

ANTONIO GARBASSO

LA VITA, IL PENSIERO E L'OPERA SCIENTIFICA

RITA BRUNETTI

Nacque Antonio Garbasso in Vercelli il 16 aprile 1871.

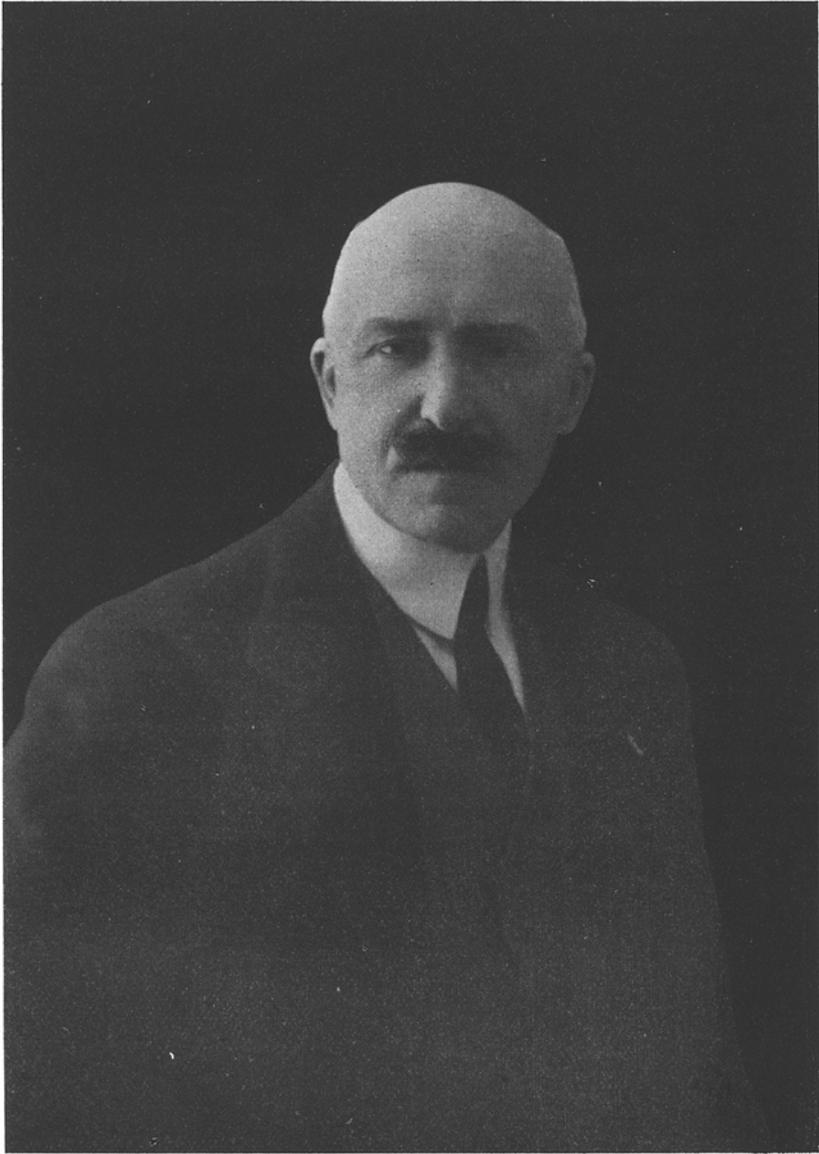
Come fisico si formò a Torino alla severa scuola del Naccari e conseguì la laurea nel 1892. Completò la sua preparazione scientifica in Germania: prima a Bonn presso Enrico Rodolfo Hertz, colui che concluse il « gigantesco sillogismo » le cui premesse erano state poste dal Faraday e dal Maxwell; in seguito seguendo l'insegnamento di Ermanno von Helmholtz a Berlino, durante l'ultimo anno di vita del grande Maestro.

Di ritorno in Italia ottenne a Torino le libere docenze in Fisica sperimentale e in Fisica matematica. Quest'ultima esercitò con un incarico ufficiale dal 1895 al 1899 a Pisa, che lo spirito irrequieto di Angelo Battelli rendeva già da allora un vivace centro di studi. Poi lo stesso insegnamento tenne a Torino, finchè nel 1903, presso la R. Università di Genova, iniziò la sua carriera accademica.

In due concorsi Egli era riuscito eleggibile in quegli anni: uno di Fisica matematica per Catania, ma che gli dava la possibilità di andare a Torino, l'altro di Fisica sperimentale per Genova. Dichiarò Egli stesso:

« ..optai per la cattedra di Fisica sperimentale. Io sono convinto infatti che le ricerche limitate alla nuda esperienza, al calcolo puro, devono riuscire in gran parte sterili e vane; la distinzione fra fisica sperimentale e fisica matematica si può giustificare senza dubbio con necessità didattiche, ma non corrisponde a nessun criterio razionale. Dato questo, poichè l'insegnante della disciplina sperimentale, nel nostro ordinamento e nelle consuetudini, è il solo padrone del laboratorio, sarà anche il solo che sia in grado di lavorare allo sviluppo della fisica con qualche speranza di buoni risultati; il possesso delle cognizioni analitiche necessarie non dipendendo d'altra parte che dai suoi studi e dalle sue attitudini ».

Queste affermazioni sono del tempo in cui in Italia la Fisica matematica si riserbava il compito, oggi affidato alla Fisica teorica, di seguire ed assistere da vicino l'indagine sperimentale.



ANTONIO GARBASSO
1871-1933

Il decennio fra il 1903 e il 1913, anno in cui il Garbasso, venne trasferito a Firenze, alla cattedra lasciata scoperta da Antonio Roiti, vide in Lui il ricercatore curioso ed entusiasta, vide l'elegante ed arguto espositore, che si era già rivelato durante gli anni dell'insegnamento preufficiale. « Io ero nato per fare il maestro di scuola » soleva Egli rispondere scherzando a chi si compiaceva con Lui dopo una delle conferenze o uno dei discorsi, la cui eco è troppo recente per non essere ricordata da molti.

Ma quel decennio vide anche affermarsi in Lui la rara dote del vero Direttore di Istituto scientifico, che è un animatore insistente e disinteressato del lavoro dei giovani. Questa dote preziosa, perfezionata dal sempre crescente prestigio personale conseguito nella vita privata e pubblica, ha reso la sua azione utile alla Scienza ⁽¹⁾ anche quando questa non era più l'unica sua occupazione; ha reso la fine immatura, avvenuta il 14 marzo 1933, nella sua dolce villa coronata di cipressi, della via S. Leonardo in Firenze, una grande jattura per le sorti in Italia della disciplina da Lui amata sopra ogni cosa, da Lui compresa così come a pochi è dato comprenderla nella sua compagine storico-filosofica, nell'armonia dei suoi particolari sviluppi.

