disco conduttore non isolato, ne dà una brillante conferma ottenendo con la proiezione del miscuglio minio e zolfo delle immagini nitide diversamente colorate dopo aver applicato conduttori di varie forme e la stessa mano sulla faccia strofinata.

Le teorie alle quali Egli giunge per spiegare il funzionamento dei condensatori e dell'elettroforo non sono che la sintesi rigorosa di tutte le sue esperienze e la classificazione e la teoria delle macchine elettriche ad induzione costituiscono ancor oggi una delle migliori monografie sull'argomento.

A questo medesimo gruppo di lavori è strettamente connesso quello eseguito dal Righi « *Sulla dilatazione dei coibenti armati per effetto della carica* » (1879).

Il Duter, sulla fine del 1878, usando un condensatore costituito da due tubi cilindrici concentrici di vetro, chiusi e muniti rispettivamente di tubi capillari, contenenti tanto nel vano interno quanto in quello interposto un liquido conduttore, aveva osservato al momento della carica un abbassamento del liquido nel tubo capillare comunicante con la cavità interna, ed un analogo innalzamento del liquido nel cannello capillare comunicante con la capacità interposta, fenomeno del resto non nuovo, perchè prima già osservato dall'Abate Fontana e dal Govi. Il Duter aveva però trovate le leggi del fenomeno, che durava quanto durava la carica, così che, scaricando il condensatore, il liquido riprendeva le posizioni primitive e concludeva che nessuna delle spiegazioni,

che a prima vista si presentavano alla mente, potevano dar ragione dei risultati sperimentali, nè, cioè, un aumento di temperatura, nè la pressione delle cariche elettriche, nè la incompleta aderenza del liquido.

Il Righi riprese lo studio dell'argomento con la sua solita abilità, adoperando un processo sensibilissimo per la misura degli allungamenti presentati da un condensatore cilindrico e trovò che il fenomeno è molto più complesso di quanto si riteneva dal Duter, presentandosi due dilatazioni: una *istantanea* che sparisce al momento della scarica, e l'altra *persistente*. Ritrova le leggi del Duter per la dilatazione istantanea e, con eleganti e rigorose esperienze, dimostra che la dilatazione istantanea è dovuta alla polarizzazione, in causa della quale le molecole dei coibenti si respingono nella direzione delle linee di livello, mentre invece è insensibile l'effetto della penetrazione delle cariche: e per quanto riguarda la dilatazione persistente prova che essa è dovuta esclusivamente al calore svolto nel processo di polarizzazione. Interessante il fenomeno che osserva invertendo rapidamente la carica del condensatore con un rocchetto del Ruhmkorff, nel qual caso il condensatore emette un suono sincrono con quello dell'interruttore, riproducendo in tal modo l'esperienza del *condensatore cantante* del Varley.

* * *

Un altro gruppo di lavori riguarda le forze elettromotrici di contatto, questione allora molto dibattuta tra i sostenitori della teoria del Volta e quelli della teoria del Fabbroni. Usando di un elettrometro ad induzione da Lui costruito (1872) sul tipo del ricaricatore del Thomson, e che si prestava ottimamente a rivelare cariche debolissime, Egli dimostra come fosse erronea l'interpretazione data dal De la Rive dell'esperienza del Volta fatta col disco di zinco isolato, con la quale si attribuiva il fenomeno all'ossidazione dello zinco da parte dell'umidità dell'aria e quindi conferma (1873)

l'esistenza della forza elettro-motrice di contatto. In altra memoria (1874) ritorna sulle forze elettro-motrici di contatto prodotte dal calore (effetto Thomson); e su quelle tra liquidi, deducendo le leggi generali delle forze elettro-motrici nei circuiti termo-elettrici e delle forze elettro-motrici voltaiche. È da segnalare che in questa memoria il Righi comincia ad esprimere alcuni concetti sulla natura dei fenomeni elettrici che molto si avvicinano ai concetti moderni.

Nell'ultimo paragrafo di questa memoria, così infatti Egli si esprime:

« Benchè nello stato attuale delle nostre cognizioni non sia prudente l'avventurarsi a spiegare l'intima natura dei fenomeni elettrici, è però facile concepire come le tre forze elettro-motrici sopra enumerate si possano ridurre ad una sola ».

« È probabile che l'elettricità sia una particolare qualità di materia sottile, l'etere forse, e non una forma di movimento molecolare »..... e prosegue dimostrando che non può ritenersi una forma particolare dell'energia. Dopo aver tentato di spiegare le tre forze elettro-motrici come provenienti dall'elettricità di contatto, così conclude:

« Di qui si riconosce almeno la possibilità di raggiungere, col principio del contatto, la meta alla quale devono tendere le ricerche attuali, quella, cioè, di far dipendere da un'unica causa l'immensa varietà dei fenomeni elettrici ».

Il Righi dunque, fin da questi suoi primi lavori intuiva quale doveva essere il futuro sviluppo delle teorie elettriche. Ma poichè nuove obiezioni venivano sollevate sull'esistenza dell'elettricità di contatto, attribuendosi le forze elettro-motrici che si osservavano all'influenza del mezzo coibente, completa lo studio precedente cercando appunto « *l'influenza dei coibenti nelle esperienze relative all'elettricità di contatto e nelle coppie voltaiche* » (1875): e mentre da una parte conferma l'esistenza della differenza di potenziale di contatto, dimostra che nelle coppie voltaiche formate da metalli e elettroliti poco

conduttori, la forza elettromotrice non solo dipende dalla natura dei corpi messi in contatto ma anche dalla resistenza dell'elettrolita.

Di questo stesso argomento il Righi tornò poscia ad occuparsi (1887) con esperienze complementari di quelle precedentemente eseguite.

* * *

Un altro gruppo di lavori riguarda invece le scariche elettriche alla pressione atmosferica, nello studio delle quali il Righi ha portato così cospicuo e interessante contributo. Fu questo uno dei suoi argomenti preferiti, sul quale sempre tornava molto volentieri. La sua prima memoria tratta principalmente delle cause che modificano il potenziale esplosivo, potenziale che viene misurato con uno speciale elettrometro da Lui ideato e che anche oggi è così prezioso per la misura di alti potenziali.

Dopo aver stabilita la relazione tra il potenziale e la distanza esplosiva tra sferette dello stesso diametro e dello stesso metallo e la carica residua, studia l'influenza della natura chimica e del diametro delle sferette, del valore assoluto e del segno del potenziale, delle scintille multiple ecc.: queste esperienze furono fatte nel 1875, precedenti quindi a quelle di altri sperimentatori, ai quali ordinariamente sono attribuiti molti dei risultati che già erano stati ottenuti dal Righi.

In una seconda memoria (1876) si serve della fotografia, per conoscere la struttura e le dimensioni delle scintille nell'aria, e ne descrive i tipi principali modificando le condizioni del circuito: studia ampiamente i fenomeni della scarica laterale e in ultimo quello interessantissimo delle scariche nell'interno e alla superficie dei liquidi. Le splendide figure a colori che seguono la memoria, mostrano quanta cura e quanta passione Egli avesse posto in queste ricerche. Particolare menzione meritano le esperienze fatte dal Righi nei liquidi, ado-

perando un gran numero di pile invece della macchina elettrostatica, e facendo passare la corrente attraverso un sottilissimo foro praticato in un tubo di vetro: i fenomeni osservati dal Righi sono quelli stessi che più recentemente diedero origine all'interruttore elettrolitico.

Un'altra memoria (1886) riguarda le scariche ottenute con una grande batteria: sono brillantissime esperienze specialmente da scuola: e con altre ricerche, adoperando scariche molto poderose conferma (1885 e 1895) i risultati prima ottenuti.

Fenomeni nuovi ed interessantissimi Egli descrive in una altra serie di memorie sopra una specie di scintille elettriche, nelle quali la luminosità si propaga gradatamente da un elettrodo ad un altro (1891-1892-1895). Scintille del genere erano già state osservate dal Feddersen, dal Wüllner, da Hertz, ecc.: ma il Righi ottenne che il moto di queste luminosità fosse così lento da poter esser visibile anche senza lo specchio girante e di più precisò l'influenza delle varie parti del circuito, della resistenza di questo, della capacità del condensatore, della pressione del gas, le modificazioni che derivavano da tubi strozzati o da diaframmi forati posti tra gli elettrodi, e così pure precisò la forma, la luminosità e il modo di formazione delle singole masse luminose. La grande importanza di questa forma di scariche sta nel rassomigliare a quelle folgori globulari, sulle quali tuttora così disparate sono le opinioni: come pure molto strano è il risultato ottenuto dal Righi che simili scariche si producono in modo ben definito soltanto nell'azoto e nell'ossido di carbonio. Anche con queste ricerche il Righi ha aperto un vasto campo per ulteriori studi.

Si deve pure al Righi un nuovo elettrometro idiostatico per la misura dei potenziali che può servire dentro limiti molto estesi e che possiede una grande sensibilità (1894).

* * *

Contemporaneamente ai primi lavori di elettrostatica, il Righi pubblicava una memoria (1873) sulla composizione dei

moti vibratori : è una trattazione completa, sia dal punto di vista analitico che da quello sperimentale, della composizione di tre moti vibratori ortogonali e numerose figure stereoscopiche mostrano in rilievo le traiettorie risultanti. Molto più tardi (1892) pubblicava la descrizione di un apparecchio assai originale per l'interferenza e i battimenti delle onde sonore. Le figure si ottengono per mezzo di due diapason elettro-magnetici, che comunicano i loro movimenti vibratori ad una grande lamina di tela o di caucciù sulla quale si trova disseminata della sabbia : così si possono mostrare parecchi dei fenomeni più importanti dell'acustica. Nel 1894 pubblicò la descrizione di un nuovo apparecchio, ormai molto diffuso nelle scuole, per la composizione di due movimenti pendolari ortogonali, per mezzo del quale si possono riprodurre in maniera elegantissima le figure del Lissajous facendo uso di due pendoli, dei quali si può variare a volontà il periodo e la fase : le figure che si ottengono sono di tale nitidezza e precisione da render l'apparecchio veramente prezioso.

In seguito (1898) lo stesso apparecchio venne dal Righi modificato in modo da ottenere anche la composizione di moti pendolari paralleli.

* * *

Un'impronta molto originale il Righi lascia sulla visione stereoscopica. In una prima memoria (1875), prendendo le mosse dalla trattazione che delle immagini stereoscopiche dava Helmholtz nella sua *Ottica fisiologica*, descrive un semplicissimo strumento, a cui dà il nome di *polistereoscopio*, col quale si possono facilmente riprodurre gli effetti pseudoscopici, come pure quelli del telestereoscopio e dell'iconoscopio. Espone in seguito una trattazione completa della visione binoculare e prende occasione per stabilire alcuni nuovi teoremi di geometria proiettiva. In una seconda memoria (1889) modifica lo stereoscopio da Lui ideato in modo che i due specchi possano girare insieme intorno ad un asse orizzontale passante per l'asse di un piccolo tubo al quale si applica uno degli occhi, otte-

nendo così di passare dal rilievo diretto al rilievo inverso. Alcuni effetti dati da questo apparecchio sono veramente sorprendenti e di particolare importanza per lo studio della visione binoculare. Finalmente nel 1892 completa i suoi precedenti lavori con lo stabilire le condizioni necessarie affinché il rilievo stereoscopico corrisponda il meglio possibile a quello reale non potendosi ottenere una perfetta corrispondenza per la differente accomodazione degli occhi nella visione diretta e in quella stereoscopica.

* * *

Ampio campo di ricerche teoriche e sperimentali il Righi ha saputo trovare nell'Ottica fisica. Già nel 1887 Egli pubblicava la sua prima memoria sull'interferenza della luce. Nelle frangie che si ottengono per interferenza e in particolar modo col biprisma in determinate condizioni, si osserva che, adoperando luce semplice, le frangie luminose non presentano la stessa intensità, ma alcune, disposte simmetricamente rispetto a quella centrale, e la frangia centrale medesima appaiono oscurate e con luce bianca si vedono apparire dei colori anche dove la teoria farebbe prevedere che vi fosse luce bianca.

Il Righi, con esperienze elegantissime, adoperando una fenditura perpendicolare alle frangie invece che parallela, come avevano fatto Fizeau e Foucault, ed analizzando la luce trasmessa con uno spettroscopio, ottiene uno spettro con frangie nere longitudinali (perpendicolari alla fenditura) delle quali Egli dà una facile spiegazione.

Con analogo procedimento studia le frangie di diffrazione e venendo in seguito ai fenomeni del biprisma, mostra che la causa delle colorazioni sta nel fatto che, in determinate condizioni, alle frangie di interferenza sono sovrapposte frangie di diffrazione ed indica come queste ultime possano eliminarsi. Tratta poi dell'interferenza dei raggi polarizzati dopo aver attraversato una lamina di quarzo perpendicolare all'asse, nel qual caso unendo all'oculare, col quale si osservano le frangie,

un analizzatore, si vedono comparire altri due sistemi di frangie laterali simmetriche col gruppo centrale. Si spiegava il singolare fenomeno ammettendo che i due raggi interferenti polarizzati, attraversando il quarzo, dessero origine a quattro raggi circolari e che il sistema di frangie centrali fosse dovuto ai raggi circolari dello stesso senso e quelli laterali ai raggi circolari di senso contrario. Il Righi invece dimostra che la formazione dei tre sistemi di frangie dipende solo dalla composizione della luce che giunge all'occhio e prova con brillanti esperienze che questi sistemi possono ottenersi con disposizioni opportune senza l'uso del quarzo ed anche, volendo, senza adoperare luce polarizzata.

In una successiva memoria (1877) trattava una delicatissima questione riguardante la velocità della luce nei corpi trasparenti magnetizzati. Esiste, infatti, una ben nota differenza tra i corpi che possiedono il potere rotatorio e quelli invece che possono acquistarlo per azione di un intenso campo magnetico; « se una lamina di quarzo, posta sul cammino di un raggio polarizzato, si capovolge, la rotazione del piano di polarizzazione non varia, mentre se si capovolge uno dei corpi che acquistano il potere rotatorio per il campo magnetico insieme col sistema elettro-magnetico che determina l'induzione, ciò che equivale ad invertire semplicemente il senso della corrente, la rotazione del piano di polarizzazione avviene in senso contrario ». Ciò faceva ritenere che la causa del fenomeno potesse esser diversa nei due casi: e mentre tutti ammettevano che nel primo caso i due raggi circolari si propagassero con velocità diverse, nel secondo caso alcuni ammettevano che dei due raggi circolari variasse invece il periodo. Il Righi con esperienze di grande difficoltà, dimostra che facendo attraversare un liquido, il quale acquisti il potere rotatorio sotto l'azione del magnetismo, da raggi circolari opposti, si ottiene uno spostamento delle frangie di interferenza, ciò che prova una differenza di fase tra i due raggi ed una probabile diversa velocità di propagazione: in altre parole sembrava che la dop-

pia rifrazione circolare avvenisse nei corpi dotati di potere rotatorio magnetico, come avviene nel quarzo. Questi risultati sono stati completamente confermati da H. Becquerel e da W. B. Brace : ma relativamente alla questione se il campo magnetico modificasse la velocità della luce polarizzata rettilineamente o della luce naturale, non ostante le cure poste per risolverla, non ha mai potuto ottenere alcuno spostamento delle frangie, concludendo così che, se questa azione esistesse, dovrebbe esser assai piccola e manifestarsi quindi soltanto con mezzi più potenti di quelli di cui Egli disponeva.

In una nuova estesa memoria intitolata « *Studi sulla polarizzazione rotatoria magnetica* » (1886) tratta la questione generale della doppia rifrazione circolare, alla quale restava sempre una solida base sperimentale nella esperienza classica del doppio prisma del Fresnel. Se non che il Gouy nel 1880 faceva notare come anche questa esperienza non potesse considerarsi come prova concludente in favore della doppia rifrazione circolare e quindi restava il dubbio *se la decomposizione di un raggio a vibrazioni rettilinee in due circolari di senso opposto, si dovesse considerare come un utile e comodo artificio cinematico o corrispondesse ad un fenomeno fisico reale*. Il Righi, riconoscendo l'importanza dell'interpretazione del Gouy, pensò di risolvere la questione, studiando il raggio riflesso e rifratto. Il mezzo dal Righi escogitato consiste in questo, che « se realmente i raggi polarizzati circolamente posseggono velocità di propagazione differenti entro un corpo dotato di potere rotatorio, le intensità che acquistano rifrangendosi o riflettendosi dovrebbero esser differenti e, per conseguenza, se un raggio a vibrazioni rettilinee si riflette o si rifrange, variando in diverso rapporto nell'atto della riflessione o della rifrazione le ampiezze dei raggi circolari componenti, il raggio riflesso o rifratto dovrebbe diventare ellittico ». E con esperienze mirabili per le difficoltà superate fatte con lamine di ferro trasparenti poste in un campo magnetico, e specialmente riferite al raggio rifratto, mostra che questo raggio ha la polarizzazione ellittica e conclude che

queste esperienze, se non dimostrano, rendono sommamente probabile l'esistenza di una doppia rifrazione circolare, nel senso fisico della parola, nei corpi dotati di potere rotatorio magnetico.

E dopo aver esposta un'acuta critica delle teorie del Fleischl e del Cornu, stabilisce la superficie d'onda entro corpi posti nel campo magnetico e ne esamina le proprietà. Finalmente tratta il caso generale dei fenomeni che devono prodursi quando la luce cade obliquamente sulla lamina a facce parallele posta nel campo magnetico.

* * *

Già nella memoria sulla velocità della luce nei corpi trasparenti magnetizzati, il Righi aveva trattato in appendice dei fenomeni che avrebbero dovuto osservarsi facendo interferire due raggi aventi una piccola differenza nel numero delle vibrazioni per secondo, e dimostrava che avrebbe dovuto manifestarsi un fenomeno analogo a quello dei battimenti in acustica, che nel caso dell'ottica doveva consistere in un continuo movimento di traslazione delle frangie in direzione ad esse perpendicolare con velocità tale che in un punto del diaframma avrebbero dovuto passare in un secondo un numero di frangie eguale alla differenza fra i numeri di vibrazioni delle due sorgenti interferenti.

Nell'impossibilità di far interferire due raggi scelti per quanto era possibile vicinissimi di uno spettro, Egli pensò di trarre profitto di quanto avevano dimostrato il Verdet e l'Airy, che, cioè, il raggio uscente da un nicol ruotante si può considerare come l'insieme di un raggio polarizzato circolarmente in un senso e di un raggio polarizzato circolarmente di senso opposto di diverso numero di vibrazioni, così che se N è il numero di vibrazioni del raggio incidente sul nicol ed n il numero dei giri del nicol per secondo, uno dei raggi polarizzati circolarmente possiede un numero di vibrazioni $N + n$, e l'altro un numero di vibrazioni $N - n$. Egli, infatti, ha trovato altri casi nuovi, simili al precedente, nei

quali si possono ottenere due raggi interferenti i quali differiscano di un certo numero di vibrazioni. Tra questi merita speciale interesse il seguente: se un raggio a vibrazioni circolari di N vibrazioni al secondo, viene fatto passare in direzione normale per una mica di mezz'onda, che giri uniformemente nel proprio piano in ragione di n giri per secondo, all'uscita esso può esser considerato come un raggio di $N + 2n$ vibrazioni per secondo per un dato verso della rotazione, e di $N - 2n$ vibrazioni per secondo se la rotazione avviene in senso contrario.

Ora il Righi facendo passare della luce polarizzata circolarmente e della quale otteneva le frangie con un biprisma, attraverso due lamine di mezz'onda, in modo che uno dei fasci interferenti passasse per una delle lamine fissa e l'altra per la seconda lamina dotata di movimento uniforme, ottenne il risultato previsto dello spostamento delle frangie quando la mica girevole ruotava, mentre le frangie rimanevano fisse se la mica girevole restava ferma.

Questa esperienza rispondeva vittoriosamente, come Egli dimostrò più tardi (1910), alle critiche che alle sue ricerche erano state mosse dall'Abels e dal Wood.

Anche adoperando un'altra disposizione, usando, cioè, del parallelepipedo di quarzo del Fresnel, Egli ottenne il fenomeno dei battimenti. Sono queste esperienze molto brillanti, che servono mirabilmente a dare una immagine concreta della natura vibratoria dei fenomeni luminosi.

Una forma molto singolare dei battimenti luminosi, Egli diede inoltre (1883) con gli anelli del Newton in movimento.

* * *

Uno studio ampio ed accurato (1887) il Righi ha fatto sui fenomeni che si producono colla sovrapposizione di due reticoli: e, cioè, su quelle striscie alternativamente oscure e chiare che si manifestano sovrapponendo due pezzi di tela metallica o due pezzi di stoffa assai rada, come i veli a maglie quadrate. La distanza delle frangie dipende dall'inclina-

zione dei due reticoli. Dopo aver fatta un'ampia trattazione matematica dell'argomento, giunse ad una importante conseguenza, che, cioè, se, disposti quasi parallelamente due reticoli uno dei quali con i tratti verticali e l'altro leggermente inclinato, si dà ad uno di essi uno spostamento verso destra, le frangie si devono spostare, per es. verso l'alto, e l'aspetto delle frangie ritorna identico a quello iniziale quando lo spostamento laterale di un reticolo è eguale all'intervallo che separa due tratti del reticolo medesimo: così con due lastre con otto righe per millimetro, poste in modo da dare frangie distanti 20 mm., uno spostamento di $\frac{1}{8}$ di mm. di una delle lastre deve spostare le frangie stesse di 20 mm.. Lo spostamento delle frangie era dunque 160 volte quello della lastrina. Il Righi pensò subito di trarne partito per la misura di piccolissimi spostamenti. Questo lavoro del Righi è un esempio mirabile delle sue immense risorse per superare le difficoltà sperimentali e della sua grande tenacia nel raggiungere lo scopo che si era prefisso.

* * *

Un prezioso apparecchio di misura (1885) per determinare l'orientazione del piano di polarizzazione è stato ideato dal Righi nel suo polarimetro a penombra, che riunisce in sé i pregi che si trovavano invece distribuiti in vari altri polarimetri. L'apparecchio è troppo noto per richiedere ulteriori notizie: si deve pure al Righi un metodo molto esatto (1892) per la scelta di lastre birefrangenti di conveniente spessore, per produrre sui due raggi una differenza di fase di $\frac{1}{4}$ o di $\frac{1}{2}$ periodo relativamente ad una data lunghezza d'onda.

* * *

Un contributo di grande importanza il Righi apportò nello studio dei fenomeni magnetici e specialmente della magnetizzazione dell'acciaio.

In una nota preventiva (1880) così Egli si esprime: « Alcune idee teoriche connesse ad una teoria dei fenomeni magnetici, della quale mi occupo da qualche tempo, mi hanno con

dotto ad una singolare conseguenza, la quale è in opposizione con fatti universalmente noti, ma che tuttavia lo esperimento ha con ogni precisione confermata ».

« Si sa da molto tempo che una sbarra di acciaio, circondata da un'elica magnetizzante, conserva tanto meno di magnetismo quanto maggiore è il rapporto del suo diametro alla sua lunghezza, supposto che sia di forma cilindrica. Per cui mentre un lungo e sottile ago di acciaio conserva una parte rilevante del magnetismo indotto, un grosso e corto cilindro invece non ne ritiene che una piccolissima frazione. Ciò premesso, ecco qual'è la previsione teorica:

« Se si prendono sbarre cilindriche di un dato diametro di più in più corte, dovrà raggiungersi una certa lunghezza (per ogni dato valore della forza magnetizzante) con la quale il magnetismo permanente sarà nullo: mentre per lunghezze ancora minori, si dovrà ottenere una polarità permanente inversa della polarità temporaria, presentata durante il passaggio della corrente ».

« Dopo pochi tentativi, ottenni dall'esperienza una splendida conferma ».

Accenna in seguito ad alcune precauzioni necessarie fra le quali quella di non togliere il cilindro d'acciajo dal rocchetto se non dopo di aver aperto il circuito.

Nella seduta del 20 maggio 1880, Egli presentava alla Accademia di Bologna una memoria completa sull'argomento. Le idee teoriche, alle quali accennava nella nota preventiva, consistevano nell'attribuire la magnetizzazione ad uno spostamento angolare delle molecole permanentemente magnetizzate, adottando l'ipotesi del Weber relativa alla forza che tende a ricondurre le molecole deviate verso la posizione iniziale, quella dell'esistenza dell'attrito molecolare e dell'influenza che ha la velocità acquistata dalle molecole per superare più o meno questo attrito.

Anche questa memoria, corredata da ampia trattazione matematica, mostra tutta l'importanza del metodo seguito da

Righi: adottata un'ipotesi, che Egli col suo profondo acume riteneva la più veritiera per spiegare un fenomeno, con quella sagacia che costituiva uno dei suoi pregi più caratteristici, ne sviscerava tutte le più ardite conseguenze che sottoponeva al controllo sperimentale: così anche in questo caso della magnetizzazione ha dato alla teoria del Weber il più valido appoggio.

Secondo la teoria dell'attrito molecolare, la magnetizzazione temporanea consisterebbe nell'orientazione, per effetto della corrente magnetizzante, delle molecole dotate di una polarità stabile, mentre la magnetizzazione permanente sarebbe dovuta ad una specie di attrito per il quale le molecole non possono più tornare completamente alla loro posizione iniziale al cessare della corrente: così che la posizione in cui si arresta una molecola deve dipendere dalla velocità con la quale si sposta.

E con metodi quanto mai semplici, dimostra appunto che il magnetismo temporaneo e permanente non dipendeva soltanto dall'intensità della forza magnetizzante, ma anche dal modo come essa comincia e cessa; ed osserva infatti nelle varie circostanze un magnetismo temporaneo massimo ed uno minimo. E ciò spiega la magnetizzazione inversa. Prevede gli effetti che deve produrre sulla magnetizzazione un involucro metallico che, collocato dentro l'elica magnetizzante, circondi il nucleo di acciaio, per le correnti di induzione che prendono origine e che modificano il tempo nel quale ha luogo la variazione del campo magnetico, effetto che l'esperienza pienamente conferma: e così spiega la varia distribuzione del magnetismo nell'interno della sbarra. Finalmente Egli trova che « il momento magnetico temporaneo di una sbarra, ottenuto con corrente di data intensità, è maggiore se si arriva a questa intensità partendo da una più grande, che quando vi si giunge partendo da zero: e ciò ha luogo anche se le variazioni di intensità della corrente sono tutte gradualì ».

Il Righi può dunque considerarsi come lo scopritore del fenomeno che si attribuisce al Warburg e che nel 1882 Ewing

ha chiamato col nome isteresi. La memoria del Warburg è infatti della fine del 1880, posteriore, cioè, di parecchi mesi a quella del Righi.

Un'altra questione, che aveva dato risultati contraddittori, fu trattata dal Righi, quella, cioè, delle modificazioni di lunghezza presentate da una sbarra di ferro o di acciaio, per azione del magnetismo (1879).

Il Righi impiega per questo studio la stessa disposizione sperimentale che aveva adoperato per i coibenti armati, disposizione che Gli permetteva di accertare e misurare variazioni di lunghezza assai piccole. Con questa disposizione ha potuto verificare le variazioni di lunghezza del ferro e dell'acciaio in direzione delle linee di forza magnetiche, che in parte persistono anche cessata la forza magnetizzante: mentre mandando una corrente attraverso la sbarra osserva, al momento della chiusura del circuito, un accorciamento, che persiste in parte anche cessata la corrente: l'accorciamento in tal caso era dovuto al magnetismo trasversale.

Con lo stesso apparecchio adoperato in queste misure, il Righi volle risolvere (1887) anche la questione se, per il passaggio di una corrente in un filo, si producesse un allungamento indipendente da quello dovuto al calore Joule. I risultati sino allora ottenuti non erano concordanti ed il Righi trova che non esiste dilatazione *galvanica* o, se esiste, doveva esser tale da sfuggire ai più delicati strumenti di misura. La sensibilità dell'apparecchio adoperato dal Righi era tale che uno spostamento di $\frac{1}{2}$ mm. nella scala corrispondeva ad un allungamento del filo di un ventimillesimo di millimetro.

* * *

È noto quale vasta serie di lavori sia stata fatta col radiometro del Crookes (1873). Il Righi ha pubblicato sull'argomento una breve nota, la quale presenta un particolare interesse per una esperienza che decide in modo sicuro esser la causa della rotazione nell'interno stesso del radiometro: capovolto infatti il radiometro in modo che il molinello e il

bulbo fossero solidali, il Righi rese mobile tutto l'apparecchio sospendendolo ad un filo e trovò che sotto l'azione delle radiazioni esso non presentava il più piccolo spostamento.