Nella sede fiorentina Egli portò l'ultimo contributo diretto alla Fisica col collaborare alle ricerche relative all'ultimo fenomeno scoperto prima della guerra, il cosiddetto effetto Stark-Lo Surdo, e col dotare Firenze del più originale per la struttura, del più pittoresco e significativo per l'ubicazione, Laboratorio di ricerca italiano.

Disse di questo Laboratorio, che era l'oasi di pace ch'Egli ricercava durante le cure certo non sempre tranquille della vita pubblica:

« Così abbiamo levato sopra il colle toscano una casa toscana, e il sapiente maestro fiorentino le ha dato un loggiato ed un chiostro: un chiostro quadro e spazioso e un loggiato con archi a pieno sesto, come quello della Badia, dove Lorenzo il Magnifico cercava, fra le armonie quattrocentesche, il demiurgo di Platone Atensiese.

Abbiamo levato sopra il colle toscano una casa toscana, e l'abbiamo veduta crescere come crescevano le fortune della patria. Uscivano appena le muraglie di terra quando si cominciava a salire, da Monfalcone, da Seltz, dal Sei Busi, sopra il Carso roccioso, e fu co-

(1) Fu Presidente della Società Italiana di Fisica dal 1912 al 1914 e dal 1921 al 1925; membro della 7^a Conferenza generale dei Pesi e Misure nel 1927. Era presidente del Comitato di Astronomia, Matematica e Fisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, presidente del Consiglio di Amministrazione dell'Istituto Nazionale di Ottica, rappresentante del Ministero della Educazione Nazionale nel Comitato tecnico per l'Industria Ottica presso il Ministero delle Corporazioni.

però l'edificio pochi giorni prima che il leone di S. Marco fermasse il suo volo sul castello di Gorizia.

Quando tutto sarà finito, quando avremo imposto con la forza, poichè l'hanno voluto, il regno della pace, della giustizia e della libertà, vogliamo piantare nell'uliveto sul colle alcune quercie giovanette; diranno gli ulivi alle quercie che l'opera di pace è nata fra i tumulti della guerra, diranno le quercie agli ulivi che la guerra ha salvato le opere di pace. Sarà un ammonimento per noi e per i nostri figliuoli. Beati, che potranno vivere sicuri, là sul colle sacro, dove Michelangelo difese invano contro il Cesare tedesco la libertà di Firenze; beati, che potranno vivere operosi, là sul colle sacro, fra la costa di San Giorgio dove Galileo meditò, e la villa delle Selve, dove il Maestro compose le lettere sulle macchie solari, e la villa del Giojello, dove dettò il dialogo delle due scienze nuove, e il convento di San Matteo, dove Suor Celeste consacrò a Dio e al Padre la sua operosa giovinezza ».

Per la comprensione di alcuni accenni basta appena avvertire che queste parole furono pronunciate nel 1916, quando certe dolorose vicende belliche, che è inutile ricordare, non erano ancora avvenute. A quella stessa data Egli augurava pure:

« ... un altro laboratorio vorrei vedere in Arcetri, mentre la guerra gigantesca annuncia un gigantesco rivolgimento economico. Fra le industrie che erano nate a Firenze e che emigrarono altrove, due sembrano rinascere già ora e hanno senza dubbio un avvenire sicuro: l'industria della meccanica di precisione e quella degli strumenti ottici. Sarebbe dunque opportuno che si creasse subito un Istituto di ricerche, dove uomini forniti di larga preparazione scientifica, e consapevoli ad un tempo dei bisogni della pratica, potessero aiutare dei loro consigli i capi delle officine.

Si riprenderebbe così la tradizione di quel maestro Marcantonio Mazzoleni, che in casa di Galileo e sotto la sua guida lavorava gli occhiali e i compassi di proporzione ».

Il 24 novembre 1918 Egli poteva dalla Sala di Luca Giordano, nel palazzo Mediceo Riccardi in Firenze, annunziare che il suo voto era compiuto ed inaugurare il « Laboratorio di Ottica pratica e Meccanica di precisione ». Questo, in Arcetri occupa l'ampliato padiglione già destinato alla Fisica terrestre; e, divenuto ente morale, sotto gli auspici del Consiglio Nazionale delle Ricerche porta ora il nome più specifico di « Istituto Nazionale di Ottica ».

Così quell'amore alla storia della Fisica, per cui tante cure Egli prodigò alla direzione del Museo degli Strumenti Antichi, quando

esso era nella sua vecchia sede di via Romana, per cui, Sindaco di Firenze, organizzò la prima mostra in Italia di Storia della scienza, si traduceva in opere concrete di pubblica e pratica utilità.

Partì per la guerra nel maggio 1915, volontario e vestendo la divisa di semplice sottotenente del Genio. Ritornò col grado di maggiore ⁽¹⁾ per aver una volta di più « avvicinato la scienza alla vita », aver cioè creato il primo servizio « fonotelemetrico » dell'esercito italiano, fondato sopra un metodo acustico per identificare la postazione di batterie nascoste e lontane. E la testimonianza dei molti giovani ufficiali suoi collaboratori disse che in Lui il soldato non dimostrò animo inferiore a quello dello scienziato.

Il coraggio e la rigidezza del natio Piemonte, insieme con la genialità critica ed equilibrata del paese d'adozione, la Toscana, Egli portò nella risoluzione dei problemi impostigli dalle cariche di Sindaco fascista, primo Podestà di Firenze, e, in seguito, Presidente di una complessa e benefica istituzione del Regime, quale è la Cassa Nazionale delle Assicurazioni Sociali.

Non è qui il luogo per commentare questa forma della sua attività ⁽²⁾.

Piuttosto è qui da ricordare come, Presidente del Comitato per la Fisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Egli abbia avviato un'impresa libraria, per la quale fra non molto l'Italia avrà il suo grande trattato di Fisica, ed abbia favorito quei pellegrinaggi di giovani verso i più notevoli centri di studio d'Europa, per cui la Fisica italiana del dopo guerra va ristabilendo il contatto con le grandi correnti attuali della ricerca sperimentale e teorica.