* * *

La scoperta del telefono (1876) sedusse subito il Righi: con la sua consueta originalità inventiva, pensò che il telefono avrebbe potuto dare suoni più intensi se attivato da una corrente, la cui intensità avesse potuto variare sincronicamente con le vibrazioni sonore che dovevano esser trasmesse. Per raggiungere tale scopo ricorse alla nota proprietà delle polveri di variare la loro resistenza al variare della pressione: così ideò un nuovo trasmettitore, dove un piccolo stantuffo, applicato al centro di una larga membrana, comprimeva dolcemente una colonnina di polvere metallica contenuta in un tubetto di vetro ed applicata ad una laminetta metallica molleggiante. Una corrente di pochi elementi, che attraversava il piccolo stantuffo, la colonnina di polvere metallica e la laminetta molleggiante era mandata al ricevitore, nel quale l'ordinaria membrana di ferro era collocata nel centro di una più grande membrana di pergamena e la calamita era più grande e più potente di quelle ordinariamente usate. Con questo nuovo trasmettitore e col ricevitore così modificato, ottenne risultati assai notevoli, così che i suoni prodotti e le parole pronunciate davanti al trasmettitore potevano esser distintamente percepite da un numeroso uditorio. Questo nuovo sistema telefonico è stato da Lui comunicato nel marzo 1878 all'Accademia di Bologna. Le esperienze vennero da Lui ripetute con grande successo nella sera del 27 aprile 1878 nella sala della Società di Incoraggiamento di Milano e nella sera del 27 agosto nel grande anfiteatro del Conservatorio di Arti e Mestieri di Parigi. Altre esperienze con ottimi risultati furono fatte su linee telegrafiche e tra queste sulla linea Ferrara-Bologna (47 km.): ma il Righi non si inebbrì di questi così promettenti risultati e tornò subito alle sue predilette ricerche scientifiche.

* * *

La scoperta fatta da Hall (1880) del fenomeno, che porta il suo nome, ha aperto per la sua grande importanza un vasto campo di ricerche; ed il Righi ha lasciato anche in questo campo una traccia indelebile con i suoi interessantissimi studi.

È noto come uno dei punti più discussi del fenomeno di Hall fosse quello di stabilire se esso fosse dovuto ad una azione diretta del magnetismo sulla corrente che attraversa il conduttore o fosse invece un'azione del magnetismo sulla materia ponderabile: in ogni modo il Righi pensò che « il fenomeno dovrebbe verificarsi non solo nel caso particolare di una foglia metallica a forma di croce con quattro elettrodi, come nella classica esperienza di Hall, ma con foglie metalliche di altre forme e con elettrodi diversamente collocati. Qualunque sia infatti la forma della foglia percorsa dalla corrente, la distribuzione di questa dovrà variare eccitando l'elettrocalamita, ed in particolare dovrà quindi variare anche l'intensità di due correnti parziali, nelle quali la corrente principale sia suddivisa nella foglia in un modo qualunque ».

Se si applicano dunque ad una foglia d'oro tre elettrodi, e si fa entrare la corrente per uno di essi ed uscire per gli altri due, facendo circolare le due correnti derivate in senso contrario nei due fili di un galvanometro differenziale regolato in modo che l'ago rimanga in riposo al passaggio delle due correnti, eccitando l'elettrocalamita si dovrà avere una deviazione in un senso o nell'altro; dovuta al fatto che l'intensità deve aumentare in uno dei due circuiti e diminuire nell'altro. Confermato con l'esperienza che il fenomeno di Hall si manifestava anche in questo modo, Egli aveva così un mezzo di adoperar foglie piccole ed irregolari, quali si possono ottenere da quei corpi che difficilmente possono ridursi in foglie larghe e a contorni regolari. Con questo nuovo procedimento Egli mise in evidenza che, rimanendo costante la direzione della corrente nell'elica magnetizzante, il fenomeno non muta di senso nella foglia invertendo il senso della corrente che at-

traversa la foglia medesima, concludendo che, dopo questo risultato, si dovesse rinunciare a spiegare il fenomeno con una azione del campo magnetico sulla corrente e « attenersi invece all'altra ipotesi che per l'azione del magnetismo avvenga nella foglia d'oro una *variazione rotatoria di resistenza*, in virtù della quale le linee equipotenziali girino in senso opposto alla corrente magnetizzante ».

Approfittando poi del suo nuovo metodo, pensò di sottoporre all'esperienza il bismuto, per le sue singolari proprietà, per vederne il comportamento rispetto al fenomeno di Hall: e trova che nel bismuto il fenomeno di Hall si presentava con una sorprendente intensità, circa 13 mila volte più che nell'oro: e dopo aver con ingegnosi procedimenti ottenute delle laminette di bismuto assai sottili, ebbe la soddisfazione di vedersi manifestare il fenomeno di Hall con piccole calamite e in ultimo per mezzo del solo magnetismo terrestre.

Alcune anomalie nelle deviazioni osservate nel bismuto mentre studiava il fenomeno di Hall, convinsero il Righi che un altro fenomeno vi fosse sovrapposto e precisamente « quello di una variazione di resistenza prodotta nel bismuto dal campo magnetico, indipendentemente dalla direzione di questo e che si annunciava essere molto considerevole ». Così istituì nuove ricerche (1884) giungendo a dimostrare che nel bismuto l'influenza del magnetismo sulla sua resistenza elettrica specifica è considerevolmente più grande che negli altri conduttori, avendo ottenuto variazioni perfino di un ottavo della resistenza primitiva. Ha inoltre studiato la variazione della resistenza al variare della temperatura per il bismuto più o meno puro, osservando in molti casi un andamento assai singolare.

D'altra parte era allora nota l'esistenza di una quasi proporzionalità tra la conducibilità elettrica e quella calorifica per i vari metalli. Ciò fece pensare al Righi alla probabilità di un fenomeno termico analogo e, cioè, che anche la conducibilità termica del bismuto dovesse diminuire quando viene posto in un campo magnetico: e con esperienze (1887) nelle quali ha

dovuto superare molte difficoltà, dimostra in modo indubbio che realmente la conducibilità termica del bismuto viene diminuita quando venga posto in un campo magnetico trasversalmente alle linee di forza.

Stabilito questo fatto essenziale, il Righi ha fatto altre esperienze per riconoscere se il magnetismo determini pure una rotazione delle linee isoterme, analoga alla rotazione delle linee equipotenziali alla quale è dovuto il fenomeno di Hall, ottenendo una piena conferma sperimentale.

Tutto questo importantissimo complesso di ricerche fatte dal Righi sul bismuto ha aperto un vastissimo campo di ulteriori studi.

All'epoca di queste ricerche la teoria degli elettroni non esisteva: il Righi ha dedicato un capitolo alla spiegazione dei precedenti fenomeni, secondo la teoria elettronica della conduzione metallica, nel suo libro sopra « *I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo* » (1918), dove mette anche in evidenza le probabili cause per le quali la nuova teoria non è sufficiente per spiegare tutti i fenomeni osservati.

* * *

Contemporaneamente a queste notevoli ricerche sul fenomeno di Hall, altre il Righi ne pubblicava, non meno notevoli, sul fenomeno del Kerr. Esse sono riportate in due estese memorie, nelle quali la parte sperimentale viene accompagnata da una corrispondente trattazione teorica. Nella prima di queste memorie (1884), Egli incomincia anzitutto a ripetere le esperienze del Kerr: indi, modificando opportunamente il metodo di osservazione del fenomeno, in modo da conseguire maggiore precisione di misure, ne stabilisce il preciso andamento nel caso dell'incidenza normale e dell'incidenza obliqua. Nel caso dell'incidenza normale, il fenomeno si riduce sensibilmente ad una semplice rotazione delle vibrazioni incidenti, in senso contrario delle correnti molecolari che rappresentano la magnetizzazione dello specchio.

Con l'incidenza obliqua, l'influenza della orientazione delle vibrazioni incidenti diventa sempre più marcata col crescere dell'incidenza. Su questo punto Egli trova un risultato del maggior interesse: con vibrazioni incidenti parallele al piano di incidenza, il fenomeno resta poco differente da una semplice rotazione, sempre in senso contrario della corrente magnetizzante, perchè l'azione magnetica può quasi completamente compensarsi con una rotazione *dell'analizzatore*. La vibrazione riflessa è dunque ellittica di grande eccentricità. Con vibrazioni incidenti perpendicolari al piano di incidenza la vibrazione ellittica riflessa è meno eccentrica e il suo grande asse è meno inclinato rispetto alla direzione che avevano le vibrazioni prima della magnetizzazione dello specchio, ma in tal caso l'azione del magnetismo può quasi completamente esser compensata con una rotazione *del polarizzatore*: ma per una data incidenza, la rotazione dell'analizzatore e del polarizzatore per compensare l'effetto del magnetismo è sensibilmente la stessa. Questa opposizione di effetti prodotta per la rotazione *di uno dei due nicol*, secondo che il raggio incidente è polarizzato in uno o nell'altro degli azimut principali, è di grande importanza teorica.

La teoria del Fitzgerald, nella quale il ferro magnetizzato può esser assimilato ai corpi trasparenti dotati di potere rotatorio, non prevede questo diverso comportamento dei due raggi polarizzati nei due azimut principali, per la qual cosa il Righi ritiene che debba abbandonarsi: invece Egli, per certe analogie esistenti tra il fenomeno del Kerr sotto differenti incidenze e i fenomeni della doppia rifrazione ellittica prevista e dimostrata da Airy, sviluppa una nuova teoria che dà pienamente ragione dei fatti osservati. « Il principio fondamentale della nuova teoria sta nell'ipotesi che il ferro, in causa della magnetizzazione, agisce sulle vibrazioni luminose, non soltanto secondo la loro orientazione in rapporto al piano di incidenza, ma anche secondo il senso in cui avviene la rotazione se si tratta di vibrazioni ellittiche o circolari. La decomposizione di

un raggio polarizzato in raggi ellittici reciproci aventi gli assi delle loro elissi, l'uno nel piano di incidenza e l'altra in un piano perpendicolare, fornisce il modo di separare, nel raggio dato, le componenti che presentano i caratteri opposti. Se si ammette che i due raggi ellittici componenti si riflettono con differenza di fase e con una differente diminuzione di ampiezza, come i raggi polarizzati nei due azimut principali nel caso della riflessione sopra un metallo ordinario, ne deriva tutta la teoria dei fenomeni osservati, senza bisogno di alcun'altra ipotesi ». E per mostrare le differenze e le analogie esistenti tra la riflessione metallica e la riflessione sopra il polo di una calamita, riassume in un quadro di una grande chiarezza i fenomeni che si svolgono nell'uno e nell'altro caso.

A questo proposito, giustamente fa notare il Corbino che questo disuguale comportamento per i raggi a polarizzazione circolare inversa da parte di un corpo sottoposto all'azione del campo, osservato dal Righi, può essere considerato come un'anticipazione della celebre scoperta di Zeeman.

Nella seconda memoria il Righi segue un processo inverso: dopo aver con maggiore ampiezza sviluppato lo studio teorico della riflessione sopra un polo, prepara una larga messe di risultati da sottoporre in seguito all'esperienza, interessantissimo tra questi l'esistenza di una *incidenza singolare*, che non ha corrispondenza nei fenomeni della riflessione metallica ordinaria, trattando anche il caso delle riflessioni multiple su due poli opposti e paralleli. Con un perfezionato metodo di misure conferma tutti i risultati previsti dalla teoria.

I lavori del Righi sul fenomeno del Kerr meritano una particolare attenzione per l'ammirabile fusione che in essi si riscontra tra l'acuta analisi teorica e l'abilissima ricerca sperimentale.

Una ricerca complementare delle precedenti è quella fatta dal Righi (1886) sulla « luce polarizzata riflessa dalla superficie equatoriale di una calamita »: ma in questo caso, nel quale lo specchietto di ferro o di acciaio è disposto parallelamente

alle linee di forza, la ricerca è tutta sperimentale, non avendo potuto il Righi trovare una teoria che potesse render ragione dei fenomeni osservati, nè estendere quella prima sviluppata. Anche questo lavoro sperimentale è, come tutti gli altri del Righi, notevole per la completa trattazione dell'argomento e per la chiarezza con cui vengono esposti i risultati conseguiti.

* * *

In due memorie teoriche (1889 - 1890), « *Sulle azioni elementari elettro-magnetiche ed elettro-dinamiche* » il Righi tratta la soluzione del seguente problema: *Quali sono le leggi di azione ponderomotrice fra due elementi di corrente e fra un elemento di corrente ed un polo magnetico, le più generati possibili, ma tali che resti verificata, « nel modo più completo » l'identità tra un piccolo circuito chiuso ed un elemento magnetico ad esso perpendicolare e concentrico. Il « modo più completo » nel quale deve esser verificata questa identità consiste, come Egli dice, in questo, che non solo debbono esser identiche le azioni esercitate dall'elemento magnetico e dal circuito chiuso sopra un qualunque elemento di corrente, ma che debbano essere identiche in ogni caso le azioni prodotte o subite dall'elemento magnetico e dal piccolo circuito ed in particolare debbono risultare identiche le azioni che l'elemento di corrente esercita sull'elemento magnetico e sul piccolo circuito.*

E per dare alla soluzione del problema la massima generalità stabilisce le formole più generali, che già con processo più complicato erano state trovate dal Korteweg, capaci di esprimere :

1.º -- l'azione tra due elementi di corrente ritenendo che questa azione consista in una forza ed una coppia :

2.º — analogamente, l'azione di un elemento di corrente sopra un polo magnetico.

3.º — analogamente, l'azione di un polo magnetico sopra un elemento di corrente.

Così ottiene nove equazioni che danno nei tre casi considerati il valore delle componenti della forza secondo i tre assi coordinati e altre nove equazioni che danno il valore delle componenti della coppia pure nei tre casi considerati e secondo i tre medesimi assi.

Eguagliando opportunamente i risultati ottenuti rispettivamente per le componenti della forza e per le componenti della coppia delle equazioni corrispondenti al 1.^o e al 3.^o caso, e quelli ottenuti rispettivamente per le componenti della forza e per le componenti della coppia nel 1.^o e nel 2.^o caso, risolve il quesito propostosi.

La conclusione a cui giunge è che « nè la formula di Grassmann, nè quella di Helmholtz, nè nessun'altra che, come queste, implichi l'esistenza di un potenziale elementare, soddisfa alle relazioni trovate e che insomma fra le formole elettrodinamiche solo quella di Ampère è compatibile colla ammessa « identità completa » per soddisfare alla quale bisogna: 1.^o adottare la formula di Laplace come formola elementare elettromagnetica; 2.^o supporre sempre la forza applicata all'elemento di corrente; 3.^o assumere la formula di Ampère per esprimere l'azione di un elemento di corrente sopra un altro ».

* * *

A tutta quest'opera già così vasta e notevole, per la quale il Righi avrebbe meritato un posto eminente tra i fisici contemporanei, deve ora aggiungersi tutta quella ancor più vasta e notevole da Lui compiuta nel campo delle teorie moderne e, cioè, della teoria della ionizzazione, della teoria elettronica e conseguentemente della costituzione della materia, della teoria elettromagnetica della luce e della teoria della relatività.

Furono le esperienze del Crookes sulla materia radiante che esercitarono la più grande influenza sulla sua futura opera scientifica in questi nuovi e così interessanti argomenti. Egli stesso ne parla in una sua memoria e così si esprime:

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

Convinto che i raggi catodici consistessero di particelle elettrizzate in moto, era naturale che Egli ritenesse ogni fenomeno di scarica elettrica come effetto di una speciale convezione: così Egli spiegava la scarica di una punta elettrizzata come dovuta ad innumerevoli particelle, elettrizzate dalla punta medesima e da essa violentemente respinte. Non è questa certamente la spiegazione che si dà oggi del fenomeno nella teoria della ionizzazione: ma, come vedremo, la differenza è minore di quanto a prima vista potrebbe sembrare.

Conosciuto il fenomeno dell'ombra elettrica, osservato da Hittorf e Goldstein e con tanta eleganza dimostrato dal Crookes, il Righi intuì il modo di ottenere un analogo fenomeno nell'aria all'ordinaria pressione per mezzo di una punta. Questo il punto di partenza di quelle geniali ricerche sulle « Ombre elettriche » che sono riassunte in due memorie (1881-1882), ricerche compiute in un periodo nel quale il Righi si trovava appena convalescente di una gravissima malattia, che tanto fece temere della sua vita.

Secondo il concetto del Righi, ogni particella elettrizzata, respinta dalla punta e in causa della resistenza del mezzo, deve in complesso muoversi nel campo elettrico secondo una traiettoria che deve differire pochissimo da una linea di forza, e quindi le ombre elettriche devono esser corrispondenti a quelle regioni nelle quali dovrebbero arrivare le particelle che sono invece intercettate dall'ostacolo che proietta l'ombra. Con numerosissime esperienze Egli conferma la previsione teorica, dando per tutte le varie forme di ombre otte-

nute la spiegazione secondo l'ipotesi ammessa, mentre in apposito capitolo rende conto dei tentativi fatti per giungere a tracciare sperimentalmente le linee di forza.

Le varie disposizioni sperimentali del Righi per ottenere le ombre elettriche sono troppo note e non è perciò il caso di riassumerle; ma in un altro lavoro sulle « figure elettriche in forma di anelli » (1882) dà la spiegazione delle così dette *ombre composte*, che si osservano in determinate circostanze su lastre coibenti proiettando il noto miscuglio di minio e di zolfo, e dimostra che le figure in forma di anello sono dovute alla scarica della stessa lastra coibente, mentre il von Bezold, che prima le aveva studiate, ne attribuiva la causa ad oscillazioni della scarica medesima.

Merita qui di esser ricordato un altro lavoro del Righi, quello, cioè, sulle scintille in un campo elettrico trasversale (1881). Le due sfere, tra le quali avviene la scarica, si trovano tra due grandi lastre piane, che si mantengono elettrizzate facendole comunicare con i poli di una macchina elettrica indipendente da quella che produce la scintilla osservata. In queste condizioni le linee di forza devono necessariamente esser modificate e le particelle elettrizzate, il cui moto, secondo le idee del Righi, doveva precedere la scarica, erano sollecitate a muoversi secondo le direzioni delle nuove linee di forza e quindi presentare degli spostamenti rispetto alla traiettoria che avrebbero seguito se il campo trasversale non fosse esistito. Questi spostamenti delle scintille sono stati infatti osservati dal Righi: ed anche qui si vede come la spiegazione che Egli dava di queste esperienze sia molto vicina a quella della moderna teoria, in quanto che le particelle elettrizzate del Righi compivano lo stesso ufficio che oggi viene attribuito ai ioni.

* * *

Il fenomeno scoperto da Hertz (1887) sull'azione delle radiazioni più rifrangibili dello spettro sulle scariche elettriche e specialmente il lavoro di Hallwachs sulla dispersione

dell'elettricità negativa per opera delle stesse radiazioni, richiamarono vivamente l'attenzione del Righi, che intuì subito in questi fenomeni un intimo legame con le sue idee già esposte nei precedenti lavori. E in questo nuovo campo dei fenomeni foto-elettrici, Egli compì una serie memorabile di ricerche, che pubblicò in sei note (1888) ed in tre memorie (1888-89).

È noto che per osservare la dispersione dell'elettricità per azione delle radiazioni basta illuminare per mezzo dell'arco elettrico un piatto comunicante con un elettroscopio: se l'elettricità è negativa, il piatto metallico si scarica rapidamente, mentre con elettricità positiva l'effetto è nullo. Questo il metodo adoperato da Hallwachs. Il Righi volendo osservare se le radiazioni ultra-violette modificavano le cariche che assumono due conduttori affacciati, posti precedentemente per un istante in comunicazione, fece uso di un nuovo metodo, che in seguito fu largamente seguito da altri: una lamina metallica A è posta in comunicazione con una coppia di quadranti di un elettrometro molto sensibile: una rete metallica B, posta vicinissima e parallela alla lamina A, comunica col suolo e con l'altra coppia di quadranti: se si carica l'ago con un centinaio di elementi e si fissa lo zero dell'elettrometro quando tutto è al suolo, isolando i quadranti comunicanti con A e mandando le radiazioni dell'arco attraverso la rete sulla stessa lastra A, si vede che l'elettrometro devia.

Il Righi osservò che dopo raggiunta la deviazione massima, essendo però la rete vicinissima alla lastra, allontanando la lastra A rapidamente, la deviazione dell'elettrometro rimaneva immutata: ciò dimostrava che le radiazioni avevano ridotti i due metalli allo stesso potenziale. Da ciò un mezzo assai preciso per misurare le differenze di potenziale tra due metalli nell'aria o in un gas qualunque, di cui in seguito il Righi fece larga applicazione. Il sistema disco-rete si comportava, mentre riceveva le radiazioni, come una coppia voltaica a circuito aperto, che il Righi chiama *coppia fotoelettrica*: riunendo

poi diverse coppie foto-elettriche, ottenne una vera *pila foto-elettrica*. La serie deve esser così costituita: rete di zinco (al suolo) - lastra di rame - rete di zinco - lastre di rame..... rete di zinco - lastra di rame comunicante con l'elettrometro: le radiazioni devono tutte colpire le lastre di rame: con 20 coppie foto-elettriche la deviazione corrispondeva a circa 20 volta. Invertendo le comunicazioni col suolo, la deviazione diventava piccolissima ed il Righi ne spiegava la ragione per il fatto che le lamine tendevano con l'ultima disposizione a caricarsi negativamente e l'elettricità negativa viene rapidamente dispersa dall'azione delle radiazioni.

Se però la rete non è vicinissima alla lastra, allontanando la lastra, la deviazione si modifica: come conclusione di accurate misure, ponendo il disco non molto vicino alla rete, il Righi trovò una tendenza nel disco, che riceve le radiazioni, a rimanere con carica positiva. Ciò Lo indusse a sopprimere la rete e studiare l'azione delle radiazioni direttamente sulla lastra, trovando per primo come risultato generale che una lastra metallica allo stato neutro, investita dalle radiazioni, assume carica positiva. La deviazione dell'elettrometro varia con i diversi metalli sottoposti alle esperienze i quali seguono sensibilmente la serie del Volta, essendo l'effetto massimo presentato da quelli più elettro-negativi e minimo da quelli più elettro-positivi.

Questo fenomeno interessantissimo è diverso da quello della dispersione dell'elettricità negativa, la quale avviene più rapidamente sullo zinco (elettro-positivo) che nell'oro (elettro-negativo).

In seguito trova che anche i corpi semi-conduttori o isolanti assumono cariche positive se vengono investiti dai raggi più rifrangibili tra gli ultra-violetti.

Infine dimostra che « la carica positiva che assume un conduttore, quando è colpito dalle radiazioni ultra-violette raggiunge il suo valor limite, allorchè la densità elettrica del

conduttore arriva ad un valore determinato, costante per un medesimo conduttore ».

Ma in tutte queste esperienze il Righi è guidato sempre dalla sua idea di un trasporto delle cariche negative operato dalle particelle gassose sotto l'influenza delle radiazioni, contrariamente all'ipotesi sostenuta dall'Arrhenius, che, cioè, i gas, sotto l'azione delle radiazioni ultra-violette, acquistassero una specie di conducibilità elettrolitica.

È della massima importanza conoscere come il Righi spiegava questa carica positiva acquisita dai conduttori sotto l'azione delle radiazioni. Egli così si esprime:

« Per ragioni ancora ignote le radiazioni ultra-violette, allorchè cadono sopra un metallo, obbligano le particelle gassose prossime alla sua superficie, o che a questa aderiscono, ad allontanarsene con carica negativa, lasciando al conduttore altrettanto di elettricità positiva. Mano a mano che il conduttore si carica positivamente, cresce d'intensità la forza elettrostatica esercitata dal conduttore sulle particelle, la quale forza tende evidentemente ad opporsi al loro moto. Sarà soltanto quando la forza elettrostatica ha raggiunto un determinato valore, capace di equilibrare la forza sviluppata dalle radiazioni, e per la quale le particelle gassose tendono ad allontanarsi con carica negativa, che il fenomeno di trasporto cesserà, e quindi cesserà d'accrescersi il potenziale del conduttore. Si spiega così come occorra un valor costante della densità superficiale e quindi della forza elettrostatica presso la superficie, indipendentemente dal potenziale del conduttore, onde sia raggiunto questo stato di equilibrio ».

E per verificare questa sua teoria della convezione elettrica, che oggi riconosciamo così affine alla teoria della ionizzazione, il Righi cerca tutte le possibili conseguenze per sottoporle al controllo delle esperienze: e le esperienze, magistralmente eseguite, confermano le previsioni. Ammesso il trasporto della carica negativa per opera delle particelle del gas ambiente, era naturale che Egli pensasse che le molecole gassose elettrizzate

che partono da un corpo elettrizzato negativamente sul quale cadono radiazioni ultra-violette, dovessero muoversi regolarmente secondo traiettorie poco dissimili dalle linee di forza. In tal modo collega il nuovo campo di azioni foto-elettriche alle sue anteriori ricerche delle ombre elettriche, e, considerando casi molto semplici, nei quali era ben noto l'andamento delle linee di forza, prova con l'esperienza che realmente le molecole elettrizzate partenti dalla superficie del metallo investito dalle radiazioni seguono sensibilmente nel loro moto le linee di forza del campo.

Il Righi era così convinto della grande importanza del suo concetto, che le azioni foto-elettriche fossero, cioè, dovute a fenomeni di convezione, che ad illustrare la sua teoria dedica intera la seconda memoria. Per azione dei raggi ultra-violetti su lastre coibenti riesce ad ottenere delle figure col solito miscuglio di minio e zolfo e riproduce il fenomeno delle ombre elettriche, come pure riesce a dimostrare le deformazioni che risultano per la presenza di corpi elettrizzati per le corrispondenti modificazioni dell'andamento delle linee di forza. In questa memoria è riportata una interessantissima esperienza, e, cioè, lo spostamento dell'ombra elettrica sopra una lastra di ebanite per l'azione di una corrente d'aria inviata normalmente alla direzione delle linee di forza del campo, dal quale spostamento il Righi riesce a calcolare in modo approssimativo la velocità con cui si muovono le particelle elettrizzate e trova valori compresi tra 55 m. e 146 m., concludendo che « la velocità delle particelle elettrizzate, che trasportano l'elettricità negativa, è tanto maggiore quanto minore è la distanza tra i due piani oppostamente elettrizzati, fra i quali esse si muovono ». È questa la prima esperienza di misura della velocità delle particelle elettrizzate che producono la convezione elettrica.

* * *

La terza memoria è invece dedicata a confortare di nuove delicate esperienze il fatto già da Lui stabilito precedente-

mente che, cioè, « la densità elettrica massima o finale del corpo illuminato dipende dalla sua natura e non dalla sua capacità elettrostatica » e misura la densità elettrica massima per vari conduttori nell'aria, estendendo le sue ricerche a varie temperature.

Per indagare poi se le particelle che trasportano le cariche negative fossero quelle del gas che naturalmente aderisce al corpo sul quale agiscono le radiazioni, ricorre allo studio di figure, analoghe a quelle del Moser, che Egli aveva altre volte avuto occasione di osservare e che, in determinate condizioni, si manifestano alitando sopra una lastra speculare che abbia servito come elettrodo e trova « che molto probabilmente il gas aderente non ha parte diretta nei fenomeni foto-elettrici ed almeno non ha una parte necessaria ». Finalmente studia le azioni foto-elettriche a diverse pressioni, giungendo al risultato generale che la convezione aumenta col crescere della rarefazione: ma, quasi presentisse il futuro sviluppo della convezione elettrica, conclude come « restasse ancora da dimostrare di quale natura fossero le particelle materiali che trasportano la carica negativa dal conduttore illuminato ai conduttori vicini ».

Nel corso delle sue prime ricerche sulla azione delle radiazioni sull'elettricità di contatto, aveva osservato che la differenza di potenziale tra selenio cristallino e un metallo qualunque variava sotto l'influenza della luce. Di questo singolare ed interessante fenomeno il Righi ha fatto uno studio esauriente che ha pubblicato in una memoria « *Sull'azione della luce sulla forza elettro-motrice di contatto del selenio* » (1888).

Fra le altre proprietà del selenio, rimarchevole era quella di dare origine a correnti elettriche quando era esposto alla luce: ma la produzione di queste correnti era molto incerta e variabile e generalmente cessava col tempo, mentre la variazione della differenza di potenziale trovata dal Righi si presenta immancabilmente, qualunque sia la maniera con la quale il selenio viene preparato.

Con accuratissime misure conferma anzitutto che questa differenza di potenziale, misurata nell'aria, tra selenio cristallino e un metallo qualunque varia quando il selenio viene illuminato; ma poichè l'azione della luce è superficiale, la variazione osservata non è che la differenza di potenziale tra selenio illuminato e selenio nell'oscurità ed è in media di 0,1 volta. Un disco di ottone coperto in una faccia di selenio cristallino ed una rete metallica pure di ottone posta vicinissima costituiscono un condensatore che si carica illuminandolo, dopo scaricato nell'oscurità, o portandolo nella oscurità dopo che fu scaricato alla luce: trova che parecchi condensatori riuniti in serie o in superficie possono dare effetti maggiori.

Riguardo poi alla legge con cui varia il potenziale del selenio cristallino con l'intensità luminosa, essa può esprimersi con una formola identica a quella che esprime la legge psicofisica del Fechner.

Se poi il selenio è messo in circuito tra due metalli, il circuito stesso è percorso da corrente, ciò che indica che il selenio non segue la legge del Volta e la direzione della forza elettro-motrice è generalmente la stessa di quella che si avrebbe mettendo dell'acqua al posto del selenio e ne conclude esser bene abbandonare il concetto che la corrente di queste pile sia dovuta ad una trasformazione dell'energia luminosa in energia elettrica, perchè esse funzionano anche nell'oscurità.

Comprimendo gli elettrodi di una pila a selenio varia la forza elettro-motrice e l'effetto è contrario a quello prodotto dalla luce: il potere termo-elettrico della coppia piombo puro-selenio cristallino (trasformato a 120°) è sensibilmente costante dalla temperatura ordinaria a quella di fusione del selenio.

In una breve nota « *Sulle coppie a selenio* » (1888) risponde a qualche obiezione che era stata fatta sulle esperienze della memoria precedente, riconfermando i risultati ottenuti.