Ebbe Egli la soddisfazione del riconoscimento della sua opera scientifica con distinzioni accademiche ⁽³⁾, fra cui il premio reale dell'Accademia dei Lincei conferito l'anno 1920, e quello per la sua

(1) Attualmente era tenente colonnello della riserva nell'Arma del Genio.

(2) Vedere l'articolo di Alessandro Martelli in « Illustrazione Toscana e dell'Etruria », S. II, A. XI, Maggio 1933, p. 4.

(3) Nel 1905 ebbe un premio dalla R. Accademia di Madrid per l'opera « De Undulationibus electricis Libri duo ». Attualmente Egli era Socio Nazionale della R. Accademia dei Lincei e presidente della Classe di Scienze, uno dei XL della Società Italiana delle Scienze, Socio corrispondente della R. Accademia delle Scienze di Torino, del R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, della R. Accademia dei Georgofili, socio onorario della Sociedad Española de Física y Química, della R. Accademia delle Belle Arti in Firenze, della Società Colombaria di Firenze, della Società Astronomica Italiana. Fu pure membro della Accademia della Crusca.

opera d'uomo in elevate insegne cavalleresche ⁽¹⁾, e con la nomina a senatore avvenuta nel 1924.

Ma nessun premio, nessuna distinzione Egli potè meglio desiderare di quella che conseguì dopo il triste trapasso. Egli ha portato la sua umile camicia nera di gregario convinto e fedele fra gli umili sai francescani. Egli riposa lontano dal discorde rumore degli uomini, che, pur sorridendone, amava; sotto il mistico sole della Verna, sacra al Santo il quale cantò tutte le creature di Dio.

Giusta sanzione è questa del limpido stile e della semplicità di una vita, pur così aliena dalla inerte contemplazione.

* * *

Grande, in chi ha vissuto presso di Lui tanti anni, è il desiderio di cancellare dalla memoria il pallore della figura distesa nel sonno mortale, che la faceva rassomigliare a un altorilievo tombale di Donatello. Grande è il desiderio di ridestare solo il ricordo della persona eretta, alta, elegante e riudire la calda voce, che esprimeva, nella privata conversazione come nel pubblico discorso, la signorilità di un sentire, la sicurezza di un pensiero, che non possono trovare paragone.

Ed è sfogliando i tanti suoi scritti che questa figura torna ad animarsi, che la nota voce torna a risuonare. È con le sue stesse parole che si può descrivere uno spirito, che si teme di profanare sfiorandolo con una analisi diretta e personale per quanto reverente.

« Un tratto caratteristico degli italiani nel tempo felice, fu sempre quello di essere uomini completi; se erano sapienti, di essere, prima che sapienti, uomini. Vivevano dunque, se pur sapienti, la vita della nazione e sulla nazione esercitavano un'influenza benefica ».

Antonio Garbasso ha sacrificato parte della sua vita di studio, in dedizione piena e disinteressata alla pubblica cosa, che dopo la guerra richiedeva animi risoluti e di pura fede, perchè era italiano perfetto e cioè uomo completo.

•E la prassi della sua vita è in coerente unità con l'impostazione del suo pensiero scientifico, impostazione ben definita e chiara alla sua coscienza.

« Per noi Italiani, che abbiamo creato nel Rinascimento la civiltà

(1) Commendatore dell'Ordine dei SS. Maurizio e Lazzaro, Cavaliere di Gran Croce dell'Ordine della Corona d'Italia, Grand'Ufficiale dell'Ordine di Carlo III di Spagna, Commendatore della Legion d'Onore di Francia.

attuale, l'arte e la storia e la scienza e la filosofia sono una cosa sola e una cosa armonica e una cosa nostra ».

Quale?

« Davanti al problema dell'Universo le attitudini che il pensiero umano può assumere si riducono in sostanza a due: o si ammette insieme a quella del soggetto la realtà del mondo esterno, o si afferma che lo spirito costruisce la natura. Si è realisti nel primo caso, e nel secondo idealisti ».

« Il fisico matematico, quali si siano le sue tendenze filosofiche particolari, o magari la convinzione o il proposito di non essere filosofo, appartiene però, a ragion veduta, ad una delle grandi famiglie nelle quali si suddivide il popolo degli uomini che non furon nati a vivere come bruti, ma a cercare virtude e conoscenza.

Chi assume di chiudere la legge di un fenomeno naturale in una formula matematica, cioè quantitativa, assume infatti, implicitamente, se anche non se ne renda conto, che la formulazione abbia valore per tutti e per tutti abbia il medesimo valore. Implicitamente il fisico matematico nega la costruzione individuale, o in altri termini è realista ».

Per questo suo atteggiamento di fronte alla scienza sente Egli il valore estetico della scienza.

« ... il contrasto fra ciò che è bello e ciò che è vero, è di origine dottrinale, e non deriva dalla realtà delle cose.

Che l'attività scientifica e l'estetica sieno essenzialmente distinte è appena un pregiudizio di pochi pensatori unilaterali il quale non ha radici, da quella in fuori, profondissima senza dubbio, della loro personale ignoranza specifica.

Gli scopi invece delle arti figurative e della scienza sono identici come sono identici i mezzi. Perchè artisti e scienziati cercano di intendere l'universo esteriore e per intenderlo e per farlo intendere procurano di darne una rappresentazione.

Che questa poi si concreti in un quadro o in un modello meccanico, o in un'equazione differenziale, tocca la forma e non altera la natura logica del procedimento ».

Per questo atteggiamento realistico Egli sente pure il valore morale ed educativo della scienza.

« La storia delle dottrine filosofiche e delle forme letterarie affonda le radici in un passato in troppo gran parte superato, per maturare davvero i germi dell'avvenire.

Ben altra sarebbe l'efficacia delle matematiche e meglio ancora delle scienze naturali. Perchè queste richiamano l'attenzione dall'io

al non io e costituiscono ad un tempo una scuola di logica e una disciplina della vita. Nessun insegnamento può eguagliare per il significato teorico e pratico quello che persuade agli uomini l'esistenza di una realtà infinita, che è fuori di noi e sopra di noi »

E in un articolo dedicato ai programmi delle scuole medie

« Un ministro della Pubblica Istruzione rese facoltativo, or sono alcuni anni, l'insegnamento delle matematiche nel liceo, e alle matematiche sostituì un corso di lezioni sulla cultura ellenica; gli era sfuggito senza dubbio che Euclide e Tolomeo sono classici greci quanto Tucidide e Aristofane (per citare due nomi a caso), e che anzi essi hanno avuto sulla civiltà contemporanea una più grande influenza che non abbiano avuto Tucidide e Aristofane.

D'altra parte nella civiltà contemporanea sono fusi con gli elementi greci e latini anche quelli che furono aggiunti dal Rinascimento, principalissimo il metodo delle scienze sperimentali. E le scienze sperimentali, come scuola di una logica più complessa della aristotelica, sono dunque indispensabili alla formazione spirituale dell'uomo moderno ».

Il valore di queste asserzioni è posto in particolare rilievo dal fatto che vengono esse da Chi fu membro della vecchia Accademia della Crusca, per il giusto apprezzamento che i letterati fecero della sua cultura umanistica e letteraria.

Si insiste oggi sulla necessità di *avvicinare la scienza alla vita*. Pur ammettendo l'opportunità di questa direzione del processo Egli si era fin dal 1912 fatto assertore del processo inverso: quello di *avvicinare la vita alla scienza*.

« Le due cose restano distinte nell'ordine etico e nell'ordine sociale.

Avvicinare la vita alla scienza vuol dire portare nelle questioni della pratica lo spirito sereno e obbiettivo della ricerca scientifica, abbattere i sistemi e le ideologie che formano la ragion d'essere e la ragione di nuocere dei partiti politici, eliminare, non il sentimento che è una forza reale, ma il sentimentalismo, che è un artificio retorico, richiamare gli Italiani a quella vision delle cose realistica e positiva, che fece di loro nel Rinascimento il primo popolo del mondo.

Chi affermasse che un indirizzo nazionalistico di questo genere è buono, direbbe troppo poco; in realtà è il solo buono, perchè è il solo che non sia contro la natura, o almeno fuori della natura.

Ogni popolo serba davanti ai problemi della scienza e della vita una sua attitudine particolare; ma nessuno come noi, forse perchè

la civiltà nostra nacque spontanea, e fu sottratta da principio alle azioni esteriori, nessuno come noi seppe animare la scienza e la vita di un medesimo spirito, di uno spirito che temprava insieme l'intuito del reale e l'idealità ».

E nel 1909 Egli diede un esempio concreto del modo come la scienza avrebbe potuto intervenire nella vita per dirigere con criteri sicuri e razionali le riforme legislative « *che ora si fanno a furia di popolo e per pressione di interessi o rivalità di partiti* ».

In un saggio sulla applicazione del calcolo alle scienze morali Egli tentò di rendere più rigorose le basi di un famoso e molto criticato teorema, che il marchese di Condorcet enunciò alla fine del secolo decimottavo, e lo tradusse in numeri per risolvere la questione se in Italia, alla data in cui Egli scriveva, era da preferirsi il giudice unico o un collegio giudicante. All'enunciato del teorema Egli diede una forma non certo prevista dal Condorcet in quanto, oltre i collegi di giudici, Egli considerò anche un'assemblea di legislatori ⁽¹⁾. Per il che Egli esplicitamente concluse:

« Ognuno che abbia potuto avvicinare dei membri del parlamento si è convinto senza dubbio che in media essi valgono spesso assai meglio che l'assemblea della quale fanno parte; è opinione volgare anzi che i nuovi deputati pieni di buone intenzioni risentano appena giunti a Roma l'influenza dell'ambiente. Ma il teorema di Condorcet indica senza ambiguità che il fenomeno è ben diverso, e ne dà purtroppo una ragione poco lusinghiera: se la camera vale meno dei singoli deputati vuol dire che il livello medio degli eletti della nazione deve essere assai basso.

È perfettamente ragionevole che un'assemblea di questo genere deleghi una parte dei suoi poteri a un piccolo numero di uomini, anche se presi il più delle volte all'infuori degli ottimi; ed è altrettanto ragionevole che il paese ami in certe circostanze di sentirsi governato da un solo... ».

Oggi, che stiamo assistendo al fallimento in atto del parlamentarismo in più di un paese, è certamente interessante fissar l'attenzione sopra tale giustificazione del fenomeno, data in un tempo

(1) La forma data dal Garbasso al teorema di Condorcet è la seguente:

« Se il legislatore o il magistrato medio è capace di dare $\left[\begin{array}{l} \text{più} \\ \text{meno} \end{array} \right.$ che cinquanta voti ragionevoli o sentenze giuste sopra cento, la sapienza dell'assemblea o del collegio giudicante apparirà sempre $\left[\begin{array}{l} \text{maggiore} \\ \text{minore} \end{array} \right.$ quanto più grande è il numero degli elementi di cui l'assemblea o il collegio risultano ».

così lontano dal nostro e quindi in condizioni di spirito e di mente perfettamente indipendenti dagli influssi e dalle circostanze politiche recenti.

E non è questa l'unica prova della preparazione di Antonio Garbasso a consentire in modo attivo all'esperienza che l'Italia sta vivendo da un decennio per le sue e forse per le fortune d'Europa.

Si deduce dal testo dei brani già citati e risulta da tutti i suoi scritti che già prima del 1919 Egli era convinto che l'unica via per risanare la Nazione era quella di riportarne la vita intellettuale e morale a una impostazione romana, italiana e realistica.

Ma nel 1918 Egli ribadisce quest'idea deducendola dagli insegnamenti della grande guerra.

« Non a tutti ancora è ben chiaro il significato profondo della grande guerra che abbiamo combattuto e abbiamo vinto.

..... La guerra è stata anzitutto e soprattutto una guerra di idee....

Abbiamo sacrificato venti milioni di uomini e dieci centinaia di miliardi, perchè conveniva stabilire una volta che il divino Euforione era l'ombra di un sogno, e le nozze di Elena e di Faust furono realmente infecunde, che la società dei popoli non si costruisce a priori, che a ciascuno è dato secondo le opere sue.

Trionfa dunque la nostra concezione del mondo, naturale e positiva, romana, italiana e toscana.

La concezione dei nostri giuristi, di quelli che insegnavano sacra la vita, inviolabile la parola data. Che volevano i trattati etiam adversus hostes servanda; che anche ai vinti lasciavano le istituzioni e le leggi, e garantivano agli individui l'esercizio del diritto, ai popoli la pace.

Trionfa la concezione dei nostri scienziati, di quelli che osservando l'Universo vero e reale in humilitate cordis hanno aggiunto veramente una ricchezza nuova al patrimonio ideale dei Greci.

Trionfa infine la concezione dei nostri mistici, di quelli che vedevano il premio concesso non ai salmi, alle opere.

E trionfa, questa concezione del mondo, naturale e positiva, romana, italiana e toscana, perchè è giusta in etica, e in logica è vera. Perchè è la sola giusta e la sola vera ».