In ulteriori ricerche (1890) il Righi ritorna alle sue predilette ombre elettriche: e poichè per mezzo delle azioni foto-elettriche aveva potuto dimostrare rigorosamente che le par-

ticelle elettrizzate seguivano sensibilmente le linee di forza del campo, mentre questa dimostrazione rigorosa non aveva potuto dare per la dispersione dell'elettricità fatta da una punta perchè le esperienze relative meno si prestavano a misure, riprende l'argomento. L'esperienza vien fatta collocando un filo sottilissimo nell'asse di un cilindro metallico, che portava 12 fenditure parallele alle generatrici ed equidistanti tra loro. Una lastra di ebanite collocata sopra un disco metallico serviva per ricevere l'impressione delle particelle elettrizzate che passavano attraverso le fenditure. Scaricando una bottiglia di Leyda tra il filo e il disco metallico e proiettando sull'ebanite le polveri, osservava delle striscie, rosse o gialle a seconda che il filo era positivo o negativo, rettangolari e parallele al filo medesimo. Misurando la posizione di queste striscie, poichè in questo caso particolare le linee di forza sono ben precisate, trova che le striscie si formano dove la teoria indica che la lastra è colpita dalle linee di forza che attraversano le fenditure. L'esperienza può farsi anche mettendo al posto dell'ebanite un cartone bianco con polvere conduttrice. E siccome era noto che dalla superficie dei fili metallici roventi o per mezzo di una fiamma si otteneva una rapida dispersione delle cariche elettriche, così applica questi due processi per ottenere, come con una punta metallica, le ombre elettriche, generalizzando così anche a questi casi particolari il concetto della convezione elettrica nella dispersione delle cariche.

Proseguendo poi nelle sue deduzioni teoriche pensa « *che le traiettorie dovrebbero differire di più in più dalle linee di forza, rarefacendo l'aria nella quale le particelle si muovono ed anzi colle più forti rarefazioni esse dovrebbero divenire quasi rettilinee, come accade appunto per le particelle di materia radiante nei tubi del Crookes* ».

E per risolvere questo problema, istituisce una nuova serie di ricerche che furono l'argomento di una quarta memoria (1890) intitolata « *Sulla convezione foto-elettrica e su altri*

fenomeni elettrici nell'aria rarefatta ». La convezione ha luogo a partire da una determinata generatrice di un cilindro, mentre l'elettricità trasportata è raccolta da un elettrometro posto successivamente in comunicazione con varie porzioni lineari del piano dove sono rivolte le linee di forza. Così Egli trova che « mentre alla pressione ordinaria dell'aria la convezione foto-elettrica si fa sensibilmente secondo le linee di forza, rarefacendo l'aria il fascio costituito dalle particelle in moto va via via allargandosi ». Il fenomeno però è molto complesso ed il Righi dà di tutti i risultati una piana e facile spiegazione applicando sempre le sue vedute.

E riprendendo le sue misure sulla dispersione foto-elettrica, trova che « il coefficiente di dispersione è massimo ad una pressione che coincide sensibilmente con quella alla quale il gas presenta la minima resistenza elettrica alla scarica » : altri notevoli risultati ottiene riguardo alla forza elettro-motrice prodotta dalle radiazioni a rarefazioni elevate. Ma un risultato merita speciale attenzione, perchè quasi prelude ad un vasto campo di ricerche molto dopo aperto dal Righi: quello, cioè, che riguarda l'azione di un campo magnetico. Il Righi, infatti, trova che « *nel campo magnetico la forza elettro-motrice prodotta dalle radiazioni cresce assai meno dell'ordinario al crescere della rarefazione dell'aria ambiente, ed anzi entro certi limiti e nel caso di intensità magnetica assai grande, resta quasi costante* ».... « *Si direbbe quindi che le particelle che trasportano l'elettricità negativa del disco alla rete trovino un certo ostacolo a muoversi in un campo magnetico* ».

* * *

In un successivo lavoro (1889 e 1890) applicando il metodo foto-elettrico, di cui si è prima parlato, alla misura della differenza di potenziale di contatto, determina la differenza del potenziale medesimo per diversi metalli collocati in gas differenti allo scopo di stabilire quale influenza abbia il gas ambiente. Trova così che questa differenza di potenziale non muta

sensibilmente sostituendo, all'aria secca, aria umida o anidride carbonica ovvero anche diminuendo la pressione. Anche con l'idrogeno si giunge ad identico risultato, purchè non si adoperi per uno degli elettrodi il platino, il palladio, il nichel ed il ferro, poichè ognuno di questi metalli, benchè in grado diverso, diventa assai più positivo: così che *« tutto fa ritenere che quando si osservano variazioni nella differenza di potenziale di contatto o per assorbimento o in altro modo uno dei metalli almeno si modifichi alla sua superficie come se al metallo stesso ne venisse sostituito uno di natura diversa »*.

* * *

Dopo la scoperta del Röntgen e in particolar modo della proprietà dei nuovi raggi di render l'aria conduttrice, il Righi iniziò subito (1896) ricerche sull'argomento, che tanta affinità presentava con i suoi studi precedenti. Suo primo pensiero fu quello di vedere se i raggi X presentassero azioni analoghe alle azioni foto-elettriche dei raggi ultra-violetti. e con l'uso di una coppia foto-elettrica, nella quale la rete metallica poteva esser sostituita da una sottile lamina metallica, specialmente se di alluminio, trova che le nuove radiazioni disperdono la carica di un corpo elettrizzato negativamente e danno origine a cariche positive se investono corpi non elettrizzati: ma, a differenza dei raggi ultra-violetti, provocano anche la dispersione dei corpi elettrizzati positivamente e propone il metodo della dispersione elettrica per la misura della intensità dei raggi X. In una successiva nota (1896) dimostra che la dispersione elettrica dei raggi X è proporzionale alla loro intensità: e dopo aver riconosciuto che i raggi X producono la dispersione elettrica anche di lastre dielettriche elettrizzate positivamente o negativamente, ripete con pieno successo le esperienze delle ombre elettriche.

In seguito indaga se il gas che circonda il corpo, sul quale agiscono i raggi X, abbia un'influenza notevole, quale appunto si manifesta nel caso delle azioni foto-elettriche. E variando

la pressione del gas trova che *« fra la dispersione elettrica prodotta dai raggi Röntgen e quella prodotta dai raggi ultravioletti esiste questa diversità, che, a parità delle altre condizioni, la pressione dell' aria ambiente alla quale corrisponde il massimo della dispersione, è maggiore per i primi che per gli altri raggi »*; mentre cambiando il gas *« la dispersione varia da un gas ad un altro nello stesso senso della densità »*.

* * *

Studia poi l'influenza sulla dispersione elettrica della distanza tra un disco elettrizzato e la lamina di alluminio che gli sta di fronte ed è comunicante col suolo: e mentre per le radiazioni ultraviolette la dispersione elettrica diminuisce al crescere della distanza tra disco e reticella, nel caso dei raggi X invece cresce con la distanza tra il disco e la lamina fino ad un certo limite. Questo risultato, apparentemente paradossale, Egli dimostra che si verifica in determinate condizioni anche con le radiazioni ultra-violette e si verifica ancora senza radiazioni in aria rarefatta, quando si fa uso di potenziali appena sufficienti affinchè abbia luogo in un tubo la propagazione della elettricità. In seguito questo interessantissimo fenomeno è stato spiegato come conseguenza della teoria della ionizzazione. Finalmente prova che, contrariamente a quanto aveva annunciato J. J. Thomson *« non può considerarsi dimostrato che un dielettrico non gassoso sia reso conduttore allorchè è attraversato dai raggi del Röntgen »*.

La teoria della ionizzazione andava intanto affermandosi, e, nel caso della dispersione dell'elettricità da parte di una punta, la convezione lungo le linee di forza veniva attribuita non più alle molecole d'aria elettrizzate, ma ai ioni aventi carica omonima a quella della punta. Ed il Righi pensa *« che in certe circostanze, per esempio nei luoghi nei quali la curvatura di queste linee è assai pronunciata, potrà accadere che i ioni in moto se ne allontanino alquanto, al punto anche da abbandonare la regione ove le linee di forza esistono, per passare in altre regioni, ove il campo elettrico è sensibilmente*

nullo ». E così, dinanzi ad una punta elettrizzata, colloca una reticella metallica che chiude un'apertura di una cassa metallica, dove è contenuta la punta, e comunicante col suolo, ed esplora quel che avviene all'esterno della rete, ponendo dinanzi alla rete un piattello comunicante con un elettrometro. Trova in tal modo che effettivamente un certo numero di ioni attraversa la reticella e va a caricare il piattello: ma, poichè la carica del piattello modifica il campo elettrico interposto tra esso e la rete e per ciò dà luogo a fenomeni secondari, sostituisce all'elettrometro un galvanometro e dimostra che l'intensità della corrente diminuisce, come richiederebbe la teoria, con la distanza tra rete e disco. Sostituendo poi al piattello una lastra di ebanite ricoperta sopra una faccia con stagnola e creando tra la rete e la lastra di ebanite un campo elettrico, per esempio elettrizzando la stagnola, ottiene delle nitidissime ombre elettriche degli oggetti interposti tra la rete e l'ebanite col solito miscuglio elettroscopico. L'interesse di queste esperienze sta in ciò che riproducono alla pressione ordinaria i raggi canali, che invece si osservano nell'aria rarefatta.

La proprietà dei raggi X di agire su tutta la massa del gas da essi attraversata rendendola conduttrice, conosciuta dopo le esperienze pubblicate dal Righi, rendeva dubbio il risultato, da Lui ottenuto, della carica positiva che assumevano i corpi conduttori investiti dai raggi medesimi: restava, cioè, da risolvere la questione se i raggi X, oltre che ionizzare il gas che circonda il conduttore, esercitassero anche alla superficie di questo un'azione tendente ad elettrizzarlo; questione sulla quale i risultati di vari sperimentatori erano discordi. Ed il Righi con una serie di nuove ricerche (1903) conferma il risultato di già ottenuto da Curie e Sagnac che, cioè, nei gas rarefatti i raggi X agiscono sui metalli nella stessa maniera dei raggi ultra-violetti e, provocando l'emissione di elettroni (raggi secondari), determinano una conseguente carica positiva del conduttore da essi colpito: estende

le esperienze a molti metalli e spiega l'influenza che in questa carica esercita la distanza fra il metallo colpito dai raggi X e i conduttori circostanti.

* * *

Alcune ricerche con le sostanze radio-attive sono state pure fatte dal Righi, appena in possesso di una piccola quantità di bromuro di radio. Immagina alcune forme di elettrometri a foglie d'oro di squisita sensibilità ed in particolare uno, col quale le misure si fanno contando le battute di una fogliolina d'oro oscillante: e con questi processi sensibilissimi, dimostra la necessità di tener conto della direzione dei raggi ionizzatori rispetto ai corpi elettrizzati, che servono con la dispersione dalla carica alla misura della intensità radioattiva. In modo particolare tratta la questione delle cariche elettriche acquistate dai corpi colpiti dai raggi del radio (1905). Data la complessità della radiazione emessa, sopprimendo per assorbimento i raggi α , l'azione proponderante rimaneva dovuta ai raggi β . In tali condizioni il corpo esposto alla radiazione doveva assumere una carica negativa per l'assorbimento dei raggi β costituiti da elettroni: ma d'altra parte è noto che il corpo colpito dai raggi β emette dei raggi secondari che sono pure costituiti da elettroni e per la quale emissione il corpo dovrebbe assumere carica positiva: la carica del corpo deve quindi dipendere da quella tra le due azioni che si presentava preponderante e quindi un mezzo per studiare l'emissione dei raggi secondari. Con esperienze delicate e dopo discusse le molteplici cause di errore, trova che la carica presentata dai corpi è sempre negativa e conferma una relazione interessantissima, che già era stata trovata dal Mac Clelland che *« l'emissione dei raggi secondari è tanto più abbondante, quanto più grande è il peso atomico del corpo messo in esperienza »*. Dimostra infine come la carica negativa dipenda dallo spessore del disco investito dai raggi β , cosa prevedibile dovendo con lo spessore aumentare l'assorbimento dei raggi me-

desimi: con spessori piccolissimi, la carica diventa trascurabile la qual cosa può esser utilizzata per lo studio dei corpi non conduttori.

In una ricerca sulla diminuzione di resistenza nei cattivi conduttori prodotta dai raggi del radio, analoga a quella che con risultati discordanti si era tentata con i raggi X, con ferma quanto avevano trovato il Curie e il Becquerel e, cioè, l'esistenza di questa diminuzione.

Più tardi, in una memoria (1906) nella quale Egli considera le sue precedenti ricerche dal punto di vista della teoria elettronica, può avere la grande compiacenza di asserire che *« per rendere conto della sua opera precedente a norma delle nuove teorie basterà semplicemente una specie di traduzione, sostituendo certi vocaboli come: molecole gassose oppure particelle elettrizzate, ecc., con altri vocaboli come: ioni positivi o negativi oppure elettroni, ecc. »*. E questa traduzione Egli fa con molta chiarezza: essa costituisce la più convincente dimostrazione della grandissima parte che Egli aveva avuto nello stabilire le basi della teoria dei ioni.

Era quindi naturale che allo sviluppo della teoria della ionizzazione e della teoria elettronica il Righi seguitasse a dare in seguito tutta la fervente e geniale collaborazione, soprattutto preziosa per la sua grande ed indiscutibile competenza su tutte le questioni ad essa inerenti.

Così, riprendendo in esame altre sue antiche esperienze, tratta in una nota (1906) di alcuni casi, apparentemente paradossali, di trasmissione dell'elettricità attraverso un gas secondo le nuove vedute e specialmente quella relativa all'aumento, dentro certi limiti, dell'intensità della corrente fotoelettrica tra disco e rete al crescere della distanza tra i due conduttori medesimi e, in una successiva memoria (1907), quella della deviazione dei ioni generanti le scintille, dovuta ad un campo elettrico trasversale.

Anche la parte teorica delle nuove dottrine è stata ampiamente svolta dal Righi: ma su questa e sull'opera ulteriore

del Righi in rapporto alla teoria elettronica, sarà detto più avanti.

* * *

Qui intanto sarà conveniente ricordare un'altra questione interessantissima, studiata dal Righi, quella della distribuzione del potenziale nell'aria rarefatta percorsa da una corrente elettrica (1892). Le determinazioni precedenti non erano affatto concordi, mentre i risultati ottenuti dal Righi sono regolarissimi. Un pallone di vetro ha la sua superficie interna argentata e comunicante col suolo: nel centro è posta una sferetta che funziona da catodo, e quindi comunicante col polo negativo di uno elettromotore che deve fornire la corrente attraverso il gas rarefatto; il polo positivo dell'elettro-motore è pure al suolo. Un terzo elettrodo, che ha l'ufficio di sonda e che può spostarsi, comunica con un elettrometro o con un galvanometro nel qual caso la deviazione è dovuta alla corrente derivata, essendo l'elettrodo sonda e l'anodo (parete argentata) i punti di attacco della derivazione.

Allontanando la sonda dal catodo, il Righi trova potenziali di più in più bassi sino ad una certa distanza, oltre la quale crescono nuovamente.

« *Esiste dunque intorno al catodo una superficie ideale, nei vari punti della quale il potenziale ha il minimo valore (cioè, anche più negativo che in punti immediatamente vicini al catodo)* ». Il Righi la chiama *superficie negativa*. « *Alle due parti di essa, la discesa del potenziale non è egualmente rapida, ma lo è assai più tra il catodo e la superficie negativa che tra l'anodo e la superficie medesima* ». Se poi mentre uno dei reofori del galvanometro comunica con la sonda, si pone l'altro in comunicazione col catodo, le deviazioni sono invertite ma non si riconosce più l'esistenza della superficie negativa: ed il Righi ritiene che la causa di questo fenomeno risieda nel fatto che nel primo caso la sonda funziona come anodo interno e nel secondo caso come un catodo, per il quale do-

vrebbero verificarsi fenomeni analoghi a quelli che si osservano al catodo principale. Nella memoria completa sono ampiamente descritte le modalità di questo fenomeno, che più tardi fu da molti altri studiato come se il lavoro del Righi non fosse esistito. Queste più recenti esperienze confermano interamente i risultati da Lui ottenuti; ma ancor oggi, in trattati molto recenti, mentre si citano le pochissime ricerche anteriori e le molte posteriori a quelle del Righi, il suo nome non viene neppure ricordato e così non viene riconosciuto al Righi il merito di aver per primo stabilito l'esatto andamento della rapida caduta di potenziale in vicinanza del catodo. Nella sua memoria « *Di alcune non recenti esperienze considerate dal punto di vista della teoria elettronica* », il Righi espone la causa del fenomeno nella presenza di una carica positiva nel gas attorno al catodo, dove devono accumularsi dei ioni positivi.

Con questi lavori può unirsi la memoria « *Sulla deviazione elettrostatica dei raggi catodici nel tubo di Braun* » (1907). In essa descrive alcune esperienze che si possono facilmente eseguire senza bisogno di adoperare una batteria di accumulatori per creare il campo elettrostatico nell'interno del tubo ed anche costruendo il tubo medesimo senza le lastrine, ma adoperando conduttori esterni comunicanti o con l'anodo o col catodo o col suolo ed impiegando una macchina elettrostatica od un rocchetto per avere la scarica. Per ogni esperienza è data la più plausibile spiegazione secondo le nuove teorie.

* * *

Un campo dove il Righi lasciò un'impronta singolare della sua genialità, che resterà imperitura nella storia della Fisica, è quello delle « Oscillazioni elettro-magnetiche ». Dopo le memorande esperienze di Hertz, le previsioni del Maxwell contenute nella teoria elettro-magnetica della luce, acquistavano certamente una solida base sperimentale; ma non tuttavia tale da dare alla teoria medesima la consistenza di una verità

scientifica. Il Righi colmò questa lacuna con le sue mirabili ricerche.

Ecco come Egli precisa il suo pensiero. Dopo aver notato che le esperienze fatte in seguito a quelle di Hertz fino al giorno in cui Egli iniziava i suoi studi, « poco avevano aggiunto in appoggio dell'analogia tra le vibrazioni elettriche e le vibrazioni luminose, se si eccettuano certe esperienze relative alla riflessione o alla concentrazione delle radiazioni per mezzo di una grande lente convergente » così prosegue:

« Eppure il lato più importante del lavoro di Hertz risiede, secondo me, nell'analogia suddetta, giacchè, quando questa scaturisse intima e completa dalle esperienze, il concetto sviluppato dal Maxwell, secondo il quale i fenomeni luminosi non sarebbero che fenomeni elettro-magnetici, guadagnerebbe la fiducia maggiore ».

« Però è facile rendersi conto della ragione, per la quale poco si è progredito in questa direzione, riflettendo che la minima lunghezza d'onda ottenuta da Hertz fu di circa 66 cm. e che i continuatori dell'opera di questo fisico insigne si arrestarono a questo valore o a valori pochissimo minori. Ora se con onde elettro-magnetiche di tale lunghezza si volesse riprodurre, oltre che la riflessione e la rifrazione, anche gli altri fenomeni dell'ottica, si sarebbe costretti ad adoperare apparecchi di così grandi dimensioni, da non esser praticamente realizzabili e ciò in causa della necessità di evitare quei fenomeni di diffrazione, i quali, con i corpi di dimensioni troppo piccole, nasconderebbero ogni altro fenomeno ».

« Gli ulteriori progressi erano dunque subordinati alla possibilità di creare apparecchi, capaci di produrre onde alquanto più corte di quelle date dagli apparecchi di Hertz ed adatti ad uno studio sistematico e completo degli effetti che possono produrre le onde da essi generate ».

Rivolse quindi tutte le sue cure a costruirsi degli oscillatori che dessero piccole lunghezze d'onda e dei risonatori che avessero la maggiore possibile sensibilità: e così perviene al

suo classico oscillatore a sfere, che permise in seguito al Marconi le prime esperienze di telegrafia senza fili, ottenendo con sfere di 8 cm. di diametro lunghezze d'onda di 20 cm. e con sfere di 3,75 cm. di diametro lunghezze d'onde di 10,6 cm., mentre costruisce con sottili striscie di vetro argentato, tagliate trasversalmente con una punta di diamante, dei risonatori rettilinei, che possono facilmente regolarsi con l'oscillatore modificandone opportunamente la lunghezza, e che sono sensibilissimi per la proprietà che, a parità di potenziale, sono più lunghe le scintille che si formano sulla superficie del vetro.

Con appropriati riflettori parabolici applicati all'oscillatore ed al risonatore ottiene di estendere notevolmente il campo nel quale si manifestano azioni sensibili delle oscillazioni elettro-magnetiche.

Provvisto così di mezzi di ricerca con i quali si poteva studiare l'analogia tra i fenomeni ottici e le onde elettro-magnetiche facendo uso di apparecchi di dimensioni poco maggiori di quelli che si adoperano nello studio dell'ottica, il Righi iniziò e condusse a termine quelle interessantissime esperienze che andò pubblicando in diverse note e riassunse nella memoria presentata all'Accademia delle Scienze di Bologna il 27 maggio 1894.

Dopo aver ripetuto con la massima facilità l'esperienza classica di Hertz, verifica con le oscillazioni elettro-magnetiche l'esperienza dei due specchi del Fresnel che già, senza dettagli, era stata fatta dal Boltzmann e determina il valore della lunghezza d'onda impiegata e l'indice di rifrazione della paraffina e dello zolfo. Estende le misure al caso dell'esperienza del Fresnel con un solo specchio ed al biprisma costituito da un blocco di zolfo di 27 cm. di altezza e di 70 cm. di larghezza e di 13,8 cm. di spessore tra lo spigolo dove convergono le due facce inclinate e la base. Per primo ottiene l'interferenza delle onde elettro-magnetiche nelle lamine sottili, sia per trasmissione che per riflessione, e per primo osserva i fenomeni

di diffrazione riproducendo la disposizione del Fresnel e del Billet e quelli dati dall'orlo di un corpo opaco.

Indi procede ad uno studio completo della riflessione, e dopo aver esposto le esperienze più semplici di riflessione dal punto di vista della sola direzione delle radiazioni riflesse, si propone di studiare il problema dal punto di vista fisico, di conoscere, cioè, l'intensità delle radiazioni riflesse nei vari casi e la direzione delle loro vibrazioni, facendo notare che per mezzo delle onde elettriche dovranno aversi fenomeni analoghi a quelli della luce polarizzata, giacchè le radiazioni generate dagli oscillatori sono per loro natura polarizzate. Queste esperienze acquistano una grande importanza *« perchè dovevano fornire o meno una conferma diretta della teoria elettro-magnetica della luce, secondo la quale il piano di polarizzazione deve esser parallelo alla direzione della forza magnetica e perpendicolare a quello della forza elettrica. In altri termini, assumendo col Fresnel come direzione delle vibrazioni di un raggio polarizzato, quella perpendicolare al piano di polarizzazione, si doveva trovare che la direzione della forza elettrica doveva corrispondere alla direzione delle vibrazioni dell'etere nella teoria del Fresnel »*.

Tratta così i due casi, della riflessione su lastre dielettriche e della riflessione sui metalli.

Per la prima studia il fenomeno su lastre di zolfo, paraffina e vetro ed i risultati che ottiene sono pienamente concordanti ed analoghi ai corrispondenti fenomeni ottici: trova infatti che *« nelle ondulazioni elettro-magnetiche la forza elettrica è perpendicolare al piano di polarizzazione »*.

Per la seconda indica le precauzioni che devono prendersi perchè le particolarità più interessanti si osservano con grandi incidenze e quindi è necessario evitare l'azione diretta dell'oscillatore sul risonatore. Così giunge a mettere in evidenza la polarizzazione ellittica delle vibrazioni riflesse, ciò che completa l'analogia coi fenomeni ottici: in un caso speciale ottiene la polarizzazione circolare. Precisa in seguito quel che debbasi

intendere con le denominazioni di « *raggi di forza elettrica a vibrazioni ellittiche o circolari* » in relazione con i raggi luminosi polarizzati ellitticamente o circolarmente secondo Fresnel: « *un raggio di forza elettrica a vibrazioni circolari, costituisce un campo rotante, come quelli studiati dal Ferraris, in pari tempo elettrico e magnetico, nel quale però ad un dato istante qualunque la direzione della forza è diversa nei vari punti dell'asse con legge sinusoidale. Si potrebbe insomma considerare un raggio a vibrazioni circolari come un campo rotante che si propaga nel senso del proprio asse* ». Ma i tentativi da Lui fatti sia con un raggio di forza elettrica a vibrazioni circolari, sia con un intenso raggio di luce polarizzata circolarmente per ottenere i noti effetti dei campi ruotanti, non lo condussero a risultati soddisfacenti.

Con altrettanta ampiezza tratta della rifrazione e della riflessione totale delle onde elettro-magnetiche. Ripete con prismi di dimensioni molto più piccole l'esperienza di Hertz fatta con un grande prisma di asfalto e quelle di Lodge ed Howard con lente piana-convessa di pece e verifica così il fenomeno della rifrazione: ma estende lo studio considerando le onde elettro-magnetiche come analoghe a luce polarizzata. E con la rifrazione riconosce ancora che la forza elettrica è perpendicolare al piano di polarizzazione e adopera una *pila di lastre* per rendere i fenomeni più decisivi ottenendo di estinguere gli effetti delle onde elettro-magnetiche quando l'oscillatore è perpendicolare al piano di incidenza e di avere effetti assai notevoli sul risonatore collocando l'asse dell'oscillatore nel piano di incidenza. Verifica in seguito con prismi a sezione di triangolo rettangolare la riflessione totale e trova che se l'oscillazione incidente forma un certo angolo con il piano di riflessione, la oscillazione riflessa totalmente assume la forma ellittica e, riproducendo la ben nota disposizione del Fresnel, ottiene che la vibrazione emergente, dopo un certo numero di riflessioni totali, sia polarizzata circolarmente.

Interessanti sono pure le esperienze sulla trasmissione delle oscillazioni elettriche attraverso il legno, nelle quali il legno tagliato parallelamente alle fibre si comporterebbe in modo analogo alle lastre birifrangenti tagliate parallelamente all'asse e riesce a costruire una lastra di legno di abete che funzionava come lamina quarto d'onda: per un fenomeno di assorbimento l'analogia avvicina di più il comportamento del legno a quello della tormalina piuttosto che a quello dello spato e del quarzo.

Finalmente un esteso capitolo dedica alle onde emesse dai risonatori, quando sono eccitati dagli oscillatori, in quanto diventano essi stessi degli oscillatori: le onde che così sono emesse dai risonatori sono dal Righi chiamate *onde secondarie*: le reciproche azioni tra vari risonatori sono pienamente conformi alle previsioni teoriche.

Dal fenomeno della doppia rifrazione scoperto dal Righi nel legno presero origine altre ricerche per ottenere lo stesso fenomeno nei corpi cristallizzati: il fenomeno fu osservato in particolare sul gesso dal Garbasso. Il Righi ne fece uno studio accuratissimo. Determina, aumentando lo spessore della lastrina di gesso, tutte le modalità con le quali si compie la graduale trasformazione della radiazione incidente a polarizzazione rettilinea in radiazione emergente a polarizzazione ellittica e poi circolare, facendo notare le divergenze tra le esperienze con le onde elettro-magnetiche e quelle con le onde luminose, spiegando anche le probabili cause di queste divergenze e con accuratissime misure determina l'elissoide di polarizzazione relativo alle onde elettro-magnetiche nella selenite (1897).

In un ultimo capitolo rende conto delle esperienze che hanno avuto esito negativo: ma rileva subito che queste non possono creare una obbiezione alla teoria elettro-magnetica della luce. Così non ha potuto verificare con le onde hertziane la doppia rifrazione provocata per azione meccanica, la rotazione del piano di polarizzazione, il fenomeno del Kerr. Sono

dunque in generale quei fenomeni che dipendono dalla struttura molecolare dei corpi o dalle modificazioni transitoriamente prodotte in questa struttura. Non bisogna però dimenticare « *il diverso ordine di grandezza delle onde elettriche finora prodotte e delle onde luminose: infatti queste ultime sono circa 50000 volte più brevi delle più corte onde elettriche, per cui mentre le dimensioni molecolari possono essere paragonabili alle lunghezze delle onde luminose, esse possono esser in pari tempo trascurabili di fronte alle lunghezze delle onde elettriche* ». E consiglia la via che si potrebbe seguire per ottenere con le onde hertziane delle imitazioni di quei « *fenomeni dell'ottica che non si possono fedelmente riprodurre* ».

* * *

Tutte queste esperienze il Righi ha riassunte in un libro (1897) nel quale appare manifesto tutto il magnifico contributo da Lui portato alla teoria elettro-magnetica della luce e che ben a ragione ha potuto intitolare « *L'Ottica delle oscillazioni elettriche* ».