Il realismo di Antonio Garbasso non è dunque da confondere col positivismo grossolano introdotto da naturalisti e biologi come Buchner e Moleschott, che erano alla testa della filosofia scientifica della fine dell'ottocento.

Il suo realismo era più semplice, perchè non corrotto da sovrastrutture artificiali e incerte, era più sano e illuminato, perchè si

raccordava solo con la pura tradizione del metodo sperimentale italiano.

Il positivismo ottocentesco era sterile e condusse il Brunétière a dichiarare la bancarotta della scienza; il realismo del Garbasso è fecondo, perchè conduce ad affermare nella scienza « *il fiore più squisito della nostra cultura nazionale: nella scienza che osserva, sperimenta e misura, che ragiona, calcola e prevede, armoniosa come l'Universo, stringente come la necessità, bella, impassibile, serena come le statue immortali* ».

In virtù di questo realismo elementare ed universale Antonio Garbasso, accanto alla fiducia nella Scienza, potè conservare la Fede e fu Cattolico come Caterina Benincasa e Dante Alighieri e Galileo Galilei.

« *Che poi Caterina chiami Dio la realtà che assume fuori di sè, e Galileo la chiami più spesso natura, non importa; come non importa se sono dissimili le loro sensibilità, se, quando sentono di comunicare con quella realtà esteriore, lo scienziato esulta e la santa cede nell'estasi alla intollerabile dolcezza* ».

* * *

Intorno al 1890 Enrico Hertz aveva appena gettato il ponte che unisce il dominio dell'elettricità a quello dell'ottica; aveva ottenuto raggi di forza elettrica polarizzati in un piano capaci di riflettersi e rifrangersi appunto come i raggi delle vibrazioni luminose; aveva verificato che la riflessione segue la legge di Euclide e la rifrazione quella di Descartes; aveva misurato l'indice di rifrazione di un prisma d'asfalto e trovato che esso corrispondeva a quello prevedibile colla teoria per le onde da lui usate.

Il giovane Garbasso, che aveva già prima della laurea dato prova della sua abilità nello sperimentare e nel teorizzare con due lavori, uno sulla variazione di resistenza di ferro e nickel in campo magnetico e l'altro sulla direzione dei vettori elettrico e magnetico nelle onde piane, che si era laureato misurando la polarizzazione rotatoria del cloruro di bismuto e confermando l'interpretazione del fenomeno data dal Righi nel 1878, si dedicò subito con entusiasmo alla nuova ottica delle onde elettromagnetiche

In luogo delle superficie e degli schermi di materiale continuo e compatto, Egli sostituì nelle esperienze dell'Hertz tavolette coibenti coperte di striscie metalliche uguali fra loro (reticoli) e schermi costruiti con strati paralleli di tali striscie.

Egli ottenne così riflessione e assorbimento, ma non per qualun-

que onda emessa dall'eccitatore, bensì solo per quelle che corrispondevano alle oscillazioni elettriche proprie delle striscie metalliche con cui erano composti i suoi specchi e i suoi filtri. In sostanza Egli mise in evidenza che un reticolo è una serie di risonatori sempre in azione e che le onde elettromagnetiche danno luogo a fenomeni analoghi a quelli dell'assorbimento selettivo e della riflessione dei raggi luminosi sui corpi colorati.

Lo stesso Hertz a proposito di questo lavoro gli scrisse da S. Margherita Ligure, dove si trovava: « L'expérience que vous me décrivez est intéressante au plus haut degré et extrêmement beau, je voudrais bien l'avoir inventé et exécuté. C'est une petite image de l'absorption sélective de la lumière par les corps colorés. J'ai éprouvé un grand plaisir en lisant votre description ».

In collaborazione con E. Aschkinass a Berlino nel 1894 Egli estese le ricerche iniziate già l'anno precedente in Torino a prismi costituiti di risonatori. Egli ottenne la rifrazione prismatica e realizzò lo spettro continuo dell'eccitatore, già prima ottenuto dallo Zehnder per diffrazione. Costruì anche una disposizione per ottenere la diffusione dei raggi di forza elettrica.

Fu con le disposizioni del Garbasso che nel 1896 Rubens e Nichols dimostrarono per la prima volta in modo diretto la natura elettromagnetica delle onde termiche oscure. E nel 1902 il Wood riconobbe che i colori presentati da metalli finemente divisi erano dovuti a un fenomeno del tutto simile a quello che si ha con schermi di risonatori.

Le ricerche del Garbasso in questo campo preludono quindi allo studio della *risonanza ottica*.

Egli non abbandonò in seguito l'ordine di idee suscitato da questi primi successi. L'indirizzo preso dalle sue ricerche posteriori è appunto ispirato dalla identità dei fenomeni ottici messi in evidenza con mezzi costituiti di risonatori grossi e ben visibili e di quelli che si ottengono nelle condizioni ordinarie.

La materia reagisce alle eccitazioni luminose come fa un sistema di risonatori con le onde elettromagnetiche. Egli vide il partito che si poteva trarre da questo per cominciare a capir qualche cosa del misterioso processo dell'emissione della luce. Pervenne così a una soluzione del problema, per quanto per necessità di cose non esauriente, come riconobbe Egli stesso, certo molto originale e di una elaborazione unitaria e di lunga lena.

Appartengono in apparenza al puro campo dell'elettrotecnica le ricerche sulle scariche di condensatori a cui si offrono più vie, condotte da principio pel caso in cui il regime delle correnti risultanti

dalla scarica vari con tanta rapidità che l'energia magnetica soddisfa alla condizione di minimo. Esse erano invece una preparazione pel problema che tormentava il suo spirito, curioso delle proprietà più intime della materia.

Egli, così schivo di generalizzazioni teoriche prive di significato fisico, dopo aver resi più rigorosi i calcoli sulla scarica dei condensatori in circuiti derivati iniziati dal Feddersen nel 1867, dopo aver riconosciuto che anche nelle ipotesi più larghe si perveniva a sistemi di equazioni differenziali ordinarie lineari e omogenee con coefficienti costanti, stabilisce formule simboliche per la risoluzione generale di detti sistemi e le applica allo studio delle scariche che avvengono in *un gruppo di n conduttori*.

Che la ricerca di alta elettrotecnica non fosse fin dal principio scopo a sè stessa nella mente del suo Autore, si deduce dalla data dell'ultimo lavoro sulle scariche dei condensatori (maggio 1902) e da quella del primo sulla teoria elettromagnetica della emissione luminosa (8 febbraio 1903).