* * *

Un'altra ricerca molto importante fatta dal Righi è quella relativa alle onde secondarie dei dielettrici. Egli aveva precedentemente osservato la presenza di onde secondarie prodotte in certi casi speciali da masse dielettriche, mentre erano sottoposte all'azione della radiazione emessa da un oscillatore. Se un corpo dielettrico, di dimensioni molto piccole, di costante dielettrica diversa dal mezzo nel quale si trova, è posto in un campo costante, la forza elettrica che si produce per la presenza di quel corpo si potrebbe considerare come dovuta a certe cariche, distribuite sulla superficie, secondo una legge che in certi casi semplici si può determinare. Nel caso del campo elettrico prodotto da un oscillatore, la forza elettrica sarà anch'essa alternativa. L'effetto di questo corpo dielettrico sopra un risonatore vicino si potrà dunque considerare come dovuto a certe cariche alternative distribuite sulla sua superficie, nello stesso modo col quale un risonatore si trasforma

in oscillatore quando sia investito dalle onde di un appropriato oscillatore. Ma esiste una grande differenza tra il caso di un ordinario risonatore e quello di un corpo isolante, perchè mentre le onde secondarie generate da un ordinario risonatore hanno un periodo di oscillazione ed uno smorzamento che dipendono dalla sua natura, forma e dimensioni, quelle invece generate da una massa isolante devono seguire fedelmente le oscillazioni dell'oscillatore, sia per il periodo che per lo smorzamento. Per questo studio adopera una piccola sfera dielettrica od un cilindro di grande lunghezza rispetto al diametro. Ricava teoricamente i fenomeni che dovrebbero verificarsi, dei quali trova una esatta conferma nell'esperienza.

Approfittando poi di quanto aveva osservato nello studio delle azioni foto-elettriche, che, quando si congiungono gli elettrodi di un tubo da scarica contenente aria ad un conveniente grado di rarefazione con i poli di un elettro-motore e si regolano le cose in modo che la forza elettro-motrice sia un po' minore di quella necessaria per determinare il passaggio della corrente, bastano le più piccole cause, come, per esempio, lo avvicinamento della mano al tubo, perchè questo si illumina e la corrente passa, pensa di esaminare se le onde elettriche, generate da una scintilla, fossero capaci di produrre un fenomeno analogo. L'esperienza Gli conferma il fatto previsto e così introduce nello studio delle onde elettro-magnetiche questo nuovo rivelatore, che, se possiede una minore sensibilità del coherer, presenta molto maggiore sicurezza di funzionamento e al cessare dell'azione delle onde riprende spontaneamente i suoi caratteri primitivi. In una nota successiva completa questi studi che possono considerarsi come precursori dei futuri rivelatori delle onde hertziane di questo tipo.

Una nuova disposizione della esperienza del Lecher, facendo scorrere i fili sopra una lastra di vetro sulla quale è disposto un velo di polvere di zinco, Gli permette di rendere facilmente visibile anche a distanza la formazione dei nodi e dei ventri.

Ingegnosa è l'applicazione della stessa esperienza del Lecher per ottenere un campo rapidissimamente oscillante nel quale colloca un dischetto di selenite, mobilissimo intorno ad un asse perpendicolare al disco medesimo e passante per il suo centro: le facce del dischetto sono perpendicolari all'asse di simmetria e quindi parallele alla sfaldatura principale. Il dischetto sotto l'azione del campo elettrico si orienta in modo che la direzione della sfaldatura così detta non fibrosa, cui corrisponde il 2.^o asse, si dispone nella direzione delle linee di forza: ne conclude che la direzione, cui corrisponde la massima costante dielettrica, coincide con la direzione cui corrisponde il massimo indice di rifrazione principale per le onde elettro-magnetiche, come richiede la relazione del Maxwell.

In una nota sulla non penetrazione delle onde elettriche nello spazio racchiuso da una lamina metallica, tronca alcune false asserzioni che andavano facendosi a proposito della telegrafia senza fili.

* * *

Un argomento di vitale importanza per le nuove teorie era quello di conoscere il campo elettro-magnetico prodotto da cariche elettriche, e quindi anche da ioni, in movimento. La teoria del Maxwell ammetteva che le cariche elettriche in movimento dessero origine a forze magnetiche, come se le loro traiettorie costituissero delle correnti; ed era facile intuire che le forze elettriche, prodotte da quelle cariche in moto, non dovessero esser identiche a quelle che si manifesterebbero se fossero in quiete. Analogo problema si presenta quando, invece di cariche elettriche, si abbiano poli magnetici in moto: ma la soluzione del primo problema induce immediatamente a quella del secondo, per la simmetria delle equazioni fondamentali del campo elettro-magnetico sotto la forma loro data da Hertz.

Già fin dal 1894 il Righi si era occupato delle « onde elettro-magnetiche generate da due piccole oscillazioni elettriche ortogonali oppure per mezzo di una rotazione uniforme ». In una memoria teorica, ma che pure aveva in vista

qualche possibile esperienza da tentarsi per verificare la teoria del Maxwell, richiama anzitutto le formule di Hertz e la soluzione che lo stesso Hertz aveva dato, soluzione che permetteva di calcolare il campo elettrico-magnetico prodotto da un piccolissimo oscillatore rettilineo avente alle estremità cariche variabili con legge pendolare. Trova in seguito la soluzione delle stesse equazioni di Hertz per un oscillatore ad angolo retto col primo e, riunendo le due soluzioni, ricava il sistema di equazioni che darà l'effetto prodotto da due oscillazioni elettriche, ortogonali tra di loro, di egual periodo, di eguale ampiezza e di fase differente per un quarto di periodo. Indica le interpretazioni che le equazioni ottenute possono ricevere, ammettendo che una carica elettrica in moto produca delle forze magnetiche nel dielettrico circostante, quali si deducono dalla teoria del Maxwell: dimostra che alla vibrazione elettrica quale era stata prima descritta, si può sostituire un'oscillazione meccanica di ampiezza assai piccola di due masse elettriche di segno contrario che vibrino intorno al punto di mezzo dell'oscillatore con moto pendolare, in modo da occupare in ogni istante due posizioni simmetriche, e di periodo eguale a quello con cui si supponevano variabili le due cariche all'estremità dell'oscillatore di Hertz. Lo stesso può dirsi prendendo in considerazione due poli magnetici e ne deduce come sia possibile costituire degli oscillatori ricorrendo ad oscillazioni di corpi elettrizzati e di poli magnetici, anzichè a cariche oscillanti. Non essendo possibile ottenere meccanicamente periodi paragonabili a quelli delle oscillazioni hertziane, non sarebbe neppur possibile ottenere i fenomeni di interferenza e di risonanza elettrica. Egli pensa che si potrebbe ricorrere alla risonanza acustica per mettere in evidenza le forze generate da un oscillatore meccanico.

Tenuto conto che le due piccole oscillazioni ortogonali sopra dette possono comporsi e dare origine ad una vibrazione circolare uniforme, ne conclude che le formole da Lui stabilite si possono considerare come quelle che danno la distribuzione

del campo elettro-magnetico prodotto da un doppio punto elettrico, animato da moto uniforme di rotazione di egual periodo: e, per la simmetria delle equazioni fondamentali, anche la distribuzione prodotta da un elemento magnetico girante in un piano perpendicolare al proprio asse o di un piccolo campo magnetico girante. Dimostra che le forze elettriche e magnetiche si propagano sotto forma di onde sferiche aventi il centro nell'origine delle coordinate ed accenna infine alla possibilità di giungere con questi mezzi a mettere in evidenza l'esistenza di una forza magnetica prodotta da un doppio punto elettrico girante o quella di una forza elettrica prodotta da una piccola calamita, essa pure girante con moto uniforme.

* * *

Più tardi, in una memoria di natura strettamente teorica, « *sui campi elettro-magnetici e particolarmente su quelli creati da cariche elettriche o da poli magnetici in movimento* » (1901), partendo sempre dalle equazioni di Hertz, comincia con una importantissima osservazione, che, cioè, l'integrazione delle medesime può ricondursi alla ricerca di un vettore, che provvisoriamente chiama *caratteristico*, che soddisfi a determinate condizioni: così che, noto questo vettore, si possono immediatamente calcolare le componenti delle forze per un punto qualunque del campo elettro-magnetico e per un istante qualsiasi. E ricordando che la soluzione data da Hertz nel caso di un piccolo oscillatore rettilineo con le cariche alle estremità variabili periodicamente con legge sinusoidale vale anche nel caso in cui si considerino le cariche costanti e variabili invece le loro distanze da un punto fisso con legge pendolare, estende la ricerca alla vibrazione di un doppio punto elettrico, alla vibrazione pendolare piccolissima di un'ione, ecc. Indi passa alla ricerca del campo elettromagnetico prodotto da una carica elettrica in moto rettilineo ed uniforme e determina le leggi della forza elettrica e magnetica trovando « *che una carica elettrica in moto rettilineo ed uniforme produce in un punto qualunque una forza elettrica avente la stessa*

direzione come se la carica fosse immobile nel punto, che essa occupa nell'istante considerato ». La sua intensità invece è differente, essendo minima per i punti situati sulla traiettoria e massima per i punti del piano passante per la carica e perpendicolare alla direzione del moto.

Ed applicando i risultati al caso di un ione, ne deduce come « *un ione dotato di rapido movimento divenga capace di generare delle forze elettriche momentanee assai intense atte a produrre effetti ai quali lo stesso ione, supposto immobile o dotato di minor velocità, non potrebbe certo dare origine* ».

Passa quindi al caso di una particella elettrizzata in moto vario qualunque, ma con piccola velocità e tratta altri casi interessanti, che vengono approssimativamente realizzati nelle esperienze destinate a constatare l'esistenza della forza magnetica generata dalla convezione elettrica o nel problema reciproco.

In una importantissima comunicazione fatta alla Società di Fisica (1901), il Righi tratta « *Della questione del campo elettro-magnetico generato dalla convezione elettrica e su altre analoghe questioni* » facendo una acuta e profonda critica su tutti i lavori fatti in argomento e sui risultati controversi ottenuti dal Rowland e dal Cremieu. Dei quattro fenomeni insieme collegati, la cui esistenza viene preveduta dalla teoria del Maxwell, Egli sceglie per le sue esperienze quello « *in cui dovrebbe prodursi campo elettrico quando si crea, si distrugge o si fa variare un campo magnetico* ». Descrive le sue ricerche, facendo notare le gravissime difficoltà sperimentali, ma senza giungere ad un risultato conclusivo.

Riprendendo in una nuova pubblicazione la questione, fa rilevare che tutti gli sperimentatori che hanno voluto constatare l'esistenza del campo magnetico creato dalla convezione elettrica, hanno giudicato opportuno di porre tra i corpi elettrizzati in moto e l'ago magnetico destinato a rivelare il campo, dei diaframmi metallici, aventi lo scopo di sottrarre l'ago alle forze elettriche, che da sole avrebbero potuto farlo

deviare ed hanno tacitamente ammesso, che quei diaframmi dovessero annullare la forza elettrica sull'ago e lasciare inalterata la forza magnetica. Ma era stata fatta anche l'ipotesi che uno schermo metallico avesse la proprietà, in quelle condizioni nelle quali si erano fatte le esperienze, non solo di sopprimere la forza elettrica ma anche quella magnetica.

Per tante incertezze il Righi invitava i cultori della Fisica-matematica ad occuparsi di questa questione e possibilmente far conoscere almeno « *il campo elettro-magnetico prodotto al di là di un piano indefinito conduttore da una carica elettrica, che si muova uniformemente in linea retta.* »

Il problema fu risolto dal Levi-Civita: e il risultato fu il seguente: che, cioè, il diaframma modifica il campo magnetico in modo che la forza magnetica al di là dello schermo è minore di quella che esisterebbe, qualora il diaframma fosse soppresso. E tenendo conto che le velocità adoperate ordinariamente per le cariche in moto sono piccolissime di fronte alla velocità della luce, con opportune semplificazioni applica i risultati del calcolo a dati concreti e trova che, mentre con un diaframma di rame di un millimetro di spessore e con una velocità della carica di 300 m., la forza magnetica si ridurrebbe del 92 per cento, con un diaframma di foglia di stagno di $\frac{1}{8}$ di mm. la forza magnetica sarebbe di metà circa di quella che la carica mobile produrrebbe senza diaframma. Ma il lavoro del Levi-Civita portava anche alla conseguenza che in ogni caso di convezione stazionaria, tale, cioè, che la forza elettrica sensibilmente non mutasse durante il movimento, l'effetto del diaframma diventava nullo.

Ora, nella maggior parte delle esperienze fatte dai diversi sperimentatori per decidere la questione del campo magnetico prodotto da cariche elettriche in moto, questa stazionarietà viene rapidamente conseguita e così anche vien meno quella obbiezione che veniva fatta alle esperienze nelle quali un diaframma metallico separava le cariche in moto dal magnetometro.

Su questo argomento il Righi più non ritorna e questa ultima memoria porta la data del 1901. Ma questi suoi lavori saranno utilmente consultati per le ricerche che in questo campo volessero farsi, trovandosi in essi segnate chiaramente le diverse vie che potrebbero seguirsi e utilissime indicazioni sulle difficoltà da superare.

* * *

A questo gruppo di lavori può aggiungersi anche quello « *Sulla massa elettro-magnetica dell'elettrone* » (1906) nel quale viene calcolata la massa apparente di un elettrone nel caso in cui sia animato da movimento uniforme e rettilineo, sia attribuendo all'elettrone la forma sferica, sia ricorrendo ad altra ipotesi, che esista una superficie chiusa che circonda l'elettrone, tale che l'etere conservi le sue proprietà in tutto lo spazio esterno alla superficie medesima, mentre nello spazio interno l'etere abbia un comportamento diverso. Prospetta due ipotesi su questo diverso comportamento dell'etere e calcola nelle due ipotesi la massa apparente, dando in una tabella i valori per diverse velocità dell'elettrone. Il risultato di entrambe è che la massa aumenta con l'avvicinarsi della velocità dell'elettrone alla velocità della luce per assumere al limite un valore infinito, in accordo con quanto erasi in altre notevoli ricerche matematiche.

Queste deduzioni non possono evidentemente esser confrontate con i risultati sperimentali del Kaufmann, essendo le condizioni di quest'ultime esperienze troppo diverse dal caso di un moto uniforme e rettilineo dell'elettrone, trattato dal Righi.

* * *

Dopo l'esperienza del Duddel, il Righi pensò di adoperare un'analoga disposizione per ottenere analoghi effetti per mezzo delle scariche. I risultati di queste ricerche sono riportati in una nota « *Sulla produzione di suoni per mezzo delle scariche nei tubi a gas rarefatto e nelle fiamme* » (1902) e in una me-

moria più estesa « *Sui fenomeni acustici dei condensatori* » (1902).

Nel circuito di una batteria di circa 400 accumulatori è inserita una forte resistenza ed il tubo di scarica, dove la pressione è di circa 1 cm. di mercurio; in derivazione sul tubo è collocato un condensatore ed un telefono. Chiudendo il circuito si produce un suono che può udirsi direttamente avvicinandosi al condensatore, ma il suono è molto più intenso se prodotto dal telefono. L'altezza del suono cresce, diminuendo la resistenza, aumentando il numero degli accumulatori, diminuendo la capacità, diminuendo la distanza tra gli elettrodi e diminuendo la pressione. Dimostra che in questo caso il suono ha origine diversa da quella dell'arco Duddel, perchè non si tratta di una corrente alternativa ma di una successione di scariche.

Con una fiamma con vapori di sodio, sostituita al tubo di scarica, ottiene fenomeni simili.

Molto diversi sono i risultati inserendo nel circuito derivato una auto-induzione. La disposizione viene molto semplificata, sopprimendo il telefono e adoperando un condensatore formato da due lastre metalliche separate da fogli di carta: come elettrodi del tubo ricorre al mercurio e sostituisce all'aria l'idrogeno. In queste condizioni il suono emesso dal condensatore diventa di notevole intensità. Con forte auto-induzione, in modo che il periodo di oscillazione elettrica del circuito derivato diventi paragonabile al periodo di tempo richiesto per la carica del condensatore, il fenomeno presenta caratteri per i quali si avvicina a quello del Duddel. Osserva dei curiosi effetti, come quello di produrre variazioni discontinue nell'altezza del suono, variando in modo continuo o la resistenza, o la capacità, ecc.

* * *

Il fenomeno di Zeeman, per la sua grande importanza teorica e per il contributo che poteva portare alla teoria elettronica, è stato dal Righi ampiamente studiato. In una prima

nota « *Sull'interpretazione cinematica del fenomeno di Zeeman* » (1898) Egli, partendo dall'interpretazione data dal Cornu con la quale si ammetteva che ogni raggio luminoso si scindesse nella direzione delle linee di forza di un campo magnetico in due raggi polarizzati circolarmente in senso opposto, tali che il loro periodo divenisse per l'uno maggiore e per l'altro minore del periodo vibratorio della luce emessa in assenza del campo medesimo, si propone di esaminare se per mezzo di questi raggi fosse possibile ottenere quel fenomeno dei battimenti, del quale già anteriormente si era occupato. E con una trattazione teorica precisa in quali condizioni la proposta esperienza dei battimenti sarebbe realizzabile: ma l'esperienza non viene dal Righi tentata.

Subito dopo però pubblica altre due note sopra un nuovo metodo sperimentale per lo studio dell'assorbimento della luce nel campo magnetico (1898), metodo che è intimamente connesso al fenomeno di Zeeman.

Un fascio parallelo di luce bianca attraversa l'asse di una potente elettro-calamita con i due nicol incrociati. Se fra i poli si colloca una fiamma con sodio, la luce rimane ancora estinta ovvero passa per l'analizzatore quella debolissima emessa dalla fiamma. Se invece si attiva l'elettro-calamita, il campo dell'analizzatore appare illuminato da una viva luce gialla.

Il Righi così spiegava l'interessantissimo fenomeno: « Sia N il numero delle vibrazioni di una delle righe del sodio, cioè di una luce che viene assorbita dalla fiamma coi vapori di sodio, quando non esiste il campo magnetico. Non appena stabilito il campo, il vapore di sodio non assorbe più la luce di N vibrazioni per secondo, ma bensì assorbe la luce corrispondente ad un raggio circolare destrogiro di N_1 vibrazioni e quello corrispondente ad un raggio circolare levogiro di N_2 vibrazioni, essendo N_1 ed N_2 l'uno maggiore e l'altro minore di N : ciò costituisce il fenomeno di Zeeman studiato per via di assorbimento. Ora nella luce bianca incidente, la vibrazione rettilinea di N_1 vibrazioni si può decomporre in due circolari inverse, così che mentre

la componente destrogira viene assorbita, quella levogira passa liberamente e l'analizzatore non potrà estinguerla e lascerà pereiò passare la componente rettilinea di questa vibrazione circolare levogira, diretta secondo la sua sezione principale. Del pari uscirà dall'apparecchio una vibrazione N_2 parallela alla prima ».

« Dunque quando si crea il campo magnetico, deve apparire una luce costituita da radiazioni di N_1 ed N_2 vibrazioni, identica, cioè, alla luce che assorbe il corpo posto nel campo. E siccome N_1 ed N_2 diversificano pochissimo da N_1 così nel easo del sodio, la luce che appare è gialla. Mettendo un sale di litio o di tallio l'esperienza riesce egualmente, ma la luce che appare è rossa nel primo caso e verde nel secondo ».

Il Righi riteneva che questa esperienza costituisse un modo semplicissimo per mettere in evidenza il fenomeno di Zeeman, tanto più che bastava impiegare campi relativamente deboli, pur di adoperare luce incidente relativamente intensa, perchè l'intensità della luce che appare attivando il campo magnetico è proporzionale alla intensità della luce bianca adoperata.

In seguito, però, venne osservato che l'esperienza del Righi è più complessa di quanto si poteva supporre, poichè al fenomeno di Zeeman si aggiunge una rotazione del piano di polarizzazione: così che l'esperienza del Righi in realtà mette in evidenza il fenomeno complesso Zeeman-Faraday: infatti, mentre il fenomeno Faraday è dovuto a modificazioni prodotte dal campo magnetico sulla velocità di propagazione dei due raggi circolari opposti, quello di Zeeman si deve a modificazioni del loro periodo vibratorio. La spiegazione del Righi resta tuttavia valida per linee di assorbimento sottilissime.

Fatta analoga esperienza con l'ipoazotide, osserva luce verde-azzurra, di tinta complementare alla luce giallo-rossa che l'ipoazotide presenta per trasparenza. Questa corrispondenza esiste anche se si esamina la luce verde-azzurra con lo spettroscopio; sicchè Egli conclude che l'esperienza con l'ipoazotide produce il curioso risultato di « *mostrare lo spettro di emissione di un gas non luminoso* »: conferma questo risultato

anche col sodio ed estende le sue osservazioni ad altri aeriformi, come il bromo, l'iodio, ecc. precisando le condizioni con le quali l'esperienza si verifica.

Nel corso di queste ricerche osserva la rotazione del piano di polarizzazione di un raggio luminoso che attraversa una lunga colonna di cloro posta in un campo magnetico e che avviene nel senso della corrente magnetizzante, e determina il potere rotatorio del cloro medesimo (1899).

Venuto in possesso di un ottimo reticolo Rowland di grande modello, il Righi ha ripreso gli studi « *sull'assorbimento della luce per parte di un gas posto nel campo magnetico* ». Descrive anzitutto le esperienze rivolte a mettere in evidenza il fenomeno inverso di Zeeman con l'ipoazotide, cioè lo sdoppiamento di una determinata riga di assorbimento per l'azione del campo magnetico: la luce incidente era parallela alle linee di forza. In secondo luogo esamina il fenomeno inverso di Zeeman con luce polarizzata nel vapore di sodio e le modificazioni che presenta con la larghezza delle righe di assorbimento e finalmente espone una teoria dei fenomeni osservati.

In una estesa memoria (1900) tratta « *il fenomeno di Zeeman nel caso generale di un raggio luminoso comunque inclinato sulla direzione della forza magnetica* ». Il fenomeno di Zeeman era stato infatti studiato nella direzione delle linee di forza e nella direzione ad esse perpendicolare: rimaneva il caso generale di esaminare quel che avvenisse in una direzione qualsiasi. Il Voigt aveva previsto, con una sua teoria matematica, non solo l'esistenza del fenomeno del Faraday, che accompagna il fenomeno Zeeman nella direzione parallela alle linee di forza, ma anche una doppia rifrazione che accompagna il fenomeno Zeeman in direzione perpendicolare al campo: ed esperienze istituite da Becquerel, dallo stesso Voigt e Wiechert diedero risultati conformi alle previsioni. Ora, per le direzioni oblique alla forza magnetica, il passaggio graduale dal caso della luce trasversale a quello della luce parallela alle linee del campo si compirebbe per doppia rifrazione ellittica come nel caso del

quarzo. Il Righi, riflettendo sul modo come il fenomeno Zeeman dovrebbe manifestarsi nelle direzioni oblique, ritiene che la ragione di tante difficoltà nell'interpretazione risiedesse nel fatto che si era tenuto conto solo delle componenti della vibrazione perpendicolare alla direzione di propagazione e non della componente diretta nel senso della propagazione stessa; la qual cosa se è lecita nel caso della luce emessa nella direzione delle linee di forza, perchè quella componente non è modificata dal campo, non è più lecita negli altri casi. Egli quindi esamina le conseguenze alle quali si giunge considerando l'azione del campo magnetico sulle vibrazioni nello spazio di ogni particella del gas luminoso e giunge a conclusioni che vengono confermate dall'esperienza.

Il risultato principale è che *« per azione del campo magnetico una riga di emissione si trasforma in tre nuove righe: una centrale, dovuta a vibrazioni rettilinee di periodo eguale a quello della riga primitiva e giacenti in un piano parallelo alla direzione del campo e alla direzione di propagazione: e due laterali, dovute a due eguali vibrazioni ellittiche, una destrogira e l'altra levogira, l'asse minore delle quali giace nel piano suddetto ed il cui rapporto tra gli assi, eguaglia il coseno dell'angolo compreso fra la direzione di propagazione e quella delle linee di forza »*.

Per giungere a questa interpretazione generale del fenomeno di Zeeman, il Righi ha dovuto soltanto *« ammettere quanto viene ammesso per render conto del fenomeno pel caso particolare dell'emissione secondo le linee di forza e, cioè, che il periodo vibratorio di una vibrazione circolare, perpendicolare alle linee di forza, subisca un aumento od una diminuzione, secondo che il moto della particella vibrante si fa o in senso contrario della corrente generatrice del campo o nello stesso senso. Ora questo è quanto risulta dalla teoria del Lorentz, che servì di guida al Zeeman nelle sue ricerche sperimentali »*.

La parte sperimentale di verifica delle previsioni teoriche mostra tutta la singolare perizia del Righi in questo campo

della fisica. L'ultima parte della memoria riguarda il fenomeno Zeeman per assorbimento; e poichè la teoria per la luce emessa si può ritenere verificata dalle esperienze, i fenomeni di assorbimento, che si producono quando il gas posto nel campo magnetico è attraversato da un fascio di luce bianca, si potranno dedurre applicando il principio del Kirchhoff: ed infatti deduce quanto dovrebbe avvenire per il fenomeno di Zeeman osservato per assorbimento e ne fornisce la prova diretta sperimentale.

* * *

Con l'anno 1908 il Righi intraprende gli studi sull'influenza del magnetismo sulle scariche elettriche e in particolare su quelle nei gas rarefatti, studi che, riferiti in numerose pubblicazioni e poi riassunti nel magnifico libro « *I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo* » costituiscono una nuova e superba manifestazione della sua grande genialità.

In una prima nota del 2 febbraio 1908, il Righi dopo aver ricordato le esperienze del Plücker e di Hittorf sulla formazione di certe colonne luminose che nei tubi di scarica a gas rarefatto posti in un intenso campo magnetico disegnano un tubo di forza magnetica, ne richiama la spiegazione secondo la quale quel fascio luminoso sarebbe costituito semplicemente da raggi catodici i quali assumono nel campo magnetico forme somiglianti ad eliche avvolte intorno alle linee di forza magnetica. Altri fisici, e principalmente il Villard con le sue esperienze, propendevano per altra conclusione, che, cioè, oltre ai raggi catodici esistesse un'altra specie di raggi di natura sconosciuta, a cui il Villard dava il nome di raggi *magneto-catodici*. Il Righi, con la sua grandissima competenza in questo campo, pur osservando che le esperienze del Villard si potevano spiegare con la sola esistenza dei raggi catodici, ritiene pure che realmente dei nuovi raggi dovessero esistere e che se i raggi *magneto-catodici* venivano fino allora considerati

come raggi catodici ordinari, ciò dipendeva perchè mancava per essi qualsiasi altra spiegazione. In questa prima nota Egli espone una sua nuova ipotesi: così Egli scrive:

« In un tubo di scarica si muovono elettroni, atomi positivi, atomi neutri, ecc., e, come si ammette da tutti, accadono incessanti mutamenti, ionizzazioni e ricostituzioni di atomi neutri. Si è finora supposto, che dalla riunione fra un elettrone ed un ione positivo, risulti senz'altro un atomo neutro, il quale resterà tale finchè da una nuova collisione non venga ionizzato. Orbene, il punto di partenza dell'ipotesi che propongo è questo, e cioè che, dall'avvicinamento reciproco tra un elettrone ed un ione positivo, possa in certe circostanze risultare un sistema, bensì elettricamente neutro nel suo complesso, ma differente da un atomo e da considerarsi piuttosto come costituito da un ione positivo e da un elettrone che lo accompagna girando a distanza intorno ad esso, come un satellite, senza entrare a far parte della sua compagine ».

« Un opportuno paragone potrà riuscire utile. Il ricostituirsi di un atomo neutro corrisponde alla caduta di una cometa o di un areolita sul sole, mentre la formazione del sistema binario, da me concepito, corrisponderebbe al caso di una cometa estranea al sistema solare, che il sole rende temporaneamente periodica ».

« Suppongo dunque che in favorevoli circostanze prendono origine certi sistemi binari più o meno somiglianti ad un astro col suo satellite, oppure ad una stella doppia, e cioè costituiti da un ione positivo e da un elettrone, che sotto l'impero della reciproca attrazione si muovono intorno al comune centro di gravità, o sensibilmente, vista la grande differenza di massa, da un elettrone che gira intorno all'ione ».

Ammissa questa ipotesi, si comprende subito come un campo magnetico possa aumentare o diminuire la stabilità di questi sistemi secondo il senso in cui gira l'elettrone intorno al ione, particolarmente in quei casi nei quali le orbite siano perpendicolari alla direzione del campo. La formazione di tali sistemi sarà possibile per il fatto che nei tubi di scarica esi-

stano ioni positivi, che, come se fossero riflessi del catodo, si muovono nello stesso senso dei raggi catodici. Posto che questa sia la natura dei nuovi raggi, essi potrebbero « *somigliarsi a solenoidi elettro-magnetici o a solenoidi magnetici flessibilissimi* »; il Righi ha dato a questi raggi il nome di *raggi magnetici*.

A questa teoria il Righi non attribuì da principio altro valore che quello di una « *ipotesi di lavoro, cioè di uno strumento utile per coordinare i fatti e prevederne di nuovi* ». Ed effettivamente, guidato da essa, riuscì a realizzare un numero ingente di esperienze nuove », così che la sua fiducia crebbe al punto da fargli credere « *quasi che quell'ipotesi fosse la espressione della realtà* ».

* * *

In una prima memoria « *Ricerche sperimentali sui raggi magnetici* » dopo aver esposto con maggiore ampiezza la nuova ipotesi, dimostra che in un campo magnetico non uniforme un sistema girante in tale senso, che il campo gli conferisca maggiore stabilità, deve tendere a portarsi ove il campo ha la minima intensità per scomparire presumibilmente in seguito alle collisioni, alle quali è esposto, prima di giungere dove il campo è nullo: il percorso, prima di dissolversi, sarà tanto più lungo quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico. Dopo un'acuta esposizione critica dei numerosi lavori prima eseguiti, espone le disposizioni sperimentali da Lui adoperate, e in primo luogo cerca di stabilire se questi nuovi raggi portino o no cariche elettriche, poichè, se si trattasse di semplici raggi catodici, essi dovrebbero portare cariche negative, mentre i raggi magnetici dovrebbero essere elettricamente neutri. I raggi sono per ciò ricevuti in una camera del Faraday, contenuta nel tubo di scarica con una disposizione analoga a quella ben nota del Perrin, nel cui interno si trova un dischetto accuratamente isolato che viene messo in comunicazione con un elettrometro a quadranti. Nel tubo di scarica può eccitarsi un campo magnetico uniforme con le linee di forza parallele alle traiettorie dei raggi. Trova così che mentre con

campi magnetici relativamente deboli l'elettrometro accusa una carica negativa, con campi più intensi la carica apportata dai raggi diminuisce notevolmente: vi è poi una pressione per la quale il fenomeno presenta la maggiore evidenza.

La notevole diminuzione della carica negativa mostra che per azione del campo magnetico penetrano nel cilindro del Faraday insieme con le cariche negative degli elettroni anche delle cariche positive, ciò che è evidentemente favorevole all'ipotesi ammessa.

Una seconda direttiva di indagine seguita in questa memoria dal Righi per provare l'esistenza dei raggi magnetici è stata quella di cercare qualche manifestazione degli elettroni e dei ioni positivi, che provengono dai raggi magnetici, quando restano distrutte le coppie elettrone-ione di cui constano, come per esempio dovrebbe avvenire in un campo magnetico non uniforme. Non è qui possibile seguire le elegantissime esperienze fatte dal Righi, e le interessantissime modificazioni che ottiene nella forma della scarica per l'azione del campo magnetico, dalle quali Egli trae nuove prove plausibili per la sua ipotesi. Tra le esperienze va specialmente ricordata quella eseguita con un lungo tubo cilindrico di scarica, avente un catodo di piccola superficie, diretto secondo l'asse del tubo e posto ad una delle estremità, ed un anodo *collocato in un ramo laterale saldato in vicinanza al catodo*: un grande rocchetto, avvicinato al catodo ed il cui asse coincide con quello del tubo, permette di creare il campo magnetico. Così accadrà che i raggi catodici saranno diretti verso il lungo tubo e così pure i raggi magnetici, quando il rocchetto sarà eccitato da una corrente. Questi ultimi si propagano dunque in un campo di intensità decrescente, per cui le coppie giranti che li costituiscono raggiungeranno ben presto una regione ove l'azione del campo tendente a renderle stabili finirà per mancare. Gli elettroni ed i ioni devono allora separarsi. Il risultato è il seguente: messo in azione il tubo con una macchina elettrica, in modo che si formi con una determinata pressione un breve

fascio catodico, e una colonna rossa positiva nel ramo laterale, restando oscuro tutto il lungo tubo cilindrico, attivando il campo per una determinata intensità del medesimo tutto il recipiente si riempie di luce. Il secondo strato negativo sembra d'un tratto allungarsi in modo da invadere parte del tubo cilindrico e al di là si manifesta una luce rossa del colore stesso della colonna positiva contenuta nel tubo laterale. Il primo tratto sarebbe costituito dai raggi magnetici, il secondo sarebbe dovuto ai ioni provenienti dalla distruzione dei raggi magnetici.

Il Righi osserva come nella presenza di ioni positivi in una certa regione del tubo si abbia una indiretta nuova conferma della sua ipotesi delle coppie giranti costituenti i raggi magnetici.

Nel corso di queste esperienze, il Righi ebbe occasione di notare che, contemporaneamente agli effetti visibili, il campo magnetico dava luogo ad una variazione del potenziale di scarica. Ma qui è da notare che se l'anodo si trova disposto nel tubo di fronte al catodo in modo che la scarica segua l'asse del tubo cilindrico, il campo magnetico a rarefazioni abbastanza spinte determina, come già aveva avuto occasione di notare il Villard, una diminuzione del potenziale di scarica, mentre con tubi aventi l'anodo disposto in un tubo laterale saldato presso il catodo, il campo magnetico aumenta notevolmente il potenziale di scarica: ma su questo argomento avremo occasione di tornare, analizzando ulteriori lavori del Righi.

La distanza alla quale si manifestano i ioni positivi risulta tanto più grande quanto più intenso (sino ad un certo limite) è il campo magnetico e quanto è più rarefatto il gas nel tubo di scarica: ma, oltrepassando un certo limite con l'intensità del campo, i raggi magnetici sembrano diminuire e poi sparire completamente. Anche questo fatto non è spiegabile con l'ipotesi che si tratti soltanto di raggi catodici, mentre nell'ipotesi del Righi il fenomeno è prevedibile « *perchè col crescere del campo l'orbita dell'elettrone si restringe intorno al ione e quindi*

ad un certo punto la distanza tra i due è talmente ridotta che il ione non può più considerarsi come un semplice centro positivo, il moto dell'elettrone ne è perturbato e con grandissima probabilità esso si unisce al ione per formare un atomo neutro ».

Un altro capitolo dedica alla produzione dei raggi magnetici lungi dal catodo, toccando per esempio la parete di un tubo di scarica posto nel campo magnetico con un conduttore comunicante col suolo: ed altre prove deduce dalla trasformazione in raggi magnetici di raggi canali e da altri particolari fenomeni.

* * *

In una seconda memoria amplifica e conforta di nuove esperienze i principali risultati ottenuti precedentemente ed in particolar modo è chiaramente dimostrata la trasformazione dei raggi canali in raggi magnetici. Infatti la carica positiva portata dai raggi canali in un cilindro del Faraday diminuisce con l'attivarsi del campo magnetico, la qual cosa sta ad indicare che parte dei ioni positivi costituenti i raggi canali diventano neutri per la loro molto probabile unione con elettroni in modo da formare dei raggi magnetici.

Bellissime fotografie dimostrano, tanto nella prima che nella seconda memoria, le profonde modificazioni apportate nella forma della scarica dal campo magnetico.

In una nota successiva « *sui valori limiti del campo tra i quali si producono i raggi magnetici* » (1909) il Righi precisa meglio le condizioni per ottenere il fenomeno.

In generale, per una stessa intensità di corrente e per una stessa pressione, il potenziale di scarica che al principio presenta senza campo un determinato valore, cresce da prima lentamente col crescere dell'intensità del campo: ma, non appena si manifestano i raggi magnetici, esso aumenta rapidamente sino ad un massimo, per poi diminuire rapidamente mentre i raggi magnetici si affievoliscono e poi scompaiono: raggiunto un minimo con la scomparsa dei raggi magnetici, il potenziale di scarica torna ad aumentare lentamente col cre-

scere dell'intensità del campo. Esistono dunque due valori critici del campo, l'uno inferiore col quale i raggi magnetici si manifestano, l'altro superiore col quale essi scompaiono.

L'intensità della corrente esercita una notevole influenza sul fenomeno dei raggi magnetici; col crescere dell'intensità della corrente aumentano entrambi i valori critici del campo magnetico; ma l'intervallo che li separa diminuisce, così, che, adoperando una corrente molto intensa, si giunge a non ottenere più distinto il fenomeno dei raggi magnetici. Se poi si aumenta la pressione, l'effetto è come se si aumentasse l'intensità della corrente.

Una delle prove indirette più concludenti in favore dell'ipotesi del Righi consisteva, come si disse, nel fatto della presenza di cariche positive nella colonna rossa che si forma sul prolungamento del fascio di raggi magnetici. Accostando una calamita lateralmente al tubo, la colonna rossa si deforma, come se nell'interno del tubo vi fosse un anodo (*anodo virtuale*), dal quale partisse quella luce rossa, in tutto analoga alla luce positiva. L'anodo virtuale, nell'ipotesi del Righi, sarebbe costituito da ioni positivi, risultanti dallo sciogliersi delle coppie elettrone-ione positivo dove appunto finiscono i raggi magnetici. E per meglio confermare questa prova, il Righi istituisce nuove ricerche, di cui rende conto in una nota « *sull'anodo virtuale di un tubo di scarica nel campo magnetico* » (1909). Nel tubo di scarica, dove si forma la luce rossa insieme con la manifestazione dei raggi magnetici, viene collocata una sonda che comunica con un galvanometro. Al crescere dell'intensità del campo, la deviazione cresce fino ad un massimo, che si manifesta piuttosto bruscamente e poi diminuisce gradatamente: tutto quindi accade come se entro il tubo esistesse un anodo che fosse spinto sempre più lontano dal catodo quando aumenta l'intensità del campo. E così appunto doveva accadere se l'anodo avesse l'origine, supposta dal Righi, perchè i ioni positivi dovrebbero giungere tanto più lontani dal catodo quanto è più intenso il campo magnetico.

Il fatto sicuramente stabilito, che, allorquando la luminosità negativa di un tubo di scarica, avente l'anodo in una sua diramazione laterale, assume per l'azione di un campo magnetico diretto secondo il suo asse la forma di un tubo di forza dando origine agli ipotetici raggi magnetici, il potenziale subisce generalmente un considerevole aumento, fece pensare al Righi che avesse luogo altresì una più intensa ionizzazione e quindi una maggiore conducibilità del gas contenuto nel tubo. Se questo avvenisse, si avrebbe come conseguenza una maggiore complicazione in qualcuna delle esperienze relative ai raggi magnetici e segnatamente in quella destinata a valutare le cariche trasportate dai raggi stessi in quanto la loro diminuzione col campo magnetico potrebbe appunto dipendere da una maggiore conduttività del gas.

Per ciò in una nota « *sulla ionizzazione dell'aria entro un tubo di scarica posto nel campo magnetico* » (1910), espone nuove esperienze per chiarire questa questione. All'estremità del tubo opposta al catodo, colloca due lastre metalliche comunicanti con una batteria di accumulatori, essendo inserito un galvanometro. Attraverso il tubo con l'anodo laterale passa la corrente o di una macchina elettrica o di 2000 piccoli accumulatori, che viene misurata da un altro galvanometro, mentre un elettrometro comunicante coi due elettrodi dà la differenza di potenziale.

Il risultato generale è che la deviazione del primo galvanometro, dalla quale si arguisce la maggiore o minore ionizzazione dell'aria, aumenta eccitando il campo magnetico e cresce ulteriormente fino ad un certo limite aumentandone l'intensità. Se poi le condizioni dell'esperienza sono tali che si giunga a far sparire i raggi magnetici, la deviazione del galvanometro decresce nuovamente. Come già in precedenti esperienze, il potenziale di scarica aumenta rapidamente con l'apparire dei raggi magnetici e diminuisce quando questi si attenuano e spariscono. Ne conclude che effettivamente la ionizzazione

entro il tubo varia creando il campo magnetico e varia di pari passo col potenziale di scarica.

La diminuzione della carica negativa raccolta in un cilindro del Faraday col crearsi del campo magnetico, che il Righi aveva assunto come una delle prove dell'esistenza dei raggi magnetici nelle sue prime esperienze, diventava così molto incerta: ma estendendo le ricerche alla misura della ionizzazione dell'aria nel tubo di scarica lungo il percorso dei raggi canali, per i quali aveva dimostrata la diminuzione della carica positiva portata nel cilindro del Faraday con l'attivarsi e col crescere del campo magnetico per la loro trasformazione in raggi magnetici, trova che in questo caso la ionizzazione diminuisce con la creazione del campo medesimo: e dopo aver discusse le cause che potrebbero spiegare questa diminuzione della carica, conclude che questo fenomeno non perde affatto del suo valore di prova indiretta dell'esistenza dei raggi magnetici.

Mentre compiva queste lunghe e pazienti ricerche sperimentali, il Righi trattava la sua ipotesi anche dal punto di vista teorico. Fondamento dell'ipotesi del Righi era che il campo magnetico prolungasse la probabile esistenza di alcune di quelle coppie, che dovevano costituire i raggi magnetici. Fa però subito notare che, non potendosi risolvere in modo completo il problema di determinare il movimento in un campo magnetico di un sistema girante elettrone-ione positivo, è necessario contentarsi di considerazioni generiche incomplete. Una coppia elettrone-ione positivo potrà esser distrutta per la pertubazione prodotta dall'incontro con un'altra particella o per un definitivo allontanamento dell'elettrone, nel qual caso rimane il ione positivo, o per una più intima unione dell'elettrone e del ione positivo per formare un atomo neutro. Il primo caso avverrà più facilmente se la distanza tra elettrone e ione positivo sarà relativamente grande; il secondo se quella distanza sarà relativamente piccola. Esisterà quindi un certo valore della distanza per il quale la stabilità del sistema sarà

massima. Egli ammette, per semplicità, che l'elettrone giri circolarmente intorno al ione e in un piano normale alla direzione del campo magnetico. La forza elettro-magnetica agente sull'elettrone ha per direzione la retta che unisce l'elettrone al ione e si sommerà o si sottrarrà alla forza elettrica a seconda del senso di rivoluzione dell'elettrone e di quello del campo magnetico. Nel primo caso la stabilità del sistema sarà aumentata, nel secondo diminuita.

Ora il Righi, in una prima nota « *Sul moto di un elettrone attorno ad un ione nel campo magnetico* » (1908), si propone con opportune semplificazioni l'intento di esaminare quando per l'azione del campo magnetico venga aumentata o diminuita la stabilità delle coppie e dimostra infatti che in opportune condizioni il campo magnetico rende più stabili le coppie esistenti e favorisce la loro formazione, mentre in una seconda nota (1909) cerca di ottenere una chiara idea della traiettoria dell'elettrone. Le due note, con maggiori sviluppi e con maggiori dettagli, sono collegate insieme in una memoria « *Sulla traiettoria percorsa da un elettrone attorno ad un ione nel campo magnetico* » (1909). Interessante è una formola che il Righi ricava e che gli consente di tracciare per punti la traiettoria dell'elettrone quando agisce il campo magnetico, e confrontarla con l-elisse che rappresenta la primitiva traiettoria percorsa senza campo magnetico: e trova che la nuova traiettoria somiglia molto a quella che si ha per l'elettrone vibrante nella teoria elementare del fenomeno di Zeeman.

In complesso l'effetto prodotto dal campo magnetico sul moto dell'elettrone si può concretare in questo modo: 1.º la traiettoria ellittica si cambia in una nuova traiettoria, la cui forma è poco diversa dall'elisse; 2.º questa nuova traiettoria è percorsa in un tempo diverso di quello con cui l'elettrone percorreva l'elisse prima del campo magnetico; 3.º la traiettoria medesima ruota uniformemente intorno al fuoco dell'elisse primitiva. Diversi disegni corrispondenti a vari casi iniziali mostrano con grande evidenza i risultati del calcolo.

Un chiaro ed ordinato riassunto di tutte le precedenti ricerche viene dal Righi pubblicato nel *Nuovo Cimento* (1910) sotto il titolo « *I raggi magnetici* ».

Le singolari modificazioni che il campo magnetico produce nel potenziale di scarica osservate dal Righi durante le ricerche sui raggi magnetici, lo inducono ad uno studio esauriente dell'argomento. In una nota « *Sul potenziale necessario a produrre la scarica in un gas posto nel campo magnetico* » (1910) prende le mosse da un fenomeno da Lui precedentemente osservato (1890) che, misurando dalla carica assunta da un elettrometro in un certo tempo la corrente tra due elettrodi, (dei quali uno comunicante col polo di un elettromotore e l'altro con l'elettrometro), posti in un tubo di scarica contenente aria debitamente rarefatta, e facendo crescere gradatamente a partire da un valore piccolissimo la distanza tra gli elettrodi, si aveva da prima una corrente debolissima, (dovuta alla lievissima conducibilità usuale e spontanea del gas), poi bruscamente una intensità grandissima che in seguito nuovamente spariva o si riduceva ad un valore assai piccolo. L'esistenza della *distanza critica* tra gli elettrodi, per la quale la corrente ha un valore massimo, e valori più piccoli per distanze maggiori o minori, è stata scoperta dal Righi, non ostante che venga attribuita al Peace.

Prima di descrivere le nuove esperienze, Egli richiama le sue idee, in molte occasioni già esposte, sui fenomeni preparatori che devono precedere la scarica nei gas; ed ampiamente discute le cause che possono per azione del campo magnetico influire sulla variazione del potenziale di scarica. Se il campo magnetico è parallelo alla direzione della scarica, il Righi trova una marcata differenza secondo che la distanza tra i due elettrodi, costituiti da due dischi di alluminio e collocati nel tubo di scarica, è maggiore o minore della distanza critica. Se la distanza è minore di quella critica, il potenziale di scarica si abbassa sempre più con l'aumentare del campo magnetico sino ad un valore minimo, dopo di che il potenziale torna a cre-

scere con l'aumentare del campo e può raggiungere valori anche superiori a quello iniziale senza campo, specialmente con distanze molto piccole. Il minimo è tanto più pronunciato quanto minore è la distanza tra gli elettrodi. Per le distanze superiori a quella critica, non si riscontra più alcuna influenza del campo magnetico. I risultati si presentano con la maggiore chiarezza a pressioni comprese tra 0,2 mm. ed 1 mm. di mercurio.

Con campo magnetico trasversale trova un andamento singolare. Con campi magnetici deboli, l'effetto è simile a quello prodotto da deboli campi longitudinali, cioè si osserva una diminuzione del potenziale di scarica, finchè, crescendo sempre il campo, si arriva ad un potenziale di scarica minimo: dopo, il potenziale di scarica torna nuovamente a crescere fino anche ad oltrepassare il valore che aveva con campo nullo: finalmente, se la distanza tra gli elettrodi è sufficientemente piccola, seguitando ad aumentare l'intensità del campo magnetico, si arriva ad un valore massimo del potenziale di scarica, dopo di che, sempre aumentando il campo, il potenziale torna a diminuire.

Questo massimo si manifesta con campi magnetici sempre più intensi, quando si adoperino maggiori distanze tra gli elettrodi, finchè per distanze di alcuni millimetri più non si osserva l'ultima diminuzione del potenziale.

Tutti questi risultati sono infine confermati con facili esperienze, che Egli deduce come conseguenze dei fatti prima accertati.

In una successiva memoria sullo stesso argomento (1911) Egli riprende lo studio dell'influenza del campo magnetico quando tra gli elettrodi esista una distanza maggiore della distanza critica; nella nota precedente in questo caso il Righi non aveva trovato variazioni nel potenziale di scarica degne di rilievo: ma facendo le misure sopra più ampi limiti di distanza tra gli elettrodi, trova che l'effetto dominante del campo è di aumentare il potenziale di scarica e in particolar

modo l'aumento è più notevole nel caso degli elettrodi paralleli alle linee di forza magnetiche che nel caso in cui siano disposti ad esse perpendicolari. La spiegazione che si dava dell'azione del magnetismo consisteva nell'attribuire i fenomeni così complessi al cambiamento di forma delle traiettorie percorse dagli elettroni: ma per molte ragioni, che enumera, questa spiegazione non sembra al Righi sufficiente. Egli propone una nuova ipotesi, che il campo magnetico fosse, in determinate condizioni, causa di ionizzazione, specialmente in vicinanza al catodo, la quale ipotesi spiega abbastanza bene i fenomeni osservati: ma non è possibile seguire in questo rapido riassunto tutte le belle, diligenti e pazienti esperienze dal Lui ideate per stabilire se realmente esistesse una *magneto-ionizzazione*.

Qui sarà bene ricordare che con la parola *magneto-ionizzazione* il Righi non intendeva affermare una ionizzazione provocata semplicemente dal campo magnetico, sebbene questa azione non possa esser esclusa: il Righi riteneva che il campo magnetico intervenisse nel modificare gli effetti della ionizzazione per urto. L'azione magnetica tenderebbe a rendere più o meno saldi i legami tra gli elettroni ed i nuclei attorno i quali essi girano e attribuisce la agevolata ionizzazione per l'azione del campo magnetico all'orientazione magnetica delle molecole gassose.

Anche in questo caso la prudenza con la quale il Righi adopera le ipotesi si manifesta nella maggiore evidenza. Egli infatti così conclude:

« Come spesso accade di ogni ipotesi suggerita da certi fatti noti, anche l'ipotesi di una azione del magnetismo tendente a favorire la ionizzazione del gas, ha condotto a trovare qualche fatto nuovo. Quelli che ho descritto tendono evidentemente a confermare l'ipotesi assunta. Essa mi pare necessaria per spiegare come un campo possa produrre la scarica quando la differenza di potenziale impiegata non produce alcun passaggio dimostrabile di elettricità prima che il campo esista..

E poichè le nuove esperienze non contraddicono tale ipotesi, è utile conservarla ».

Essa non vale da sola, almeno per ora, a rendere conto di tutte le particolarità. E siccome non si può negare la deformazione delle traiettorie *« degli elettroni per opera del campo magnetico, che è la base della spiegazione ordinaria, così l'ipotesi della magneto-ionizzazione non deve essere sostituita, ma aggiungersi all'ordinario modo di spiegare l'azione del campo sulle scariche ».*

« La questione di una probabile magneto-ionizzazione, oltre che avere una certa importanza per la spiegazione dei fenomeni di scarica, nel campo magnetico, ne ha una di gran lunga maggiore dal punto di vista filosofico. Infatti, la constatazione di effetti spiegabili soltanto in base ad una influenza del magnetismo sopra elettroni moventisi in orbite chiuse entro gli atomi, costituirebbe una validissima conferma sperimentale in favore delle idee che oggi i fisici vanno formandosi relativamente alle strutture atomiche ».

Per confermare sempre più l'esistenza dei raggi magnetici, il Righi pubblica (1911) due nuove interessanti esperienze. La prima fu da Lui fatta studiando l'effetto del magnetismo sull'anello luminoso, che per induzione si produce nell'interno di un pallone con gas rarefatto in una ben nota ed elegantissima esperienza di J. J. Thomson.

Sotto l'azione del campo magnetico, in direzione normale a quella dell'anello, quest'ultimo si allarga ed anche si sdoppia, ma insieme si manifesta una luce che presenta sensibilmente la forma delle linee di forza che vanno dal polo del rocchetto esterno verso l'anello luminoso: questo fascio di luce presenta tutti i caratteri dei raggi magnetici. Molto probabilmente ioni ed elettroni esistenti nell'anello luminoso formano le coppie giranti appartenenti a questi raggi.

La seconda esperienza è la seguente: in un tubo di scarica speciale, passa attraverso il catodo e si propaga in un

tubo molto più largo un esilissimo fascio di raggi canali in tale direzione da colpirne la parete laterale: per mezzo di un rocchetto si può attivare un campo magnetico nella direzione dell'asse del tubo dove si propagano i raggi canali: attivando il campo, il fascio di raggi canali si sdoppia, e si vede prodursi un fascio luminoso nella direzione delle linee di forza del campo magnetico. Questo fascio è di raggi magnetici. Due dischetti di alluminio, comunicanti con l'esterno, sono collocati, l'uno dove battono i raggi canali e l'altro nella direzione dei raggi magnetici e possono alternativamente esser posti in comunicazione con un elettrometro.

Senza campo magnetico, il primo dischetto accusa una notevole carica positiva quando è colpito dai raggi canali; producendo il campo, la deviazione decresce sempre più con l'aumentare dell'intensità del campo, perchè appunto una parte del fascio si trasforma in raggi magnetici, mentre l'altro dischetto non accusa alcuna carica elettrica pur essendo investito dai raggi magnetici, perchè i raggi magnetici sono elettricamente neutri.

Insieme con queste esperienze il Righi pubblica una nota « *Sull' influenza del campo magnetico sull' intensità di corrente nell' aria rarefatta* ». L'apparizione e la scomparsa dei raggi magnetici, è, come si è visto, accompagnata da una variazione del potenziale di scarica, così che l'apparire dei raggi magnetici ne porta un notevole aumento e la loro scomparsa una diminuzione. Era verosimile che anche l'intensità della corrente variasse in modo inverso e, cioè, che diminuisse quando la differenza di potenziale aumentava e aumentasse quando questa diminuiva. Le esperienze fatte con uno dei tubi ad anodo laterale corrispondono alle previsioni, confermando i precedenti risultati.

Ma l'attenzione del Righi era stata richiamata dalle esperienze che aveva fatte sul fenomeno del Thomson. Egli pensò che un fenomeno analogo avrebbe dovuto prodursi, impiegando un'ordinaria scintilla elettrica al posto della scarica

ad anello. Ed in una memoria (1911) « *Sulla scarica a scintilla in un gas rarefatto e sulla sua trasformazione in fascio di raggi magnetici* », Egli rende conto delle esperienze all'uopo istituite. Dopo aver ottenuto nei gas rarefatti una scarica con forma di scintilla, adoperando una macchina elettro-statica con grandi capacità ed una interruzione nel circuito, osserva che, eccitando un campo magnetico normalmente alla direzione della scintilla, questa viene deformata e dilatata secondo le direzioni delle linee di forza e specialmente nel senso in cui il campo decresce: secondo il Righi, prendono origine anche in questo caso i raggi magnetici. Alcune fotografie mostrano nitidamente questa trasformazione della scintilla. Ottenuta questa conferma della sua previsione, mostra che analogo fenomeno presenta la colonna di luce positiva nell'usuale forma di scarica in un gas rarefatto.

* * *

Nel corso di queste esperienze il Righi osservò che, come la scintilla nell'aria alla ordinaria pressione, anche la scintilla nell'aria rarefatta produce « *quell'effetto meccanico che sembra dovuto ad una brusca espansione e che taluno considera come un effetto calorifico ed altri come effetto della reciproca ripulsione tra masse e particelle d'aria omonimamente elettrizzate* ». Inizia così lo studio delle « *Rotazioni iono-magnetiche* ».

In un tubo nel quale passa la scarica in un gas rarefatto sotto forma di scintilla, in direzione orizzontale, colloca un leggerissimo molinello al di sopra della scintilla sospeso ad un sottilissimo filo di bozzolo. Ad ogni scintilla che scocca, il molinello riceve un impulso, come se fosse colpito da un soffio dal basso in alto ed assume un moto rotatorio, che solo la crescente tensione del filo finisce con l'arrestare. Quantunque il fenomeno non avvenga ad una pressione così bassa come quella nella quale funziona il radiometro, il Righi non dubita di considerarlo come dovuto ad un bombardamento delle particelle emesse dalla scintilla, che corrispon-

derebbero ai così detti *raggi di scarica* del Wiedemann. Questo effetto meccanico si produce naturalmente in ogni direzione intorno alla scintilla e siccome esso persiste anche se il molinello si trova al di sotto della scintilla, così esclude che la causa possa dipendere da una colonna di gas riscaldato dalla scintilla. Per assicurarsi poi se le particelle fossero o no elettrizzate, colloca al posto del molinello un dischetto metallico comunicante con l'esterno e protetto da un cilindro del Faraday. Il dischetto comunica col suolo attraverso un galvanometro sensibilissimo: e l'esperienza prova che il dischetto prende cariche positive. Egli ritiene che ciò dipenda, non dal fatto che la scintilla emetta ioni positivi e neppure che questi siano emessi in maggior numero dei ioni negativi ed elettroni, ma che queste particelle di segno contrario siano in egual numero e la carica positiva dipenda dalla diversità di massa e di velocità fra ioni positivi ed elettroni, nonchè forse dall'esistere quella eguaglianza numerica costante nel complesso del fenomeno e non per ogni singola porzione della scintilla. Il campo magnetico fa diminuire notevolmente la carica positiva raccolta dal dischetto, risultato prevedibile nella ipotesi delle coppie ione-elettrone, in quanto il campo magnetico favorirebbe l'unione di ioni positivi con gli elettroni per formare quei nuclei instabili che costituirebbero i raggi magnetici ed elettricamente neutri.

Queste esperienze preliminari vengono dal Righi proseguite con la maggiore ampiezza in successive memorie.

Nella prima di queste memorie (1912) « *Sull' emissione di ioni ed elettroni da una scintilla nell'aria rarefatta e le rotazioni iono-magnetiche* », dopo aver descritte le varie forme dei tubi adoperati, espone i risultati avuti variando la distanza tra il molinello e la scintilla e variando la pressione; trova che l'emissione delle particelle elettrizzate da parte della scintilla è più abbondante in vicinanza degli elettrodi. Interessante la dimostrazione che il Righi fornisce della riflessione di queste particelle, che Gli consente così di spie-

gare certe anomalie che aveva osservato nel funzionamento del mulinello.

Posto il mulinello in modo che fosse tutto immerso nella scintilla, esso non presentava alcuna rotazione: ma se si crea un campo magnetico, in modo che le linee di forza siano normali alla scintilla e parallele al filo di sospensione, immediatamente il mulinello gira con notevole velocità ed il moto di rotazione si inverte se si inverte il senso della corrente generatrice del campo.

Il Righi intravvide subito tutta l'importanza del fenomeno per iniziare nuove ed ampie ricerche su queste singolari rotazioni. Egli infatti *« riteneva intuitivo l'attribuire questo nuovo fenomeno al fatto, che gli elettroni e i ioni esistenti intorno alla scintilla non si muovevano più secondo linee rette tra un urto e l'altro, allorchè esiste un campo magnetico. La loro traiettoria diviene infatti un'elica (supponendo per semplicità uniforme il campo), il cui asse è parallelo alla direzione del campo: ma tale traiettoria rimane una retta per quelle particelle le quali si muovono parallelamente al campo prima della creazione di questo e diviene un arco di cerchio per quelle la cui velocità è diretta perpendicolarmente al campo medesimo »*.