Quando il problema venne affrontato dal Garbasso, se la teoria della *propagazione* della luce aveva raggiunta la sua maturità, quella della *emissione* era invece trattata in lavori scarsi di numero, mancanti il più delle volte di una formulazione analitica conveniente. Le considerazioni che essi contenevano riescivano quindi sempre difettose e male determinate. Anche la natura dell'ente ai cui moti si debbono attribuire le perturbazioni luminose era diverso nei diversi autori: il Kayser le diceva dovute ai moti degli atomi materiali, Lecoq de Boisbaudran alle oscillazioni delle molecole e Wiedeman, le faceva dipendere dai due movimenti a un tempo.

E, oltre un lavoro puramente cinematico del 1891, in cui lo Stoney tentava giustificare i doppietti dei metalli alcalini con la descrizione di una particolare traiettoria elettronica — lo Stoney fu il primo ad adoperare la parola *elettrone* — esisteva solo il bel tentativo del Lorentz per spiegare l'effetto Zeeman con oscillazioni di elettroni, perturbate dal campo magnetico.

Il Garbasso osservò che un raggio di forza elettrica nasce da una corrente periodica; ma nasce qualunque sia il meccanismo della corrente stessa, così nel caso della *convezione*, come in quello della *conduzione*. Per giustificare l'emissione della luce si possono quindi studiare dei sistemi di particelle elettrizzate i cui legami diano luogo a movimenti vibratorii, oppure sistemi di conduttori percorsi da scariche oscillanti.

L'atomo e la molecola, che emettono spettri con centinaia e migliaia di righe, cioè che posseggono centinaia e migliaia di fre-

quenze, sono certo sistemi complicati; a rappresentarli non basta l'oscillatore a un solo grado di libertà, ossia l'eccitatore di Hertz isolato. Bisogna pensare a una « Koppelung » dei sistemi elementari utilizzati per fare una teoria degli spettri di righe.

Ora in ambedue i casi considerabili la « Koppelung » si realizza in modo spontaneo appena la distanza fra gli elementi sia discesa al di sotto di un certo limite. Se si tratta di conduttori i termini nuovi corrispondono a fenomeni di induzione, se si tratta di sistemi di particelle corrispondono invece alle forze di Coulomb.

Dal punto di vista pratico i risultati ottenuti con l'una concezione continuerebbero a sussistere per l'altra. Ma è più facile immaginare e calcolare un conduttore complesso che un sistema di particelle vibranti. E il Garbasso, che chiamava l'un modo di vedere « elettromagnetico » e l'altro « elettrostatico », costruì la *teoria elettromagnetica dell'emissione della luce*.

Così gli atomi vennero rappresentati con sistemi di conduttori complessi e le molecole con sistemi di sistemi.

Per questo non intendeva il Garbasso che gli atomi e le molecole dovessero essere formati in natura secondo lo schema da lui proposto. Egli sapeva che la sua non era la rappresentazione della struttura della materia, sapeva che ne sarebbe riuscita solo un *modello equivalente* nel senso del Poincaré ⁽¹⁾, qualora le conseguenze teoriche, rendessero conto in modo coerente dei fenomeni osservati dalla spettroscopia sperimentale.

Così col modello dell'atomo costituito di conduttori per la prima volta fu messo in evidenza che le formule empiriche che legano fra loro le frequenze emesse da un medesimo atomo (serie di Kayser e Runge) hanno una realtà oggettiva. Così per la prima volta i doppietti dei metalli alcalini e i tripletti degli alcalino-terrosi furono dedotti da particolari legami fra i sistemi elementari responsabili della emissione luminosa. E dalle azioni di un sistema di conduttori sopra un altro vennero ricavati non solo gli spettri a colonnato delle molecole, ma l'allargamento e lo spostamento delle righe spettrali delle sostanze semplici; cosa che in certo senso è la previsione dell'azione dei campi elettrici intermolecolari sulle radiazioni atomiche. Anche le differenze fra gli spettri di molecole isomere trovano spiegazione nella teoria del Garbasso.

L'esposizione completa dei risultati ottenuti da Lui e dagli allievi, che con Lui hanno lavorato a Genova in questo campo allora nuovo di indagine, quando il primo tentativo di modificare il con-

(1) V. in seguito a p. 145.

cetto dell'emissione dell'energia appena formulato dal Planck, non aveva ancora attratto l'attenzione dei fisici, si trova nel volume « Vorlesungen über theoretische Spektroskopie ». Questo volume ha un valore intrinseco, oltre che storico, notevolissimo, perchè riunisce in un disegno chiaro, elegante e completo i fondamenti classici delle teorie spettroscopiche fino al 1906.

Coi risultati del primo periodo delle sue ricerche con oscillatori dell'Hertz si allaccia un interessante tentativo fatto nel 1894 di determinare come è ripartita l'energia nello spettro continuo (luce bianca). Egli, sviluppando in serie di Fourier l'espressione di una vibrazione smorzata e calcolando l'intensità delle componenti in cui essa risulta decomposta, trova che si deve avere un massimo di energia localizzato in una determinata lunghezza d'onda, in accordo qualitativo con quanto dicevano le misure eseguite dal Langley nel 1888 sullo spettro solare.

È opportuno notare che solo qualche anno dopo, e quando il Garbasso era impegnato in altro ordine di idee, sono comparsi i primi lavori che si valgono dei sussidi termodinamici per ricavare la legge della distribuzione dell'energia nello spettro dei corpi incandescenti. Del resto questo e i successivi lavori del Garbasso sull'argomento tendevano principalmente a precisare la costituzione della luce bianca.

Le onde elettromagnetiche hanno continuato ad attrarre la sua attenzione anche in seguito, a diverse riprese, sia dal punto di vista teorico che da quello tecnico. Così nel 1902 Egli ottenne la rotazione del piano di polarizzazione di onde elettromagnetiche traversanti tavolette di legno tagliate ortogonalmente alle fibre, esperienza analoga a quella eseguita con la luce da J. C. Bose con fibre di juta ritorte. Nel 1909-10 calcolò l'energia irraggiata nelle diverse direzioni dall'aereo dell'Artom e trovò che l'intensità nei diversi azimut corrispondeva a quella determinata per via sperimentale dall'Artom stesso. Un altro problema connesso con la tecnica radiotelegrafica del tempo trattò nel 1912; indicò cioè un sistema radiante dotato di parecchi gradi di libertà, vale a dire un eccitatore unico di diverse lunghezze d'onda. Per questo fece la teoria generale dei cosiddetti *oscillatori a stella e a catena* e la verificò poi su oscillatori sperimentali a due e tre periodi.

Fra i lavori occasionali dei primi anni è da annoverare una ricerca ottica sull'origine dei colori presentati da certi insetti; in essa Egli stabilisce che tali colori non sono dovuti a pigmenti, ma a feno-

meni di interferenza della luce che traversa le scaglie dell'insetto (*Entimus imperialis*).

Intorno al 1896 Egli ebbe pure insieme con Angelo Battelli ad occuparsi dei raggi X, allora appena scoperti. È notevole l'indicazione, fatta dagli Autori per la prima volta, del cosiddetto *schermo di rinforzo* per ridurre il tempo di esposizione delle radiografie, oggi di largo uso nella tecnica.

Nel 1901 il Garbasso volle porre in condizioni realizzabili un'esperienza progettata dal Maxwell. Se in una bobina sospesa e girevole lungo il suo asse si lancia una corrente, deve verificarsi una rotazione della bobina in senso inverso a quello della corrente, qualora esista un vincolo fra l'elettricità che percorre il filo e la materia di cui essa è costituita (funzione *Tme* di Maxwell). Possiamo per analogia con altro effetto, pure previsto dal Maxwell (giromagnetico), indicare questo col nome di *effetto giroelettrico*. Il Garbasso sostituì al rocchetto proposto dal Maxwell un anello d'argento disposto in un piano orizzontale; in esso era lanciata una corrente di induzione mediante un elettromagnete a linee di forza verticali. Benchè la disposizione fosse abbastanza sensibile, l'anello d'argento non diede luogo all'effetto atteso; dal che il Garbasso concluse che nei conduttori praticamente le cose vanno come se non esistessero legami fra elettricità e materia o almeno come se tali legami avessero proprietà molto speciali. L'attualità della ricerca è dimostrata dalla data delle prime memorie del Drude sulla conducibilità dei metalli: 1900. In esse si parla appunto di *elettroni liberi*.

Sono dello stesso periodo osservazioni spettroscopiche di scariche elettriche, dirette a stabilire se la conduzione nei gas sia paragonabile all'elettrolisi, questione già posta dall'Hittorf e allora sempre dibattuta. Con esse il Garbasso riconobbe che il processo studiato non è identico a quello che ha luogo nelle soluzioni saline.

In riferimento ai risultati ottenuti da Hertz, Wiedemann, Ebert e da Sella e Majorana investendo l'elettrodo negativo di uno spinterometro con raggi ultravioletti o raggi X, Egli costruì due modelli uno elettrolitico e uno idrodinamico per illustrare come la scarica venga facilitata quando l'intervallo di scintilla è inferiore a un valore critico, oltre il quale invece la radiazione la ostacola.

Finalmente nel 1906 Egli pubblicò uno studio generale e organico delle varie forme di *miraggio*.

A quella data esistevano molti lavori sperimentali e teorici sul miraggio, ma i risultati dei due ordini di ricerche non erano coordinati e del resto la parte sperimentale, eseguita con mezzi a indice

di rifrazione variabile ottenuti per diffusione fra liquidi, era limitata al caso particolare in cui le superficie di ugual indice costituiscono una famiglia di piani paralleli. Il Garbasso ricava dal teorema di Fermat le equazioni differenziali della traiettoria luminosa e dimostra che essa può esser piana per certi valori delle costanti anche quando le superficie di ugual indice sono cilindri o sfere.

In modo particolare, è allora trattato il miraggio del Vince (fata Morgana), che si ottiene da un sistema di liquidi eterogenei miscibili separati da un piano. I risultati vengono messi alla prova col sistema solfuro di carbonio + alcool etilico, e illustrati con due forme nuove dell'esperienza del Wollaston, riprodotta mediante il processo di diffusione di elettroliti nella gelatina.

Dell'artificio di lasciar diffondere in gelatina una soluzione di cloruro di zinco il Garbasso si vale pure per riprodurre il miraggio del Monge, la cui teoria è sviluppata studiando un mezzo omogeneo da principio e limitato da un piano, sul quale la concentrazione ha all'origine un valore particolare che viene conservato nei tempi successivi. Per tale artificio Egli può anche eseguire esperienze con superficie di ugual indice a forma sferica o cilindrica e verificare così le conclusioni della teoria generale.

Questo lavoro, di cui non consta a chi scrive che esista elaborazione più completa e rigorosa, ha dato origine ad altri di suoi allievi, nonché a ulteriori sviluppi di calcolo delle traiettorie di raggi luminosi in mezzi isotropi e non omogenei o isotropi qualunque (1907) e a uno studio, eseguito in collaborazione con G. Fubini sopra il problema più generale dell'ottica (1909).

Dopo avere fra il 1909 e il 1910 trattato alcune questioni inerenti alla cinematica dell'elettrone che oscilla o percorre un'orbita dominata da un centro attraente, Egli si dedicò nel 1912 con G. Vacca allo studio di un interessante fenomeno di diffusione delle cariche elettriche nell'aria. Con un elettrometro munito di un conduttore rettilineo, il cui estremo libero era immerso nella fiamma di una candela isolata [disposizione suggerita da vecchie esperienze di Volta (1782-1787) e Bennet (1786)] gli Autori rivelarono una successione di deviazioni, quando un elettrodo puntiforme o una superficie piana cosparsa di spinterometri, avevano funzionato in precedenza, per eccitazione di una macchina elettrostatica, a una distanza dall'elettrometro di 10, 15 metri.

Il calcolo, condotto nell'ipotesi che l'effetto osservato sia dovuto a ioni diffondentisi di una sola specie, fa prevedere un solo massimo di deviazione dell'elettrometro. Poichè esso invece ne presenta anche

tre o quattro successivi, gli autori concludono che mentre la prima onda ionica che perviene all'elettrometro è costituita di molecole semplici, le successive dipendono da molecole sempre più complesse e però più lente a spostarsi nello spazio.

L'esperienza e i suoi risultati meritano forse una attenzione maggiore di quella di cui fin qui sono state oggetto. Forse da essa, se ripetuta in condizioni convenienti, trarrà qualche vantaggio la conoscenza di fenomeni connessi con l'elettricità atmosferica.

Dotato di un genuino ed equilibrato senso fisico, il Garbasso non si abbandona mai alle per Lui facili attrattive del calcolo senza aver verificato prima l'esistenza concreta del problema che si propone, ed in tutti i lavori all'accorto maneggio delle formule accoppia l'abilità nell'introdurre e interpretare modelli dinamici dei fenomeni in istudio.