« Con questa premessa, si può far vedere, ricorrendo, come in tutte le questioni relative ai movimenti molecolari dei gas, a considerazioni d'indole statistica ed assumendo valori medi, come, in causa delle modificazioni di forma, (da rettilinea ad elicoidale), prodotte sulle traiettorie dei ioni e degli elettroni dal campo magnetico, un mulinello a quattro alette (come quello da Lui adoperato) debba assumere un moto di rotazione quale è stato osservato ». E dopo aver data la dimostrazione, discutendo sui risultati ottenuti, conclude che l'effetto era dovuto ai ioni positivi. *« E siccome è indubitata l'esistenza intorno alla scintilla anche di elettroni e forse di ioni negativi, così bisogna credere che i fenomeni di rotazione osservati costituiscano un effetto differenziale »*. Ed infatti Egli in se-

guito trova altri casi in cui predomina l'effetto dovuto alle cariche negative.

Le *rotazioni positive*, (cioè quelle nel senso della corrente che produce il campo magnetico) sono precisamente quelle dovute all'azione del campo sulle traiettorie dei ioni positivi: le *rotazioni negative* sono quelle dovute all'azione delle particelle negative; e poichè i fenomeni di rotazione si producono, mentre il corpo mobile è immerso in un gas ionizzato esposto all'azione di un campo magnetico, chiama le rotazioni così osservate *rotazioni iono-magnetiche*.

Il Righi, per sottoporre la sua teoria all'esperienza, estende le sue considerazioni alle rotazioni che dovrebbero presentare corpi aventi forme svariate e all'influenza che deve determinare la distanza, la pressione e la natura del gas e discute altre circostanze che influiscono sul segno della rotazione: i risultati sono quasi sempre conformi alle sue previsioni.

Ma dalla spiegazione fornita per le rotazioni iono-magnetiche risulta evidente, come si richieda soltanto la presenza in un gas di ioni ed elettroni e l'esistenza di un campo magnetico, perchè l'effetto si produca. Egli sopprime quindi la scintilla e ionizza il gas rarefatto dentro il recipiente con raggi X; e così dimostra che anche in questo caso, sebbene in modo debolissimo, il fenomeno ha luogo.

In una nota « *Sul trasporto di ioni positivi effettuati dai raggi magnetici* » applica le rotazioni iono-magnetiche per confermare dal senso della rotazione di un appropriato mulinello, posto dove dovrebbero accumularsi i ioni positivi, la loro presenza. Il mulinello deve girare, se si eccita il campo magnetico esternamente al tubo di scarica, nel senso della corrente magnetizzante: le esperienze concludono favorevolmente, sebbene le rotazioni siano relativamente deboli.

Ma il Righi pensa che queste rotazioni siano il risultato differenziale tra l'effetto dei ioni positivi e di quelli negativi e che per ciò i risultati dovrebbero essere indubbiamente

più notevoli se si potesse eliminare l'effetto di una delle due specie di ioni, ciò che ottiene elettrizzando il corpo mobile.

In una nota « *Nuove esperienze di rotazioni iono-magnetiche* » (1913) e in una memoria (1913) sullo stesso argomento, tratta appunto di questo caso interessantissimo che potrebbe denominarsi *rotazioni iono-magnetiche dei corpi elettrizzati*.

Tratta anzitutto teoricamente il problema della traiettoria di una particella elettrizzata tra elettrodi cilindrici coassiali, mentre agisce un campo magnetico; le rotazioni ne risultano come necessaria conseguenza e con disposizioni sperimentali ingegnosissime conferma i risultati teorici, escludendo l'intervento efficace di un attrito tra il gas e il corpo mobile; espone alla fine alcune considerazioni sopra una possibile teoria elettronica delle forze pondero-motrici elettro-magnetiche; ma di questo sarà detto in seguito.

Una prova decisiva dell'esistenza di una emissione di particelle opportunamente elettrizzate da parte delle scintille nei gas rarefatti, il Righi ottiene facendo agire un campo magnetico trasversalmente rispetto alla corrente delle particelle medesime. La nota porta per titolo « *Sulla separazione magnetica dei ioni emessi dalla scintilla in gas rarefatto* » (1913). Le particelle portanti cariche positive e negative, che si dipartono da una scintilla in tutte le direzioni, per l'azione di un campo magnetico trasversale devono separarsi e quelle con cariche positive deviare in senso opposto a quelle con cariche negative. La disposizione è molto simile a quella con cui si realizza il fenomeno di Hall. Due lastrine metalliche poste nel tubo e comunicanti con l'esterno, tra le quali passano le particelle proiettate dalla scintilla, vengono unite ai due serratili di un galvanometro sensibilissimo. Questo, mentre resta immobile prima che agisca il campo magnetico, devia non appena il campo sia eccitato e la deviazione si inverte invertendo il senso della corrente.

magnetizzante. La corrente aumenta rapidamente col crescere dell'intensità del campo, indi rapidamente decresce.

La teoria del Righi aveva tuttavia sollevato alcune obiezioni, sebbene da tutti riconosciuta degna della maggiore considerazione; a queste obiezioni Egli risponde prima con una breve nota e poi con una memoria intitolata « *Ricerche sperimentali sui raggi magnetici in diversi gas e miscugli gassosi* » (1913).

Dopo aver ripetute e confermate le esperienze sull'anodo virtuale e precisato che questo si forma solo se la scarica è intermittente e quindi la probabilità di uno stretto legame tra la produzione dell'anodo virtuale, la periodicità della corrente e l'aumento della differenza di potenziale agli elettrodi, espone una serie di misure sulla distanza tra l'anodo virtuale e il catodo, nei diversi gas ed il procedimento per definire con molta esattezza la posizione di quest'anodo; trova così che l'anodo virtuale si forma tanto più lontano dal catodo quanto maggiore è la rarefazione e quanto maggiore è l'intensità del campo, purchè in questo caso non si arrivi a quegli elevati valori per i quali i raggi magnetici spariscono. E poichè qualche sperimentatore aveva trovato che in alcuni gas l'anodo virtuale non si produceva, il Righi dimostra come esso si possa ottenere con tutti i gas, ma esser necessario adoperare appropriate condizioni sperimentali, la qual cosa era del resto prevedibile con la sua teoria. In generale, l'anodo virtuale si forma tanto più lontano dal catodo quanto è minore il peso molecolare del gas adoperato. Interessantissimo è lo studio dei fenomeni presentati dai miscugli gassosi; così con un miscuglio di idrogeno ed azoto si trovano due anodi virtuali dipendenti dai due ioni presenti e cioè un'anodo più lontano per i ioni di idrogeno ed uno più vicino per quelli di azoto: la teoria spiega perfettamente questo risultato.

Tutta questa geniale e poderosa opera del Righi sui raggi magnetici Lo ha condotto in ultimo ad alcune altre

ricerche che possono considerarsi come una delle più interessanti basi sperimentali della teoria elettronica.

E qui non si potrebbe meglio precisare il suo pensiero che riferendo le sue stesse parole, che si trovano in una nota « *Sulla distribuzione della corrente in un elettrolito posto nel campo magnetico* » (1915).

Così Egli si esprime :

« *Anteriori ricerche sperimentali e teoriche rivolte allo studio degli effetti prodotti dal campo magnetico sul movimento dei ioni e degli elettroni in un gas percorso dalla corrente elettrica, mi hanno condotto a dimostrare che gli urti di essi sulle pareti del tubo che contiene il gas danno una risultante che tende a spostare il tubo medesimo, precisamente come accadrebbe, se invece del gas, la corrente percorresse un conduttore metallico di identica forma e dimensione. La forza pondero-motrice che agisce sul tubo non è dunque altro che la risultante della pressione dovuta agli urti effettuati dagli elettroni e dai ioni, sia sulle molecole gassose sia sulle pareti. L'analogia porta così all'ipotesi che l'ordinaria forza pondero-motrice prodotta dal campo su di un filo percorso dalla corrente sia la risultante degli urti degli elettroni, al moto dei quali si attribuisce principalmente la propagazione dell'elettricità nei metalli. Anche in tal caso il cambiamento di forma delle traiettorie delle particelle elettrizzate prodotto dal campo fa sì che la pressione sulle molecole e sulla superficie che limita il conduttore, (la quale non permettendo l'uscita degli elettroni, si comporta come la parete del tubo), risulti diversa da zero* ».

Con maggiore ampiezza l'argomento è poi trattato dal Righi in una memoria « *Sul moto dei ioni (ed elettroni) in un campo elettrico e magnetico e su diversi fenomeni che ne dipendono* ».

La teoria elettronica del Righi sulle forze pondero-motrici elettro-magnetiche veniva a colmare una lacuna rimasta nella teoria elettronica dei metalli. Questa teoria risulta in perfetto

accordo con l'esperienza: giacchè, facendo uso delle formole stabilite nella teoria elettronica di metalli, e particolarmente di quelle relative al caso in cui agisce un campo magnetico, è arrivato ad una formola esprimente la forza pondero-motrice suddetta, indentica a quella ammessa e dimostrata dall'esperienza.

Dopo avere svolta la parte teorica, dimostra come per mezzo di un tubo di scarica con aria rarefatta, opportunamente sospeso, si possano ripetere tutte le esperienze di Ampère, dimostranti le forze elettro-dinamiche e le forze elettro-magnetiche. Tra queste Egli realizza l'esperienza classica della rotazione di un tubo di scarica, disposto come il raggio di una circonferenza orizzontale e che gira intorno al centro di questa per azione di un campo magnetico verticale: per osservare la rotazione, uno degli elettrodi del tubo (A) comunica col filo metallico di sospensione e l'altro elettrodo (B) termina vicinissimo alla superficie di mercurio, contenuto in un canaletto circolare. La rotazione si inverte, invertendo la polarità della scarica o il senso della corrente eccitatrice del campo magnetico.

Che poi la forza agente sul tubo abbia esattamente lo stesso valore come se, con pari intensità di corrente, al gas rarefatto fosse sostituito un filo metallico, è facile a dimostrarsi, facendo a meno del canaletto circolare e facendo andare la corrente direttamente dall'elettrodo (B) ad un pozzetto di mercurio posto al di sotto del filo di sospensione per mezzo di un filo metallico. Il sistema mobile, costituito dal tubo e dal filo, più non si sposta per azione del campo magnetico.

« Ora, trasportando agli elettroni mobili entro i metalli quanto si è osservato circa i ioni e gli elettroni nei gas, si potranno realizzare coi metalli rotazioni ed in generale movimenti perfettamente simili a quelli dei tubi da scariche. In altre parole, i movimenti attribuiti alle forze elettro-dinamiche ed elettro-magnetiche, supposte agire a distanza sui fili metal-

lici percorsi da correnti elettriche, si potranno considerare essi pure come dovuti ad urti e pressioni prodotte da particelle elettrizzate, le quali, nel caso dei metalli, sono gli elettroni mobili entro di essi ».

*« Ecco dunque che l'osservazione causale di una rotazione prodotta da un rocchetto su un leggero mulinello sospeso, ha condotto passo passo, di deduzione in deduzione, ad una **teoria elettronica** delle forze sopra nominate, la quale colma una lacuna della teoria stessa ».*

Con la teoria del Righi, il campo magnetico fa dunque addensare gli elettroni in un conduttore percorso da corrente e disposto trasversalmente alle linee di forza in un determinato senso, normale al campo, secondo la direzione della corrente e la direzione del campo. Questa speciale distribuzione degli elettroni nel conduttore, porta una speciale distribuzione di pressione dovuta ai loro urti contro le molecole del conduttore medesimo, pressione che aumenta verso la sinistra di una persona, che, nuotando nel senso della corrente, guardi nella direzione delle linee di forza del campo. Questa speciale distribuzione della pressione porta ai seguenti tre effetti:

1) — lo spostamento del conduttore nel senso della pressione maggiore;

2) — l'esistenza di una differenza di potenziale tra due punti presi dove la pressione è differente;

3) — una diversa distribuzione della densità della corrente nel conduttore, ciò che si può esprimere dicendo « *che sotto l'azione del campo magnetico i filetti di corrente si spostano dentro il conduttore come farebbero tanti fili metallici liberi percorsi dalla corrente* ».

Un'ampia discussione su questi tre effetti viene fatta dal Righi nel suo libro « *I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo* »; ed in essa rileva come le esperienze di Hall rivolte a dimostrare il terzo effetto, lo abbiano invece condotto a scoprire il secondo: ed in questa occasione ri-

chiama le sue antiche esperienze e discute dal punto di vista della teoria elettronica le varie ipotesi per spiegare le divergenze che si manifestano tra la teoria e l'esperienza. Riguardo poi al terzo effetto, riconosce che esso non è constatabile nei metalli: « *ciò sembra indicare che la diffusione degli elettroni entro i metalli si effettua con una grande rapidità, per cui la variazione della loro densità, provocata dal campo, viene prontamente e quasi completamente compensata. Così non deve essere negli elettroliti* »; ed appunto con gli elettroliti Gli fu possibile ottenere la dimostrazione sperimentale del fenomeno di cui si tratta, tanto più che negli elettroliti il fenomeno di Hall è sensibilmente nullo.

Anche in questo caso le risorse sperimentali non mancarono al Righi per conseguire il risultato cui mirava: dopo vari tentativi ricorse al fenomeno della polarizzazione elettrolitica.

Nella stessa memoria tratta dalla teoria dei raggi magnetici, cogliendo occasione di eliminare alcune obiezioni mosse alla sua teoria.

Nuove esperienze sul potenziale di scarica nei tubi a gas rarefatti collocati in un campo magnetico vengono dal Righi pubblicate in un memoria « *Sulla fase iniziale della scarica in un campo magnetico* » (1916).

È questa una memoria dove Egli riassume le sue vedute sulla *magneto-ionizzazione* e meglio precisa l'azione del campo magnetico adoperando tubi molto lunghi e studiando l'azione del campo in direzione normale e parallela alla direzione della scarica.

Per completare infine questi suoi studi, compie una serie di ricerche « *Sulla ionizzazione prodotta dai raggi X nel campo magnetico* » (1917). Nei precedenti suoi lavori il Righi aveva dimostrata l'insufficienza delle spiegazioni date per render conto degli effetti prodotti da un campo magnetico sopra le scariche elettriche mentre i fenomeni osservati fornivano delle numerose conferme in favore della teoria da

Lui proposta della magneto-ionizzazione. Egli però desiderava di poter arrivare ad una dimostrazione sperimentale diretta dell' intensificazione, che il campo magnetico determina nella ionizzazione per urto degli elettroni. Pensò quindi di ripetere le classiche esperienze, con le quali fu dimostrata la ionizzazione delle molecole gassose prodotta dalle collisioni degli elettroni preesistenti. Il prodursi della ionizzazione per urto, che si verifica quando si aumenta sufficientemente la forza elettro-motrice applicata agli elettrodi, è rivelata dall'andamento di rigida ascesa delle curve tracciate prendendo come ascisse i valori delle forze elettro-motrici e come ordinate le intensità della corrente. Ora, quest' ultima esiste sempre, e cioè anche con valori minimi della forza elettro-motrice, perchè si opera in un gas esposto alla azione dei raggi X e quindi sempre provveduto di ioni che gli conferiscono una certa conducibilità. Se quindi si fanno delle misure di questo genere prima senza e poi con un campo magnetico di conveniente intensità, le curve ottenute in questo secondo caso dovrebbero mostrare una più rapida ascesa in corrispondenza degli altri valori del potenziale, se è vero che il campo magnetico intensifichi la ionizzazione per urto. Le esperienze delicatissime, nelle quali sono anche molteplici le cause di errore, e che richiedono numerosi apparecchi, hanno dimostrato che realmente il campo magnetico, perpendicolare alla direzione della forza elettrica, intensifica la ionizzazione per urto: e questa conferma riesce ad ottenere ancor più evidente modificando opportunamente gli apparecchi adoperati.

* * *

Tutta la vasta e complessa opera del Righi svolta in questi lavori veramente ammirabili per il perfetto equilibrio tra la previsione teorica e la conferma sperimentale, venne da Lui, come già si disse, riassunta nel suo libro « *I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo* », nel

quale trovasi inoltre esposta con peregrina chiarezza nel primo capitolo sull'*evoluzione delle teorie ideate per la spiegazione dei fenomeni elettrici*, mentre l'ultimo capitolo è dedicato ad una rapida sintesi delle moderne vedute sulle *correnti nei gas, negli elettroliti e nei metalli sotto l'azione del campo magnetico*: ma il processo logico di questi lavori riceve maggiore luce, seguendone l'ordine cronologico, col quale sono stati eseguiti.

* * *

Durante questi lavori una nuova corrente di idee andava intanto delineandosi nel campo della fisica col *principio di relatività* e con l'ipotesi della *contrazione longitudinale dei corpi animati da moto uniforme e rettilineo*: e col suo spirito così aperto ad ogni ardita innovazione del pensiero filosofico, il Righi non poteva non sentirsi attratto a portare tutta la sua attenzione sul nuovo indirizzo scientifico. Con quel finissimo intuito, che costituiva uno dei suoi pregi più eminenti, Egli pensò che innanzi tutto fosse necessario chiarire il punto di partenza di queste nuove correnti e, cioè, esaminare la validità della esperienza del Michelson.

La trattazione matematica di questa celebre esperienza nella forma in cui fu ideata, e cioè ammesso che l'angolo formato dai due specchi sia *esattamente* di 90° e quello della lastra inclinata e semi-argentata con le normali agli specchi sia *esattamente* di 45° , portava alla previsione formulata dal Michelson che « *si deve osservare uno spostamento di frangie passando dal caso in cui la traslazione terrestre si compie parallelamente alla direzione della luce incidente a quello in cui detta traslazione ha luogo in direzione trasversale* ».

L'ipotesi fondamentale era quella della immobilità dell'etere. Ora l'interesse supremo di questa esperienza consisteva appunto nel non esser mai stato possibile constatare questo spostamento delle frangie d'interferenza.

Per rendere conto di questo risultato si sono seguite due diverse vie e una delle ipotesi consisteva nell'ammet-

tere una contrazione longitudinale dei corpi che si trovano in moto attraverso l'etere, ipotesi che indipendentemente era già stata nettamente enunciata dal Lorentz; l'altra proveniva come naturale conseguenza del principio di relatività. Ed a questo proposito il Righi così si esprime nella sua prima memoria « *L'esperienza di Michelson e la sua interpretazione* ». (Gennaio 1919):

« La spiegazione basata su questa ipotesi (quella della contrazione longitudinale) suol esser preferita a quella che sgorga naturalmente dal principio di relatività, da parte di coloro, ai quali la lunga consuetudine del metodo sperimentale ha infuso una certa diffidenza verso tutto ciò che, confinando più o meno con la metafisica, minaccia di far perder contatto col mondo reale o con ciò che si è costretti ad ammettere come tale. Tuttavia è giusto riconoscere, che la teoria della relatività, dapprima semplice generalizzazione del moto relativo, ha acquistato già e va sempre più acquistando considerevole sviluppo e rimarrà sempre a testimoniare dell'acume di chi ha saputo crearla.

La spiegazione della celebre esperienza è stata in seguito a più riprese rettificata per determinare il giusto valore della deviazione che subisce il raggio riflesso dalla lastra semi-argentata, allorchè l'apparecchio sia animato da un movimento rettilineo ed uniforme.

Ordinariamente si ammetteva che il raggio che cade a 45° sulla lamina semi-argentata formasse un angolo di riflessione eguale a $45^\circ + \rho$, nel caso che il movimento dell'apparecchio trasportato dalla traslazione terrestre avesse luogo parallelamente alla luce incidente, ρ essendo l'aberrazione, ossia il rapporto tra la velocità di traslazione e la velocità della luce. Così però si veniva a trascurare un termine in ρ^2 , mentre è soltanto tenendo conto almeno delle due prime potenze di ρ che l'effetto del movimento può esser messo nella sua giusta evidenza. Ciò non ostante e pur essendo stato riconosciuto dallo stesso Michelson e dal suo collaboratore

il Morley, quale fosse il giusto valore della deviazione del raggio riflesso dalla lastra semi-argentata, si è seguitato a ritenere come esatto il valore di $45^{\circ} + \rho$, trascurando il termine in ρ^2 .

L'esatta valutazione delle deviazioni dei due raggi riflessi prodotte dal movimento, ha permesso di riconoscere che i due fasci interferenti non possano più avere generalmente la stessa direzione all'uscita dell'apparecchio, la qual cosa potrebbe dare origine alla produzione di frangie indipendentemente dalla differenza dei tempi impiegati dai due raggi medesimi nei loro percorsi. Il Righi riflettendo su questa circostanza, ha avuto il dubbio che potesse avvenire una specie di compensazione tra le variazioni prodotte, per il cambiamento di azimut dell'apparecchio, sulle due differenti cause che dovevano produrre le frangie di interferenza. Ed infatti, avendo ripetuto con l'impiego del principio di Huyghens la teoria dell'esperienza del Michelson, ha trovato che il suo dubbio era pienamente giustificato, giungendo al risultato che *« non deve mutare il fenomeno di interferenza passando dal caso in cui la traslazione terrestre si compie parallelamente alla direzione della luce incidente a quella in cui detta traslazione ha luogo in direzione trasversale »*.

Egli può quindi a ragione affermare che *« evidentemente se questo si fosse saputo prima del 1887, non si sarebbe forse ideata l'esperienza del Michelson, per cui sarebbe probabilmente mancata l'occasione di pensare alla relatività e alla contrazione »*.

Tutta la prima memoria è rivolta a dimostrare che l'esperienza del Michelson giustamente interpretata non può dare il risultato previsto.

Applicando rigorosamente il principio di Huyghens, trova anzitutto le due immagini coniugate corrispondenti di una onda piana normale alla direzione nella quale si propaga la luce incidente nel caso che questa direzione sia parallela al moto di traslazione e dimostra che queste due immagini sono

tra loro inclinate e che l'effetto risultante è identico a quello che darebbe in determinate condizioni una lamina sottile ideale avente la forma prismatica e la luce venisse riflessa dalle due facce inclinate. Indi determina le due immagini coniugate nel caso che la traslazione avvenga normalmente alla direzione di propagazione della luce e confronta i risultati che otticamente si dovrebbero avere passando dall'uno all'altro caso. Trova così che la « lamina equivalente » per il caso della traslazione trasversale (rispetto alla direzione della luce incidente) è identica a quella che si ottiene nella traslazione parallela, salvo una rotazione nel senso degli indici di un orologio, se la traslazione avviene nello stesso senso della propagazione della luce, ma tale rotazione è piccolissima, di valore indipendente dalla distanza degli specchi dalla lamina semi-argentata e non modifica sensibilmente il fenomeno di interferenza considerato come dovuto alla lamina equivalente. Ne conclude per ciò che non si ha verun cambiamento nel passare dall'una all'altra delle due orientazioni principali. Ed estendendo poi il calcolo ad un caso generale, in cui cioè la rotazione di 90° dell'apparecchio si compisse a partire da un azimut qualsiasi, dimostra l'invariabilità del fenomeno ottico quantunque sia l'orientazione da cui si parte o « *in altri termini il teorema, opposto alla previsione del Michelson, gode della massima generalità* ».

« *Un mutamento nel fenomeno ottico si prevede però se queste condizioni relative all'orientazione dei tre riflettori non sono adempiute (lastra semi-argentata a 45° sulla direzione della luce e specchi rigorosamente perpendicolari). E siccome i fisici hanno ripetutamente cercato, e, a quanto essi dichiarano, sempre invano, di constatare quel mutamento variando l'angolo compreso tra la direzione della luce incidente e la direzione della traslazione terrestre, così il teorema finora dimostrato non può dispensarci dal dover ricorrere a qualche ipotesi speciale onde render conto di una così patente contraddizione tra teoria ed esperienza. Bisogna, cioè, ancora*

adottare la moderna teoria della relatività o l'ipotesi della contrazione longitudinale dei due corpi che si muovono attravverso l'etere o qualche altra ipotesi ».

Si presentava così la necessità di esaminare il modo di comportarsi dell'apparecchio del Michelson allorchè ne venga modificata la struttura spostando angolarmente i tre riflettori. Nella seconda memoria Egli tratta appunto questo problema, cominciando dal caso di uno spostamento sufficientemente piccolo dato allo specchio su cui batte il raggio riflesso dalla lastra semi-argentata. Il risultato a cui giunge è questo, che le due immagini coniugate dovrebbero dare origine ad un sistema di frangie di interferenza, per il quale più non dovrebbe sussistere l'invariabilità del fenomeno ottico girando tutto l'apparecchio di 90° : in altri termini più non esisterebbe quella compensazione che si verificava nel caso dell'esperienza pura quale fu ideata dal Michelson. E poichè nella pratica attuazione dell'esperienza del Michelson per osservare le frangie abbastanza nitide e vicine effettivamente ad uno dei riflettori si era dato un piccolissimo spostamento angolare, la mancata osservazione del fenomeno anche in queste condizioni porterebbe di necessità alle stesse conseguenze che scaturivano dalla approssimata interpretazione dell'esperienza del Michelson. Finalmente tratta il problema della distanza delle frangie nel caso più generale dello spostamento angolare della lastra e dei due specchi.

In una terza memoria « *Sulle basi sperimentali della teoria della relatività* », dopo un lucido riassunto dei principali risultati delle due precedenti memorie, esamina la forma delle frangie che dovrebbero osservarsi e in ultimo termina con una discussione sull'ammissibilità della teoria della contrazione.

Di eccezionale importanza è la sua quarta memoria « *Sulla teoria della relatività e sopra un progetto di esperienza decisiva per la necessità di ammetterla* ». Essa è divisa in due parti: nella prima chiarisce certi punti fondamentali della

sua teoria, che da qualcuno non erano stati abbastanza bene compresi, ciò che gli fornisce l'opportunità di completare la teoria medesima.

La seconda parte ha invece uno scopo pratico, « *in quanto riguarda la preparazione di un piano di esperienze, le quali varranno verosimilmente a decidere una buona volta, se i fatti obblighino o no ad ammettere la relatività, e, in ogni caso, a dare una risposta sicura ad un quesito di interesse supremo, quale è quello di sapere se il moto rettilineo ed uniforme di un sistema influisca o no sui fenomeni ottici (ed elettromagnetici) che in esso si compiono* ».

Dopo quanto il Righi ha pubblicato nelle precedenti memorie poteva infatti asserirsi che l'esperienza del Michelson era in realtà, per le conseguenze che se ne erano dedotte, assolutamente priva di valore e questo comunque venisse considerata. « *Infatti, così il Righi si esprime, nel caso dell'esperienza pura la previsione di uno spostamento di frangie è erronea e per ciò nessun valore ha la constatazione sperimentale del non prodursi di tale spostamento. D'altra parte avviene che le frangie di interferenza sono talmente lontane fra loro, che l'esperienza pura è quasi irrealizzabile. Ciò ha costretto gli sperimentatori a spostare angolarmente almeno uno dei riflettori, o, quanto meno, a non curarsi di regolarli come la teoria presuppone. In simili condizioni uno spostamento di frangie (come già è stato detto prima) è prevedibile. Esso non venne mai constatato: ma tale risultato è pur esso insufficiente, poichè permane il dubbio che lo spostamento non si scorga semplicemente perchè troppo piccolo e sfugga così all'attenzione dell'osservatore. Questi poi fu sempre dominato dal preconconcetto di trovarlo della grandezza preannunziata dal Michelson, ciò che può aver avuto qualche influenza sulle conclusioni* ».

Egli per ciò presuppone di dare allo specchio un determinato spostamento angolare e con lunghi e laboriosi calcoli, applicando le formole da Lui ricavate, determina lo sposta-

mento che si dovrebbe osservare nelle frangie, per la rotazione di 90° dell'apparecchio: così, per esempio, dando allo specchio uno spostamento angolare di $1'$, trova che si dovrebbe avere, posta eguale a 1 metro la distanza tra la lastra semi-argentata e gli specchi, uno spostamento delle frangie di 0,5865 mm. mentre l'intervallo delle frangie è di circa 1 mm. Che se poi si temesse che il grado di precisione conseguibile nella lavorazione degli specchi non consentisse di realizzare frangie così fitte, si potrebbe prendere uno spostamento angolare dello specchio più piccolo, per es. di $10''$, e lo spostamento sarebbe ancora tale da esser con sicurezza constatabile.

Così il Righi conclude:

« Qualunque sia per essere il risultato, che si ricaverà dalle esperienze effettuate seguendo il piano qui esposto, esso dovrà essere da ognuno accettato, risponda o no ai preconcezioni che in un senso o nell'altro ne ingombrassero la mente. Ma un'unica esperienza dovrà esser considerata come insufficiente. Se ciò è sempre buona regola di prudenza scientifica, lo è maggiormente nel caso attuale, in quanto che si tratta della soluzione di un problema sperimentale, al quale sono connesse questioni di immensa importanza filosofica e scientifica ».

E dopo aver accennato alle grandi difficoltà che l'esperienza comporta e a qualche caso in cui lo spostamento delle frangie potrebbe risultare accidentalmente nullo, così continua:

« Però non resterà nessun dubbio, se l'apparecchio è di costruzione da consentire uno spostamento micrometrico di uno degli specchi. Se all'atto pratico si constaterà sempre l'assoluta mancanza di uno spostamento di frangie colla rotazione di 90° , comunque lo specchio venga spostato, la conclusione, che in conseguenza di una erronea interpretazione si trasse finora dalla esperienza di Michelson e Morley risulterà ripristinata, tanto che si potrà finalmente dire che il principio di relatività ha una sicura base sperimentale ».

Anche in questa questione il Righi mostra l'altissima importanza che attribuiva alle più ardite ipotesi, ma nello stesso tempo la grandissima prudenza nell'accettarle: per il Righi il giudizio supremo doveva sempre spettare all'esperienza. Nella sua terza memoria Egli espone in modo lucidissimo il suo pensiero su queste nuove teorie.

Dopo aver supposto che l'esperienza, invece dei risultati negativi finora avuti, mostrasse realmente lo spostamento delle frangie previsto, così prosegue:

« Ma, ed è ciò che più mi preme dichiarare, se anche si fosse arrivati a tanto, quella teoria che, in grazia del portentoso ingegno di chi l'ha creata, ha fornito già risultati importantissimi, mentre di altri offre la promessa, dovrà secondo me rimanere al posto di onore che occupa, non fosse altro come un mezzo di indagine prezioso ».

« È da sperare, che presto o poi per vie differenti si giunga a trovare uno ad uno i risultati più salienti raggiunti già della teoria di Einstein. La teoria elettrica della materia permette già di intuire quella relazione tra luce e gravitazione, che le recenti note osservazioni astronomiche hanno in parte, ma però anche quantitativamente, confermato. E così si potrà forse pensare, che la Teoria della Relatività non abbia bisogno di appoggiarsi sopra esperienze di laboratorio. Tuttavia sinceramente mi auguro, che, anche senza esser costretti ad accettare nuovi concetti metafisici, si arrivi a spiegare quella sensibile deviazione impressa da una grande massa, come il sole, su raggi di luce che passano in prossimità di essa, perchè certamente non se ne avvantaggerebbe il progresso scientifico dell'umanità, se i fondamenti della filosofia naturale non dovessero rimanere accessibili che a quei pochi privilegiati, per i quali è agevole il maneggio dei più complicati strumenti matematici ».

Nella quarta memoria è riportata una pagina da Lui scritta nella sera del 7 giugno, pochissime ore prima della sua fine: Egli così moriva in una superba visione di nuovi

trionfi scientifici, mentre si accingeva a raccogliere i mezzi che gli consentissero di ripetere in modo decisivo la esperienza di Michelson. La morte non volle concedergli questa suprema soddisfazione di tradurre in atto il suo piano di ricerche, frutto di tante sue lunghe meditazioni, nelle quali ricerche Egli avrebbe certamente superate, con le sue inesauribili risorse, le gravissime difficoltà sperimentali ad esse inerenti.

* * *

L'opera di Augusto Righi non si limita solamente a quella fin qui riferita, la quale viene integrata da un'opera che Egli svolse con altrettanto mirabile successo nell'insegnamento e nella volgarizzazione delle nuove teorie fisiche.

Possedeva in grado eminente le doti più preziose dell'insegnante: la sua voce insinuante, dolce ed armoniosa, la sua parola calda e fluente rendevano in modo perfetto il suo pensiero sempre chiaro e preciso: assistere ad una lezione o ad una conferenza di Augusto Righi era un intenso godimento dello spirito: i suoi allievi non potranno mai dimenticare per questa parte l'insuperabile Maestro, che avevano seguito soggiogati dal fascino della sua smagliante eloquenza.

Tutto quanto il Righi esponeva, sembrava facile e piano, anche quando assurgeva alla trattazione delle più ardue questioni di filosofia naturale: il suo ragionamento era un modello di ordine e di logica, mentre vivificava con analogie e con immagini sapientemente ed argutamente scelte ciò che a Lui sembrava di più difficile comprensione.

I suoi libri « *L'ottica delle oscillazioni elettriche* » (1907) e « *La telegrafia senza filo* » (1903), quest'ultima scritta con la collaborazione del Prof. Dessau, mostrano le rare attitudini del Righi in questo genere così difficile di letteratura scientifica.

Il primo, che fu tradotto anche in francese, è in gran parte un riassunto delle sue ricerche, come già è stato detto precedentemente. Il secondo, edito contemporaneamente in lingua italiana e tedesca, ha piuttosto la forma di un vero

trattato, in quanto contiene una larga introduzione, scritta tutta dal Righi, sul campo elettrico e le correnti elettriche costanti, sul campo magnetico e lo stato variabile delle correnti. A questa introduzione segue la parte che riguarda propriamente il titolo del libro e, cioè, l'esposizione degli apparecchi di emissione e di rivelazione delle onde hertziane e i sistemi fino allora immaginati per la telegrafia senza filo. Un'ultima parte, scritta essa pure dal Righi, tratta della telegrafia senza filo mediante le radiazioni luminose ed ultraviolette. È un libro che si legge con grandissimo diletto e col più vivo interesse, e che raggiunge pienamente lo scopo per cui fu scritto, di dare a chiunque, non sia privo di cultura generale, una nozione esatta delle basi scientifiche sulle quali riposa l'applicazione delle onde hertziane, realizzata dal Marconi. La pregevolissima bibliografia che segue ogni capitolo può essere consultata con molto profitto da quanti intendessero occuparsi di questi studi.

Le altre sue pubblicazioni sulle nuove teorie fisiche appartengono alla collezione delle attualità scientifiche edita dallo Zanichelli e sono dei veri gioielli per chiarezza di esposizione, per eleganza di forma e per armonia di concezione.

Alla monografia « *Il moto dei ioni nelle scariche elettriche* » (1903) nella quale Egli riassumeva tanta parte dell'opera sua, seguiva quella « *La moderna teoria dei fenomeni fisici* » (1904) che ebbe un incontrastato successo, come viene dimostrato dalle tre edizioni, che si susseguirono nel brevissimo intervallo di due anni, e dalle traduzioni che ne furono fatte in inglese, tedesco e francese.

Dopo una rapida esposizione dei concetti fondamentali sui ioni elettrolitici e sugli elettroni, tratta dei fenomeni luminosi e dei rapporti esistenti tra questi fenomeni e gli elettroni, spiegando con particolare chiarezza il fenomeno di Zeeman: espone poi quale sia la natura dei raggi catodici e ne ricorda le principali proprietà. Segue un interessante

capitolo sul comportamento dei ioni nei gas e nei solidi, nel quale riassume i più importanti risultati della teoria elettromagnetica. Dopo un largo riassunto dei fenomeni presentati dai corpi radioattivi, tratta delle trasformazioni atomiche, e riassume in seguito quanto è stato fatto per determinare la massa, la velocità e la carica elettrica dei ioni ed elettroni, per terminare con una mirabile sintesi sulla costituzione della materia. Un'estesa bibliografia chiude questo magnifico libro, nel quale predomina un'impronta tutta sua personale ed originale, frutto dell'opera da Lui svolta in tutte le sue ricerche e dalle sue profonde cognizioni nelle nuove teorie, alle quali aveva portato così poderoso contributo.

La magnifica opera sua di vulgarizzazione scientifica prosegue con una splendida conferenza sul « Radio » tenuta nel 23 maggio 1904 alla Sezione bolognese dell'associazione elettrotecnica italiana (*Attualità scientifiche*, n. 6) conferenza ricca di brillanti esperienze eseguite con apparecchi che Egli aveva portato alla più alta perfezione, e con il magistrale discorso da Lui tenuto in occasione delle sue feste giubilari il 12 aprile 1907 « *Sull'ipotesi della natura elettrica della materia* » pubblicato nel volume che di queste solenni onoranze contiene un ampio resoconto: con maggiore ampiezza lo stesso argomento è trattato in un volumetto (*Attualità scientifiche*), n. 10) col titolo « *Le nuove vedute sull'intima struttura della materia* » (1907).

Gli studi sui raggi magnetici, che gli avevano permesso di raccogliere tanta messe di risultati sperimentali, come più sopra si è detto, formarono l'oggetto di una poderosa pubblicazione, col titolo « *La materia radiante e i raggi magnetici* » (*Attualità scientifiche*, n. 12) (1910).

Anche in questo libro l'ordine e la chiarezza sono ammirabili. L'opera è divisa in due parti: nella prima, dopo una rapida introduzione d'indole generale, tratta in moto diffuso dei raggi costituiti da elettroni negativi, dei raggi costituiti da ioni positivi, della possibile esistenza di altre specie di materia radiante, quindi dei raggi magnetici; nella seconda

parte riassume invece i lavori da Lui fatti su quest'ultimo argomento, dimostrando come conseguenza la validità della ipotesi da Lui ideata dei sistemi giranti ione-elettone. In opportune appendici sono trattati i principali problemi teorici inerenti ai raggi magnetici, così che il libro dà un quadro completo di questo nuovo e vasto capitolo della Fisica.

« *Comete ed elettroni* », (Attualità scientifiche, n. 13) è il titolo del discorso con cui il Righi inaugurava il 22 giugno 1910 la solenne seduta plenaria della R. Accademia di Bologna. Questo discorso destò il più vivo interesse, perchè pochi giorni prima, il 19 maggio, la terra doveva essersi trovata nella massima vicinanza con la coda della cometa di Halley. La parte principale del discorso è rivolta a discutere le probabili cause fisiche che possono determinare le manifestazioni delle code cometarie: e mentre dimostra come nella pressione delle radiazioni debba trovarsi la ragione dell'aspetto delle comete, ritiene che altrove debba ricercarsi la spiegazione di altre interessanti particolarità da esse offerte; e questa spiegazione Egli crede debba ricercarsi nei fenomeni di ionizzazione che devono prodursi per molteplici cause nelle code delle comete. Un breve accenno si trova alla fine sui risultati fino allora conosciuti delle varie osservazioni fatte nel giorno del passaggio della cometa alla minima distanza della terra. Questo discorso, denso di acute ed originali osservazioni, venne anche tradotto in lingua tedesca.

Ma tutta la profondità, la vastità e la lucidità del pensiero filosofico del Righi, appare nella sua vera luce nel discorso col quale Egli inaugurava nell'ottobre 1911 la V.^a riunione della Società per il progresso delle Scienze, discorso che porta per titolo « *La Nuova Fisica* » (Attualità scientifiche, n. 16).

Riassumere questo discorso sarebbe quasi una irreverenza, tanto esso è armonico nella sua perfetta struttura: ma un periodo merita di esser riprodotto, quello nel quale il Righi rivendica l'opera sua. Dopo aver richiamate le sue esperienze

sulle ombre elettriche nell'aria alla pressione atmosferica, così si esprime: *« il fenomeno era in sostanza fin d'allora correttamente interpretato, così senza peccare di presunzione posso dire che si concepiva in Italia l'ufficio compiuto nella trasmissione dell'elettricità nei gas delle particelle materiali elettrizzate, oggi chiamate ioni, ed era già a buon punto lo studio sperimentale dei loro movimenti, prima assai che al di là delle Alpi sorgesse quell'ipotesi degli elettroni, che ha fatto oggi accettare ai fisici in modo definitivo una interpretazione identica a quella presentata fin d'allora »*. E poichè, come Egli dice nello stesso discorso, *« la fisica d'oggi si potrebbe denominare la Scienza degli elettroni »* ben a ragione si può affermare che della nuova Fisica il Righi sia stato non solo uno tra i più grandi fattori, ma anche uno tra i più insigni precursori.

* * *

Tutta la carriera scientifica di Augusto Righi si è svolta facile e piana: nè poteva esser altrimenti perchè i suoi meriti, veramente eccezionali, Lo difesero anche da quelle piccole invidie, che spesso perseguitano i più eletti ingegni e ne amareggiano l'esistenza.

La sua nomina a membro delle principali Accademie italiane ed estere costituisce un vero plebiscito dell'altissima considerazione nella quale Egli era tenuto da tutto il mondo scientifico.

Apparteneva dal 1891, come membro effettivo, alla Società dei LX, dal 1887 come socio corrispondente e dal 1898 come socio nazionale alla R. Accademia dei Lincei, dal 1884 come socio corrispondente e dal 1915 come socio nazionale alla R. Accademia delle Scienze di Torino: era stato nominato Accademico Benedettino dall'Accademia delle Scienze di Bologna fin dal 1879: era inoltre corrispondente del R. Istituto Veneto (1889), dell'Accademia Gioienia (1892), dell'Accademia di Modena (1903), ecc.

Nelle Accademie estere apparteneva: come membro onorario alla Società delle Scienze di Mosca (1895), alla Società filosofica di Cambridge (1895), alla Società di Fisica e Storia Naturale di Ginevra (1898), all'Istituto Reale della Gran Bretagna (1906), alla Royal Society di Edimburgo (1907), alla Società Scientifica « Antonio Alzate » di Messico (1907), all'Imperiale Accademia delle Scienze di Mosca (1914), alla Institution of Electrical Engineers di Londra (1917): come socio corrispondente, all'Accademia imperiale di Pietroburgo (1897), alla Società di Londra (1907), all'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Francia (1913), all'Accademia di Haarlen (1917), al Bureaux des Longitudes di Francia (1917): come socio alla Royal Institution of Great Britain (1899), alla R. Società delle Scienze di Upsala, dove fu successore di Lord Kelvin (1908), alla R. Società fisiografica di Lund (1910), alla R. Società Scientifica di Gottinga (1911), all'Accademia di Boston (1912), all'Istituto internazionale di Fisica Salvay di Bruxelles (1918), ecc..

Fu nominato « Dottore honoris causa » dell'Accademia Georgia (1899), in Filosofia dall'Università di Gottinga (1899), dall'Università di Erlangen (1907).

Fu inoltre uno dei dodici soci Onorari della Società di Fisica di Londra (1903).

Nel 1875 conseguì un premio della Società dei XL, nel 1882 la medaglia Matteucci della Società Italiana delle Scienze, nel 1891 il premio Reale della Fisica della R. Accademia dei Lincei, nel 1905 la medaglia ed il premio Hughes della Società Reale di Londra, nel 1912 il premio Vallauri dell'Accademia delle Scienze di Torino.

Occupò molte cariche pubbliche e fu insignito di alte onorificenze, tra le quali quella di Cavaliere al merito civile di Savoia (1905), nel quale Ordine fu nel 1919 chiamato all'Ufficio di Consigliere.

Nel 1905 ebbe la nomina a Senatore del Regno, e nell'Alto Consesso portò il contributo della sua rara competenza

nelle discussioni che in particolar modo interessavano i problemi dell'alta cultura nazionale. Nel 1912 fu nominato Regio plenipotenziario per la Convenzione internazionale dell'Ora.

* * *

Nelle azioni di tutta la sua vita si ispirò sempre a quanto Gli consigliava la sua coscienza, veramente adamantina, conservando piena la sua libertà di pensiero e di giudizio. Visse in tal modo quasi in un ambiente superiore alle lotte che giornalmente si combattono: così che quando la salma di Augusto Righi si avviava nella sua città diletta all'ultima dimora, tutta Bologna, senza distinzione di classi o di partiti, si inchinava reverente al suo passaggio, trasformando la muta dimostrazione di cordoglio in una superba apoteosi.

* * *

L'opera di Augusto Righi appare tanto più fulgida e vasta quanto più si analizza e si studia: è questo il carattere essenziale delle opere compiute da coloro che il Genio ha voluto sorreggere con la sua fiamma immortale: soltanto la fiamma del Genio poteva fondere, in una sintesi così completa ed armonica, tanta profondità di pensiero e tanta magnificenza di ricerca sperimentale.

ONORIFICENZE TRIBUTATE AD AUGUSTO RIGHI.

- 1874. Socio corrispondente della Società Agraria di Bologna.
- 1875. Premio di L. 1000 della Società dei XL. Membro dell'Accademia delle scienze dell'Istituto di Bologna.
- 1877. Menzione Onorevole della R. Accademia dei Lincei. Cavaliere della Corona d'Italia.
- 1879. Accademico Benedettino dell'Accademia delle Scienze di Bologna.
- 1881. Corrispondente della Società di Scienze Naturali ed Economiche di Palermo.
- 1882. Medaglia Matteucci della Società Italiana delle Scienze.
- 1884. Corrispondente della R. Accademia delle Scienze di Torino.
- 1886. Socio effettivo della Società Veneto-Trentina.
- 1889. Corrispondente del R. Istituto Veneto.
- 1891. Membro della Società dei XL. Membro dell'Accademia di Padova. Premio reale della Fisica della R. Accademia dei Lincei.
- 1892. Corrispondente dell'Accademia Gioenia. Cavaliere dell'Ordine dei S. S. Maurizio e Lazzaro. Membro della Società degli Spettrocopisti Italiani.
- 1895. *Membro Onorario della Società delle Scienze di Mosca.*
- 1897. *Corrispondente dell'Accademia Imperiale di Pietroburgo. Membro Onorario della Società Filosofica di Cambridge.*
- 1899. *Membro Onorario della Società di Fisica e Storia Naturale di Ginevra.* Socio Effettivo della R. Accademia dei Lincei.

1899. *Socio della Royal Institution of Great Britain. Dottore honoris causa dell'Accademia Georgia. Dottore honoris causa in filosofia dell'Università di Gottinga. Socio corrispondente del R. Istituto Lombardo.*
1900. Socio Onorario dell'Accademia Gioenia di Catania.
1901. Ufficiale della Corona d'Italia.
1902. Commendatore dell'Ordine dei S. S. Maurizio e Lazzaro.
1903. *Uno dei Dodici Soci Onorari della Società di Fisica di Londra. Corrispondente dell'Accademia di Modena.*
1905. Senatore del Regno. Cavaliere dell'Ordine Civile di Savoia. *Medaglia e premio Hughes della Società di Londra.*
1906. *Membro Onorario dell'Istituto Reale della Gran Bretagna.*
1907. Socio corrispondente dell'Ateneo di Brescia. Grande Ufficiale della Corona d'Italia. *Membro onorario della Royal Society di Edimburgo. Dottore honoris causa della Università di Erlangen. Corrispondente della Società di Londra. Membro onorario della Società Scientifica « Antonio Alzate » di Messico.*
1908. *Socio Ordinario, in posto di Lord Kelvin, nella R. Società delle Scienze di Upsala.*
1909. *Invito dell'Università di Columbia (New York) a tener un corso di lezioni.*
1910. *Membro della R. Società Fisiografica di Lund.*
1911. *Membro della R. Società Scientifica di Gottinga. Membro Onorario dell'Accademia dei Zelanti di Acireale.*
1912. *Membro dell'Accademia di Boston. Premio Vallauri dell'Accademia di Torino. Regio Plenipotenziario per la Convenzione Internazionale dell'Ora.*
1912. *Socio Corrispondente dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Francia.*
1914. *Membro Onorario dell'Imp. Accademia delle Scienze di Mosca.*
1915. Socio Nazionale dell'Accademia delle Scienze di Torino.

1917. *Membro Corrispondente dell' Accademia di Haarlem. Membro Onorario della Institution of Electrical Engineers di Londra.*
1918. *Membro dell' Istituto Internazionale di Fisica Solvay di Bruxelles.*
1919. *Consigliere dell' Ordine civile di Savoia. Membro Corrispondente del Bureaux des Longitudes di Francia.*
-

PUBBLICAZIONI DI AUGUSTO RIGHI.

1. « L'elettrometro ad induzione ». — Bologna, Tip. Gamberini e Parmeggiani (1872).
2. « Sulla composizione dei moti vibratorii ». — *Il N. Cimento*, serie 2.^a, t. IX, pag. 160 (1873).
3. « Ricerche di Elettrostatica ». — *Il N. Cimento*, aprile 1873.
4. « Sul principio di Volta ». — Bologna, Tip. Gamberini e Parmeggiani (1873).
- 4a. « Sur le principe de Volta ». — *Journal de Physique*, t. III (1874).
5. « Su alcuni punti controversi di Elettrostatica ». — Bologna, Tip. Gamberini e Parmeggiani (1874).
6. « Ricerche sulle forze elettromotrici ». — *Il N. Cimento*, marzo 1875.
7. « Pila - Pila termoelettrica ». — Articoli nella *Enciclopedia Chimica* della Unione Tip. Torinese (1875).
8. « Sulla visione stereoscopica ». — *Il N. Cimento*, luglio 1875.
9. « Nouveaux Théorèmes de Géométrie Projective ». — *Nouvelles Annales*, 2.^e série, t. XVI, 1877.
10. « Sulla penetrazione delle cariche elettriche nei coibenti fissi ed in movimento, con applicazione alla teoria dei condensatori, dell'elettroforo e delle macchine ad induzione ». — *Mem. dell'Acc. di Bologna*, 20 maggio 1875.
- 10.a « Sur la pénétration des charges ecc. ». — *Journal de physique*, t. V, pag. 182 (1876).
11. « Sull'azione dei coibenti nelle esperienze relative alla elettricità di contatto e nelle coppie voltaiche ». — *Memorie della Società dei XL*, serie 3.^a, t. II.

12. « Alcuni metodi fotografici ». — *Il N. Cimento*, luglio 1876.
13. « Esperienze da lezione sui fenomeni di fosforescenza ». — *Il N. Cimento*, luglio 1878.
14. « Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche ». — *Rend. dell'Accademia di Bologna*, 11 maggio 1876.
15. « Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche ». — *Memoria dell'Accademia di Bologna*, 11 maggio 1876.
16. « Esperienze col radiometro di Crookes ». — *La Scienza applicata*, v. I, parte II, fasc. 8 (1876).
17. « Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche ». — (2.^a Memoria). *Mem. della R. Acc. dei Lincei*, 4 febbraio 1877.
18. « Ricerche sperimentali sull'interferenza della luce ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 19 aprile 1877.
19. « Sulla velocità della luce nei corpi trasparenti magnetizzati. — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 29 novembre 1877.
20. « Sulla velocità della luce nei corpi trasparenti magnetizzati ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 29 novembre 1877.
21. « Sulla concentrazione di una soluzione magnetica al polo di una calamita ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 29 novembre 1877.
22. « Il telefono che s'ascolta a distanza ». — *L'Elettricista*, v. II, n. 13, Firenze 1878.
23. « Descrizione ed uso di una macchina di Holtz di costruzione speciale ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 17 aprile 1879.
24. « Sulla dilatazione dei coibenti armati per effetto della carica ». — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 17 aprile 1879.
25. « Sui fenomeni elettrici delle bolle di Canton ». — *Memoria della R. Acc. di Bologna*, 17 aprile 1879.
26. « Sopra un caso di polarità permanente dell'acciaio inversa di quella dell'elica magnetizzante ». — *Rend. della R. Acc. di Bologna*, 20 febbraio 1880.

27. « Sur un cas de polarité ecc. ». — *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris*, 22 mars 1880.
- 27a. « Sulle variazioni di lunghezza che accompagnano la magnetizzazione ». — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 11 dicembre 1879.
28. « Sulla dilatazione galvanica ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 11 dicembre 1879.
29. « Sulla formazione dell'Albero di Marte ». — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 11 dicembre 1879.
30. « Sulla polarità permanente inversa dell'acciaio ». — *Il N. Cimento*, 3.^a serie, t. VIII, pag. 102.
31. « Alcune esperienze coi nuovi tubi di Crookes e con tubi di Geissler ». — Bologna, Società Tipografica Azzoguidi, 1880.
32. « Contribuzioni alla teoria della magnetizzazione dell'acciaio ». — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 20 maggio 1881.
- 32a. « Contributions à la théorie de la magnétisation de l'acier ». — *Journal de Physique*, t. X, 1881.
33. « Altre esperienze coi tubi di Crookes. — *Rivista Scient. Industriale*, Firenze.
34. « Le Ombre elettriche » (Nota). — *Rend. della R. Accademia di Bologna*, 12 maggio 1881.
35. « Le Ombre Elettriche ». — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 12 maggio 1881.
- 35a. « Ueber die elektrischen Schatten ». — *Beiblätter z. d. Ann. d. Physik und Chemie*, 1881.
36. « Spostamenti e deformazioni delle scintille elettriche nell'aria ». — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 12 maggio 1881.
37. « Di alcune curiose conformazioni delle scintille elettriche nell'aria. — *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 12 maggio 1881.
38. « Sulle figure elettriche in forma di anelli ». — *Memoria della R. Acc. di Bologna*, 23 marzo 1882.
39. RIGHI e VILLARI. « Sulla carica dei coibenti ». — *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, 4 dicembre 1881.

40. « Le Ombre Elettriche » (Seconda Memoria). — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 11 maggio 1882.
- 40a. « Sur les Ombres electriques et sur divers phénomènes connexes ». — *Journal de Physique*, 2^e série, t. II, 1883.
41. « Sui cambiamenti di lunghezza d'onda ottenuti colla rotazione di un polarizzatore, e sul fenomeno dei battimenti prodotto colle vibrazioni luminose ». — *Rend. della R. Accademia di Bologna*, 14 gennaio 1883.
42. « Sui cambiamenti di lunghezza d'onda ecc. ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 14 gennaio 1883.
- 42a. « Ueber die Aenderungen der Wellenlänge, hervorgerufen durch die Rotation eines Polarisators, und ueber das Phaenomen der Schwebungen, hervorgebracht durch Lichtschwinkungen » — *Repertorium der Physick* Wien. 1883.
43. RIGHI e TAMBURINI. « Ricerche sull'azione della magnete e degli agenti termici nella ipnosi isterica. — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 22 aprile 1883.
44. « Sul fenomeno di Hall ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 3 giugno 1883.
- 44a. « Sur le phénomène de Hall. — *Journal de Physique*, 2^e serie, t. II, 1883.
- 44b. « Ueber das Hall'sche Phaenomen ». — *Repertorium der Physik*, Wien 1883.
- 44c. « Sur les changements de l'onde etc.....
45. « Ricerche sperimentali sul fenomeno di Hall particolarmente nel bismuto. — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 11 novembre 1883.
- 45a. « Experimentelle Untersuchungen ueber das Hall'sche Phaenomen speciell im Wismuth » — *Repertorium der Physik* ». Wien 1883.
46. « Anelli di Newton in movimento ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 25 novembre 1883.

47. « Influenza del calore e del magnetismo sulla resistenza elettrica del bismuto. — *Mem. della R. Accademia dei Lincei*, 3.^a serie, t. XIX, 4 giugno 1884.
48. « Intorno ad una nuova spiegazione del fenomeno di Hall ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 15 giugno 1884.
49. « Sulla velocità dei raggi polarizzati circolarmente nell'interno di un corpo dotato di potere rotatorio ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 14 dicembre 1884.
- 49a. « Ueber die Geschwindigkeit der circularpolarisirten Strahlen im Innern eines nist Drehungsvermögen begabten Körpers » — *Repertorium der Physik*. Wien 1885.
50. « Ricerche sperimentali e teoriche intorno alla riflessione della luce polarizzata sul polo di una calamita ». — *Memoria della R. Accad. dei Lincèi*, 19 aprile 1884.
- 50a. « Recherches experimentales et théoriques etc. ». — *Annales de Chimie et Physique*, 6^e serie, t. IV, 1885.
51. « Sulla fotografia delle scintille elettriche nell'acqua ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 1885, pag. 459.
52. « Nuove esperienze sul fenomeno di Kerr ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 1885, pag. 463.
53. « Descrizione di un nuovo polarimetro ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 8 novembre 1885.
- 53a. « Beschreibung eines neuen Polarimeters ». — *Repertorium der Physik*. Wien 1885.
54. « Ricerche sperimentali e teoriche intorno alla riflessione della luce polarizzata sul polo di una calamita ». — (Seconda Memoria). — *Mem. della R. Accad. di Bologna*. — serie 4.^a, t. II, 7 febbraio 1886.
- 54a. « Recherches experimentales et théoriques etc. ». — Deuxième Mémoire. — *Ann. de Chimie et Physique*, 6^e serie, t. IX, pag. 65.
55. « Sulla causa della polarizzazione rotatoria magnetica ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 4 luglio 1886.
56. « Sulla calibrazione elettrica di un filo ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 4 luglio 1886.

57. « Studi sulla polarizzazione rotatoria magnetica ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 11 novembre 1886.
58. « Ricerche sperimentali sulla riflessione della luce polarizzata sulla superficie equatoriale di una calamita ». — *Mem. della R. Accad. dei Lincèi*, serie 4.^a, t. III, 5 dicembre 1896.
- 58a. « Recherches expérimentales ecc. ». — *Ann. de Chimie et Physique*, 6^e série, t. X, février 1887.
59. « Sui fenomeni che si producono colla sovrapposizione di due reticoli e sopra alcune loro applicazioni. — *Atti del R. Istituto Veneto*, serie VI, t. V (1887).
60. « Sulla conducibilità termica del bismuto nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 12 giugno 1887.
- 60a. « De l'influence du champ magnétique sur la conductibilité calorifique du bismuth ». — *La Lumière Electrique*, 1887.
- 60b. « Sur la conductibilité calorifique du bismuth dans le champ magnétique ». — *Comp. Rend. de Paris*, 18 juillet 1887.
61. « Rotazione delle linee isotermitiche del bismuto nel campo magnetico. — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 3 luglio 1887.
62. « Sulla forza elettromotrice delle coppie a liquido poco conduttore. — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 29 gennaio 1888.
63. « Sulla conducibilità calorifica del bismuto posto in un campo magnetico. — *Mem. della R. Accad. dei Lincèi*, 4.^a serie, t. IV, 9 gennaio 1888.
64. « Di alcuni nuovi fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 4 marzo 1888.
65. « Di alcuni nuovi fenomeni ecc. ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 6 maggio 1888.

66. « Di alcuni ecc. ». — Nota III, *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 20 maggio 1888.
67. « Sur les phénomènes électriques produits par les rayons ultraviolets. — *Comp. Rend. de Paris*, 7 mai 1888.
68. « Sulla forza elettromotrice del selenio ». — Nel volume pubblicato dalla R. Università di Padova per l'Ottavo Centenario di quella di Bologna (1888).
- 68a. « Ueber die elektromotorische Kraft des Selens.... ».
69. « Di alcuni ecc. ». — Nota IV, *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 3 giugno 1888.
70. « Sur quelques nouveaux phénomènes électriques ecc. ». — *Comp. Rend. de Paris*, 1 octobre, 1888.
71. « Di alcuni ecc. ». — Nota V, *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 1 luglio 1888.
72. « Di alcuni ecc. ». — Nota VI, *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 5 agosto 1888.
73. « Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 11 novembre 1888.
74. « Nuove figure elettriche ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 2 dicembre 1888.
75. « Sullé coppie a selenio ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 2 dicembre 1888.
76. « Alcune esperienze colla scarica di una grande batteria ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 16 dicembre 1888.
77. « Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni. — (Seconda Memoria, Atti del R. Istituto Veneto, 1888), *Il N. Cimento*, 3.^a serie, t. XXV, pag. 193.
- 77a. « Ueber die durch Strahlung hervorgerufenen elektrischen Erscheinungen ». — *Repertorium der Physik*. Wien 1888.
78. « Sulle cariche elettriche generate dalle radiazioni ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 3 marzo 1889.
79. « Sulla misura delle forze elettromotrici di contatto in diversi gas per mezzo delle radiazioni ultraviolette ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 16 giugno 1889.

80. « Sopra un apparecchio stereoscopico. — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 16 giugno 1889.
81. « Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni ». — (Terza Memoria). *Atti del R. Istituto Veneto*, serie VI, t. VII (1889).
82. « Sulle forze elementari elettromagnetiche ed elettrodinamiche ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 10 novembre 1889.
83. « Sull'elettricità di contatto in diversi gas ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 17 novembre 1889.
84. « Sulla convezione elettrica ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 2 marzo 1890.
85. « Sulle traiettorie percorse nella convezione fotoelettrica, e su alcuni fenomeni elettrici nell'aria rarefatta ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 3 agosto 1888, v. VI, 2.º sem., p. 81 (1890).
86. « Erwiderung anf die Bemerkungen des Herrn Halwachs ». — *Annalen d. Physik und Chemie*, t. XLI, s. 505, 1890.
87. « Sulla convezione fotoelettrica e su altri fenomeni elettrici nell'aria rarefatta ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 27 aprile 1890.
- 87a. « Sur la convection photoélectrique etc..... ».
88. « Sulle forze elementari elettromagnetiche ed elettrodinamiche ». — (Seconda Memoria). *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 9 novembre 1890.
89. « Sopra una specie di scintille elettriche nelle quali la luminosità si propaga gradatamente da un elettrodo all'altro ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 25 gennaio 1891.
90. « Sulle scintille costituite da masse luminose in moto ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 19 aprile 1891.
91. « Ricerche sperimentali intorno a certe scintille elettriche costituite da masse luminose in moto ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 26 aprile 1891.

- 91a. « Recherches expérimentales sur certaines étincelles etc. ». — *La Lumière Electrique*, 12 décembre 1891.
92. « Sulla teoria dello stereoscopio. — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 14 febbraio 1892.
93. « Di un nuovo apparecchio per l'interferenza delle onde sonore ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 14 febbraio 1892.
94. « Sulla misura delle differenze di fase prodotte dalle lamine cristalline e sulla costruzione delle lamine quarto d'onda e mezz'onda. — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 3 aprile 1892.
95. « Appendice alle ricerche sperimentali intorno a certe scintille costituite da masse luminose in moto ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 10 aprile 1892.
96. « Sulla distribuzione del potenziale presso il catodo ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 21 agosto 1892.
97. « Sulla distribuzione del potenziale nell'aria rarefatta percorsa dalla corrente elettrica ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 13 novembre 1892.
98. « Su alcune disposizioni sperimentali per la dimostrazione e lo studio delle ondulazioni elettriche di Hertz ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 30 aprile 1893.
99. « Alcune esperienze con oscillazioni di Hertz di piccola lunghezza d'onda ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 3 giugno 1893.
- 99a. « Les experiences de Hertz avec des oscillations de petites longueurs d'onda ». — *La Lumière Eletricité*, n. 26, A. 1893.
100. « Quale sia il piano di polarizzazione delle oscillazioni hertziane ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 6 agosto 1893.
- 100a « Sur le plan de polarisation des oscillations hertziennes ». — *La Lumière Eletricité*, n. 35. A. 1893.
101. « Sul piano di polarizzazione delle oscillazioni hertziane ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, settembre 1893.

- 101a. « Sur le plan de polarisation des oscillations hertziennes ». — *La Lumière Eletrique*, n. 41. A. 1893.
102. « Apparecchio da lezione per la composizione delle oscillazioni pendolari ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 18 febbraio 1894.
103. « Di un nuovo elettrometro idiostatico assai sensibile ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 28 gennaio 1894.
104. « Sulla preparazione di lamine sottili di vetro presentanti gli anelli d'interferenza ». — *Rend. della R. Accademia di Bologna*, 22 aprile 1894.
105. « Sulle oscillazioni elettriche a piccola lunghezza d'onda e sulla loro riflessione metallica ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 6 maggio 1894.
106. « « Sulle oscillazioni elettriche a piccola lunghezza d'onda, e sul loro impiego nella produzione di fenomeni analoghi ai principali fenomeni dell'Ottica ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 27 maggio 1894.
107. « Sulle onde elettromagnetiche generate da due piccole oscillazioni elettriche ortogonali, oppure per mezzo di una rotazione uniforme ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 11 novembre 1894.
108. « Sul modo nel quale si producono le lunghe scintille alla superficie dell'acqua ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 3 marzo 1895.
109. « Nuove esperienze sulle scintille costituite da masse luminose in moto ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 19 maggio 1895.
110. « Sull'allungamento di una scintilla prodotto dal moto degli elettrodi ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 26 maggio 1895.
111. « Sulla doppia rifrazione dei raggi elettrici ». — *Il Nuovo Cimento*, serie 4.^a, t. I, aprile 1895.
112. « Ueber die Doppelbrechung der elektrischen Strahlen ». — *Annalen de Physik*, v. 55, s. 389, 1895.

113. « Intorno a recenti esperienze sulle oscillazioni elettriche ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 12 maggio 1895.
114. « Sulla doppia rifrazione delle radiazioni elettriche particolarmente nel gesso ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 17 novembre 1895.
115. « Sulla produzione di fenomeni elettrici per mezzo dei raggi di Roentgen ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 9 febbraio 1896.
116. « Phénomènes électriques produits par les rayons de Roentgen ». — *Comp. Rend. di Parigi*, 17 febbraio 1895.
117. « Sulla dispersione della elettricità prodotta dai raggi di Roentgen ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 1 marzo 1896.
118. « Sulla produzione delle ombre di Roentgen per mezzo della dispersione elettrica provocata dai raggi X ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 1 marzo 1896.
119. « Effects électriques des rayons de Roentgen ». — *Comp. Rend. de Paris*, 9 mars 1896.
120. « Sulle direzioni di estinzione relative alle onde elettriche nei cristalli di gesso ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 1 marzo 1896.
121. « Sull'influenza della natura e della pressione del gas ambiente nella dispersione prodotta dai raggi di Roentgen ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 8 marzo 1896.
122. « Observations sur une communication de MM. Bénoist et Hurmuzescu ». — *Comp. Rend. de Paris*, 20 avril 1896.
123. « Nuovi studi sulla dispersione prodotta dai raggi del Roentgen ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 3 maggio 1896.
124. « Observations à la réponse de MM. Bénoist et Hurmuzescu ». — 18 mai 1896.
125. « Sul trasporto della elettricità secondo le linee di forza prodotto dai raggi di Roentgen ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 21 giugno 1896.

126. « Osservazioni ad una comunicazione del prof. Villari ». *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 21 giugno 1896.
127. « Sui tubi produttori dei raggi X ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 19 luglio 1896.
128. « Sur la convection suivant les lignes de force produite par les rayons de Roentgen ». — *Comp. Rend. de Paris*, 24 ottobre 1896.
129. « Sulla propagazione dell'elettricità nei gas attraversati dai raggi di Roentgen ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 31 maggio 1896.
130. « Sull'elissoide di polarizzazione relativo alle onde elettromagnetiche nella selenite, e sulla polarizzazione ellittica di queste onde ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 21 marzo 1897.
131. « Sull'assorbimento delle onde elettromagnetiche ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 21 marzo 1896.
132. « Sulle onde secondarie dei dielettrici ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 14 marzo 1897.
133. « Sugli indici principali di rifrazione del gesso per le onde elettriche ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 16 maggio 1897.
134. « Descrizione di una disposizione sperimentale assai semplice per la misura di spostamenti rettilinei piccolissimi ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 30 maggio 1897.
135. « Sull'orientazione di un disco di selenite in un campo elettrico uniforme ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 30 maggio 1897.
136. « Sulla non penetrazione delle onde elettriche nello spazio racchiuso da una lamina metallica ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincei*, 1 agosto 1897.
137. « L' Ottica delle Oscillazioni Elettriche ». — Bologna, Zanichelli, 1897.
- 137a. « L'Optique des Oscillations Electriques ». — Paris.
- 137b. « Die Optik der elektrischen Schwinkungen ». — *Reisland edit.* Lipsia 1898.

138. « Nuovo indicatore di onde elettriche ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 7 novembre 1897.
139. « Descrizione di un nuovo apparecchio per la composizione delle oscillazioni di due pendoli ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 17 aprile 1898.
140. « Sull'interpretazione cinematografica del fenomeno di Zeeman ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 11 giugno 1898.
141. « Sulla sensibilità alle onde elettriche di certi tubi da scariche ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 29 maggio 1898.
142. — « Di una nuova forma data all'esperienza di Lecher ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 29 maggio 1898.
143. « Di un nuovo metodo sperimentale per lo studio dell'assorbimento della luce nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 18 dicembre 1898.
144. « Sur l'absorption de la lumière produite par un corps placé dans un champ magnétique ». — *Comp. Rend. de Paris*, 25 juillet 1898.
145. « Ueber die absorption des Lichtes durch einen in einen Magnetfeld befindlichen Koerper ». — Berlin, 1890.
146. « Sur l'absorption de la lumière produite par un corps placé dans un champ magnétique ». — II Note, *Comp. Rend. de Paris*, 2 janvier 1899.
147. « Ueber die absorption des Lichtes durch einen in einen Magnetfeld befindlichen Koerper ». — II Notiz, Berlin, 1899.
148. « Sopra un curioso fenomeno osservato facendo passare una corrente elettrica in un tubo a gas rarefatto ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 26 marzo 1899.
149. « Sul potere rotatorio magnetico del cloro ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 26 marzo 1899.
150. « Intorno alla questione della produzione di un campo magnetico per opera di un raggio luminoso polarizzato circolarmente ». — *Mem. della R. Accad. dei Lincèi*, 9 aprile 1899.

151. « Sull'assorbimento della luce per parte di un corpo posto nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 28 maggio 1899.
152. « Volta e la Pila ». — Discorso inaugurale del primo Congresso di Elettricità, Como, 1899.
153. « Sul fenomeno di Zeeman nel caso generale d'un raggio comunque inclinato sulla direzione del campo magnetico ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 17 dicembre 1899.
- 153a. « Sur le phénomène de Zeeman dans le cas général ecc. ». — *L'Eclairage Electrique*, 8 juin 1900.
- 153b. « Ueber das Phenomen in dem allgemeinen Falle, ecc. ». — *Physikalische Zeitschrift*, 28 april 1900.
154. « Sur le phénomène de Zeeman dans le cas général etc. ». — *Archives des Sciences phys. et nat.*, avril 1900.
155. « Les ondes hertziennes ». — Rapport présenté au Congrès international de Paris en 1900.
156. « Sur les ondes électromagnétiques d'un ion vibrant ». — *Volume Jubilaire de Lorentz*.
157. « Sui campi elettromagnetici e in particolare su quelli creati da cariche elettriche o da poli magnetici in movimento ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 24 febbraio 1901.
158. « Sulla questione del campo magnetico generato dalla convezione elettrica e su altre analoghe questioni ». — *Il N. Cimento*, serie 5.^a, t. II, pag. 233.
- 158a. « Ueber die Frage des durch die electrische Konvection erzeugten Magnetfeld ». — *Physikalische Zeitschr.*, 1902.
159. « Ancora sulla questione del campo magnetico generato dalla convezione elettrica ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 12 gennaio 1902.
- 159a. « Nochmals ueber die Frage des durch die elektrische Konvection erzeugten Magnetfeld ». — *Phys. Zeitschr.*, 3 Jahrgang n. 14.

160. « Sulla produzione di suoni per mezzo delle scariche nei tubi a gas rarefatto o nelle fiamme ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 31 maggio 1902.
161. « Sui fenomeni acustici dei condensatori ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 25 maggio 1902.
162. « Sulla ionizzazione dell'aria prodotta da una punta elettrizzata ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 11 gennaio 1903.
- 162a. « Ueber die Ionisirung der Luft durh eine elektrisirte Spitze ». — *Phys. Zeitschr*, 4^o Jahrgang, 641.
163. « Il moto dei ioni nelle scariche elettriche ». — *Attualità Scientifiche*, n. 1, Zanichelli ed. Bologna.
164. Sulle cariche elettriche generate dai raggi X sui metalli nel vuoto ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 24 maggio 1903.
165. « On the influence of. magnetic field on the thermal conductivity ». — *Phil. Mag.* december 1903.
166. « Sul moto dei ioni nel campo elettrico ». — *Boltzmann-Festschrift*, Leipzig 1904.
167. « La moderna Teoria dei fenomeni Fisici ». — *Attualità Scientifiche*, Zanichelli ed. Bologna (1904).
- 167a « Moderne Theory of physical fenomeno ». — *Mau-nillan edit.* New Jork 1904.
168. « Il Radio ». — *Attualità Scientifiche*, Zanichelli editore Bologna (1904).
169. « Sulla radioattività dei metalli usuali ». *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 28 febbraio 1904.
170. « Esperienze dimostrative sulla radioattività ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 29 maggio 1904.
171. « Di alcuni fenomeni osservati nell'aria ionizzata da corpi radioattivi ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 21 maggio 1915.
173. « Sulle cariche elettriche acquistate dai corpi colpiti dai raggi del radio ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 14 maggio 1905.

- 173a « Sulla elettrizzazione prodotta dai raggi del radio ». — *R. Accad. dei Lincei*. Vol. XIV. Serie 5.^a, 1.^o sem. fasc. 10, 21 maggio 1905.
174. « Sulla diminuzione di resistenza predotta nei cattivi conduttori dai raggi del radio ». — *Rend. della R. Accademia dei Lincei*, 20 agosto 1905.
- 174a. « L'augmentation de conductibilité des diélectriques sous l'action des rayons du radium ». — Congrès international de Radiologie ed Ionisation, Bruxelles, 1905.
- 174b. « Die Erhoehung der Leitfaehigkeit der dielektrika unter der Einwirkung von Radiumsthralen ». — *Phys, Zeitschr*, 6^o Jahrgang, n. 24.
- 174c. « Il' electrisation des corps exposés aux rayons du radium ». — *Congrès. internat. de Radiologie*. Liege, settembre 1905.
- 174d. « Die Moderne Theorie der Physikalischen Erscheinungen ». — *Barth. edit.* Lipsia 1905.
- 174e. « Die elektrisierung von Radiumstrahlen angesetzt Körpern ». — *Physik Zeitschr.* n. 23, A. 1905.
- 174f. « La théorie moderne des phenomènes physiques ». — *L'Eclairage Electrique edit.* Paris, 1906.
175. « Ueber der Erhoehung der Leitfaehigkeit fester Dielektrika unter die Eiwirkung von Radiumsthralen ». — *Phyh. Zeitschr.* 7 Jahrgang n. 7, 228.
176. « Sulla massa elettromagnetica dell'elettrone ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 11 febbraio 1906.
177. « Di alcune non recenti esperienze considerate dal punto di vista della teoria elettronica ». — *Mem. della Società dei XL*, serie 3.^a, t. XIV.
- 177a. « Sur quelques expériences déjà connues ecc. ». — *L'Eclairage Electrique*, XLVIII.
178. RIGHI e DESSAU: « La Telegrafia senza fili ». — Bologna Zanichelli editore 1905.
- 178a. « Die telegraphie ohne Draht ». — *Vieweg edit.* Braunschweig 1907.

179. « Su alcuni casi apparentemente paradossali di trasmissione dell'elettricità attraverso un gas ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 17 giugno 1906.
180. « Les transformations atomiques des corps radioactifs ». — *Archives des Sciences Physiques et Nat. de Genève*, mars 1907.
181. « Sulla deviazione elettrostatica dei raggi catodici nel tubo di Braun ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 14 aprile 1907.
- 181a. « Die bewegung der Jonen bei der elektrischen Entladung ». — *Barth. edit. Lipsia* 1907.
182. « Ueber die elektromagnetische Masse des Elektrons ». — *Phys. Zeitschr*, 8 Jahrgang n. 6, 161.
183. « Ueber die elektromagnetische Masse des Elektrons, Bemerkungen zu der Mitteilung des Herrn Pockels ». — *Phys. Zeitschr.* 8 Jahrgang. n. 12, 801.
184. « Sull'ipotesi della natura elettrica della materia ». — Lezione inaugurale 12 aprile 1907. Bologna Zanichelli editore.
185. « Le nuove vedute sulla struttura della materia ». — *Attualità Scientifiche*, n. 10, Zanichelli editore, Bologna (1907).
186. « Sulla deviazione dei ioni generanti le scintille dovuta ad un campo elettrostatico trasversale ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 26 maggio 1907.
187. « Sulla probabile esistenza di una nuova specie di raggi (raggi magnetici). — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 2 febbraio 1908.
- 187a. « Ueber die Struktur der Materie ». — *Barth. edit. Lipsia* 1908.
188. « Sue quelques phénomènes dûs aux recontres entre électrons, ions ecc. ». — *Bulletins de la Société Française de Physique*, I^e fascicule, 1908.
189. « Ricerche sperimentali sui raggi magnetici ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 17 maggio 1908.

190. « I raggi magnetici ». Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze. Firenze 1908.
191. « Sul moto di un elettrone intorno ad un ione nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 20 dicembre 1908.
192. « Ricerche sperimentali sui raggi magnetici ». — (Seconda Memoria). *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 17 gennaio 1909.
193. « La materia radiante ed i raggi magnetici ». — *Attualità Scientifiche*, n. 12, Zanichelli editore, Bologna.
- 193a « Sur la matière radiante et les rayons magnétiques ». — *Arch. des Sciences Phys et nat.* Avril 1909, pag. 333.
- 193b « Telegrafia sin hilos ». — *Rojas edit.* Madrid 1909.
- 193c « Strahlende Materie und Magnetische Strahlen ». — *Barth. edit.* Lipsia 1909.
194. « Sui valori limiti del campo fra i quali si producono i raggi magnetici ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 5 giugno 1909.
195. « Sull'anodo virtuale di un tubo da scariche nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 20 giugno 1909.
196. « Sul moto di un elettrone intorno ad un ione nel campo magnetico ». — (Seconda Nota). *Rend. della R. Accademia dei Lincèi*, 1909.
197. « Appendice alla precedente Nota ». — *Idem.*
198. « Sulla traiettoria percorsa da un elettrone intorno ad un ione nel campo magnetico ». — *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 14 novembre 1909.
199. « Sulla traiettoria d'un elettrone intorno ad un ione nel campo magnetico ». — Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze, terza riunione.
200. « Sur les phénomènes acoustiques des condensateurs ». — *Le Radium*, Janvier 1910.

201. « Sulla ionizzazione dell'aria in un tubo da scarica posto nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 16 gennaio 1910.
202. « I raggi magnetici. Riassunto di recenti pubblicazioni ». — *Il N. Cimento*, 5.^a serie, t. XIX, pag. 20.
- 202a. « Die magnetische Strahlen ». — *Phys. Zeitschr*, 11 Jahrgang 1910.
- 202b. « Recherches sur les rayons magnétiques ». — *Le Radium*, mars 1910.
203. « Sul potenziale necessario a provocare la scarica in un gas posto nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accademia di Bologna*, 29 marzo 1910.
- 203a. Potentiel de décharge dans le champ magnétique ». — *Le Radium*, octobre 1910.
204. « Comete ed Elettroni ». — *Attualità Scientifiche*, n. 13. Zanichelli editore, Bologna, 1910.
- 204a. « Kometen und Elektronen ». — Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig, 1911.
205. « Sul fenomeno dei battimenti mediante vibrazioni luminose ». — *Il N. Cimento*, ottobre 1910.
- 205a. « Ueber das Phenomen des Schwebungen hervorgebracht durch Leichschwingungen ». — *Phys. Zeitschr.* 11 Jarhgang s. 1020.
206. « Sur l'action ionisante probable du champ magnetique ». — *Comp. Rend. de Paris*, 30 janvier 1911.
207. « Nuove ricerche sul potenziale di scarica nel campo magnetico ». — *Memoria della R. Accademia di Bologna*, 26 marzo 1911.
- 207a. « Neue Untersuchunge ueber das Entladungspotential in Magnetfelde ». — *Phys. Zeitschr.* 12 Jahrgang 1911, s. 424.
- 207b. « Nouvelles recherches sur le potentiel de décharge dans le champ magnétique. — *Le Radium*, mars 1911.
208. « Dell'influenza del campo magnetico sulla intensità di corrente nell'aria rarefatta ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 20 agosto 1911.

- 208a. « Vom Einflus des Magnetfeldes auf die Stromstarke in verdunter Luft. — *Phys. Zeitschr.* 12 Jahrgang 1911 s. 833.
- 208b. « De l'influence du champ magnétique sur l'intensité du courant dans l'air raréfié ». — *Le Radium*, novembre 1911.
209. « Due nuove esperienze sui raggi magnetici ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, 20 agosto 1911.
- 209a. — « Deux expériences nouvelles sur les rayons magnétiques ». — *Le Radium*, septembre 1911.
210. « La Nuova Fisica ». — *Attualità Scientifiche*, n. 16, Zanichelli editore.
211. « Di un nuovo fenomeno presentato dalle scintille elettriche nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accademia di Bologna*, 1911.
212. « Etincelles dans l'air raréfié sous l'influence du champ magnétique ». — *Comp. Rend. de Paris*, 15 Janvier 1912.
213. « Sulla scarica a scintilla in un gas rarefatto e la sua trasformazione in fascio di raggi magnetici ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 22 novembre 1911.
- 213a. « Sur la décharge à étincelle dan un gaz raréfié, et sa transformation etc. ». — *La Radium*, Janvier 1912.
- 213b. « Ueber die funkenentladung, ecc. ». — *Phys. Zeitschr.* 13 Jahrgang 1912, s. 65.
214. « Rotations produites par le champ magnétique dans l'air ionisé à basse pression ». — *Comp. Rend. de Paris*, 19 février 1912.
215. « L'emissione di ioni ed elettroni da una scintilla nell'aria rarefatta e le rotazioni ionomagnetiche ». — *Memoria della R. Accad. di Bologna*, 28 gennaio 1912.
- 215a. « Die Emission von Ionen und Elektronen seitens einen Funken und die ionomagnetischen Drehungen ». — *Phys. Zeitschr.* 13 Jahrgang s. 755, 873.
- 215b. « L'emission de ions et d'électrons par une étincelle ecc. ». — *Le Radium*, Juillet 1912.
216. « Sul trasporto di ioni positivi effettuato dai raggi magnetici ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincèi*, v. XXI, 2.º sem., p. 121.

217. « Sui raggi magnetici in diversi gas ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, settembre 1912.
218. « On magnetic rays in different gases ». — *Phil. Mag.*, november 1912.
219. « Nuove esperienze di rotazioni ionomagnetiche ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 1 dicembre 1912.
220. « Une expérience nouvelle sur les rotation ionomagnétique ». — *Comp. Rend. de Paris*, 9 déc. 1912.
221. « J. J. Thomson ». — *Nature*, march 1913.
222. « Sulla separazione magnetica dei ioni emessi dalle scintille in un gas rarefatto ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 9 marzo 1915.
- 222a. « Sur la séparation magnétique des ions ecc. ». — *Le Radium*, avil 1913.
- 222b. « Ueber die magnetische Trennung, ecc. ». — *Phys. Zeitschr.* 14 Jahrgang 1913, s. 540.
223. « Nuove ricerche sulle rotazioni ionomagnetiche ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 16 febbraio 1913.
- 223a. « Nouvelles recherches sur les rotations ionomagnétiques ». — *Le Radium*, juin 1913.
- 223b. « Neue Untersuchungen ueber die ionomagnetischen Drehungen ». — *Phys. Zeitschr.* 14 Jahrgang s. 688.
224. « Nuove esperienze sull'anodo virtuale nei tubi a raggi magnetici ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, settembre 1913.
- 224a. « New experiments on virtual anode ecc. ». — *Phil. Mag.*, novembre 1918.
- 224b. « Expériences nouvelles sur l'anode virtuelle ecc. ». — *Le Radium*, octobre 1913.
225. « La natura dei raggi X ». — « *Scientia* » *Rivista di scienza*, v. XV, 1914.
- 225a. « La nature des rayons X ». — *Idem*.
226. « Ricerche sperimentali sui raggi magnetici in diversi gas e miscugli gassosi ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 16 novembre 1913.

- 226a. « Experimentaluntersuchungen ueber die magnetischen Strahlen ». — *Phys. Zeitschr.* 15 Jahrgang, 1914, n. 328, 559.
- 226b. « Recherches expérimentales sur les rayons magnétiques ecc. ». — *Annales de Physique*, t. I, pag. 489, 1914.
227. « Sulla teoria delle rotazioni ionomagnetiche ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 21 giugno 1914.
- 227a. « Ueber die Theorie der ionomagnetischen Drehungen ». — *Phys. Zeitschr.* 15 Jahrgang 1914, s. 833.
- 227b. « Sur la theorie des rotations ionomagnétiques ». — *Ann. de Phys.*, t. II, pag. 5.
228. « Le rotazioni ionomagnetiche ». — *Attualità Scientifiche*, n. 22, Zanichelli editore.
229. « Sulla distribuzione della corrente in un elettrolita posto nel campo magnetico ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincei*, 6 giugno 1915.
230. « Sul moto dei ioni (ed elettroni) in un campo magnetico ed elettrico e su alcuni fenomeni che ne dipendono ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 18 aprile 1915.
- 230a. « Sur le mouvement des ions (et électrons) dans un champ etc. ». — *Ann. de Phys.*, novembre 1915.
231. « Expériences relatives à l'influence du champ magnétique sur la charge d'un conducteur dans l'air raréfié ». — *Comp. Rend. de Paris*, 1 mai 1916.
232. « Sulla fase iniziale della scarica in campo magnetico ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 12 marzo 1916.
- 232a. « Sur la phase initiale de la decharge ecc. ». — *Ann. de Phys.*, janvier 1917.
233. « Sulla ionizzazione prodotta dai raggi X nel campo magnetico ». — *Mem. della R. Accad. di Bologna*, 4 marzo 1917.
- 233a. « Sur la ionisation produite par les sayons X en champ magnétique ». — *Ann. de Phys.*, t. VII, pag. 159.

234. « Sulla ionizzazione prodotta dai raggi X nel campo magnetico ». — (Seconda Memoria). *Mem. della R. Accademia di Bologna*, 25 novembre 1917.
- 234a. « Sur la ionisation produite par les rayons X en champ magnétique ». 2.^{nne} Mémoire. *Ann. de Phys.*, mai 1918.
235. « I fenomeni elettro-atomici sotto l'azione del magnetismo ». — Bologna, Nicola Zanichelli, editore 1918.
236. « L'esperienza di Michelson e la sua interpretazione ». — *Memorie della R. Accad. di Bologna*, 12 gennaio 1919; oppure *Il Nuovo Cimento*, novembre 1918. È riassunta in *Radium*, novembre 1919.
- 236a. « L'expérience de Michelson et son interprétation ». — *Comp. Rend. de Paris*, 28 avril 1919.
237. « A proposito della teoria della magnetoionizzazione ». — *Rend. della R. Accad. dei Lincéi*, vol. XVIII, serie V, 1 giugno 1919.
238. « L'esperienza di Michelson e la sua interpretazione ». II.^a memoria — *Memorie della R. Accad. di Bologna*, 12 gennaio 1919; oppure: *Il Nuovo Cimento*, settembre 1918. È riassunta in *Radium*, novembre 1919.
- 238a. « L'expérience de Michelson et son interprétation ». — *Radium*, nov. décembre 1919.
239. « Sulla teoria elettronica delle forze elettromagnetiche ». — *Il Nuovo Cimento*, serie VI, vol. XVIII, p. 285, 1919. *Rend. della R. Accad. dei Lincéi*, 30 novembre 1919.
240. « Sulle basi sperimentali della teoria della Relatività ». — *Memorie della R. Accad. di Bologna*, 11 gennaio 1920; oppure: *Il Nuovo Cimento*, aprile 1920.

Postume

241. « Sulla teoria della Relatività e sopra un progetto di esperienza decisiva per la necessità di ammetterla ». — *Memorie della R. Accad. di Bologna*, 18 aprile 1920.
- 241a. « Sur les Relativité et sur un projet d'expérience décisive ». — *Comp. Rend. de Paris*, 28 juin 1920.

242. « Sopra una recente nota relativa all'esperienza di Michelson ». — *Rend. della R. Accad. di Bologna*, 30 maggio 1920.

242a. « Observation à une note récente sur l'expérience de Michelson ». *Comp. Rend. de Paris*, 5 juillet 1920.