Sin dal 1897 Egli aveva costruito un meccanismo a ingranaggi differenziali per riprodurre i fenomeni di induzione ai quali dà luogo la scarica di un condensatore lungo un filo metallico isolato o in presenza di altro conduttore (sistema dicitico imperfetto). A questo modello, suggerito da analogo costruito dal Maxwell, e ad altri ideati da suoi allievi, Egli rimase fedele anche nel corso delle sue lezioni sulla auto e la mutua induzione; e ne fece uso tutte le volte che la complessità del calcolo faceva disperare di poter raggiungere direttamente lo scopo prefissato.

In effetto il periodo in cui Antonio Garbasso ha dato la massima produzione scientifica era dominato da un teorema enunciato da Enrico Poincaré nel 1894. Secondo il Poincaré si può sempre immaginare dei meccanismi che abbiano energia cinetica e potenziale di forme assegnate e perciò se di un sistema naturale si conoscono appena le espressioni delle energie si può per infinite vie rappresentarlo con modelli, ossia spiegarlo teoricamente.

Ma il teorema di Poincaré conduceva a concludere che « *il problema del ricercare la natura delle cose è sterile e vano, anzi non è un problema* ».

Ora se il Garbasso accettò da un punto di vista economico e utilitario il principio di Poincaré e fece nella pratica largo uso dei modelli che concretano e traducono i fenomeni di varia natura di cui si occupava, non si lasciò fuorviare dal valore filosofico per la ricerca scientifica, che ad esso si può attribuire, quando non lo si sottoponga a un'opportuna critica.

« *Il tentativo di render conto dei fenomeni esteriori porta nella maggioranza dei casi alla considerazione di quelli che Hertz ha chia-*

mato heimliche Mitspieler e che, adottando un termine di Helmholtz, egli designò più tardi col nome di moti nascosti e di masse nascoste (verborgene Bewegungen e verborgene Massen).

La possibilità logica di introdurre questi enti particolari permette appunto di costruire in infiniti modi l'energia cinetica e l'energia potenziale, pure rispettando le condizioni imposte dal sistema della natura.

Ma, ed Hertz lo ha notato in forma esplicita, un moto che oggi è nascosto potrebbe diventare manifesto domani. In tale caso la indeterminazione del modello sarebbe enormemente diminuita ».

« *Können (i moti e le masse nascoste) ihre Verborgenheit nicht lange bewahren sobald wir Mittel gewinnen auf die einzelnen Koordinaten zu wirken* » dice lo stesso Hertz, che aveva dato una forma più precisa al teorema del Poincaré.

Nel suo sano realismo Antonio Garbasso doveva considerare con fiducia questa previsione dell'Hertz, sicchè, dopo aver dato un contributo proprio all'interpretazione delle reazioni fra materia ed energia nello spirito del teorema del Poincaré, Egli dopo il 1910 stava in attesa dei suggerimenti che nuovi mezzi escogitati per agire sulle coordinate delle parti componenti l'atomo, dovevano necessariamente offrire per condurre più avanti la fisica nella risoluzione del suo problema centrale: la struttura della materia.

Par chiaro questo dalla gioia con cui Egli accolse la prima memoria del Bohr sul processo di emissione degli spettri di righe e dal modo come subito, nel 1913, si fece banditore della concezione quantistica, che riusciva invece tanto ostica ad altre menti formate sui modelli classici della meccanica.

Da questa tensione d'attesa procede pure l'entusiasmo con cui Egli nel 1914 si dedicò a indagini dirette sulla separazione in campo elettrico delle righe dell'idrogeno, scoperta nel suo Laboratorio durante l'estate del 1914 da A. Lo Surdo e insieme da J. Stark in Germania .

A parte un primo tentativo per giustificare in maniera classica le separazioni osservate dal Lo Surdo, Egli volle cimentare la riga rossa dell'idrogeno in campi elettrico e magnetico simultanei e a linee di forza parallele. Le componenti non polarizzate del campo elettrico gli apparvero in osservazione longitudinale scisse in un doppietto. Questa ricerca fu l'unica sull'argomento fino al 1931 e il risultato non differisce da quello messo in evidenza dallo Steubing. L'interpretazione classica, che il Garbasso ne ha dato, conduce appunto alle medesime conclusioni che sono state dedotte dalle teorie quantiche.

Quando dunque si iniziava una nuova fioritura della sua attività di indagatore teorico e sperimentale delle *verborgene Bewegungen* e delle *verborgene Massen*, l'Italia entrava in guerra. Il suo animo generoso e sensibile alle manifestazioni della vita civile e nazionale non seppe contentarsi, nè allora nè poi, della parte di semplice spettatore.

Egli abbandonò quindi la quotidiana consuetudine del Laboratorio e cedette ai giovani il compito di conservarne la vita. Spettroscopia generale e dei raggi X, ottica pratica, elettronica, radiazione penetrante ed ultimamente problemi di fisica nucleare sono stati coltivati in Arcetri sotto la sua amorosa vigilanza dal 1915 al 1933.

Ma è nel naturale egoismo della Scienza il rimpiangere quello che Antonio Garbasso avrebbe ad essa potuto ancora dare e non ha dato, per volontaria rinuncia, con sacrificio intellettuale certo grandissimo, negli anni della sua migliore maturità scientifica, dopo aver vissuto un'esperienza personale per cui Egli in Italia deve considerarsi il nobile precursore della fisica atomica.

ELENCO DELLE PUBBLICAZIONI ⁽¹⁾

1. *Dell'influenza della magnetizzazione sulla resistenza elettrica del ferro e del nickel.* « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XXVI, 21 giugno 1891.
2. *Sul problema delle onde pique nella teoria elettromagnetica della luce.* « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XXVII, 15 maggio 1892.
3. *Sulla luce polarizzata circolare e particolarmente sulla sua velocità nei mezzi dotati di potere rotatorio magnetico.* Tip. Guadagnini, Torino, 1892.
4. *Ueber eine Darstellung der Lichtdrehenden Körper.* « Archives Néerlandaises des Sciences exactes et naturelles » senza data.
5. *Sopra il fenomeno della risonanza multipla.* « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XXVIII, 19 marzo 1893.
6. *Sulla riflessione dei raggi di forza elettrica.* « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », 3 luglio 1893.
7. *Sur le phénomène de la résonance multiple.* « Journal de Physique », S. 3, t. II, juin 1893.
8. *La teoria di Maxwell dell'elettricità e della luce* (conferenze fatte all'Università di Torino). « Rivista di Matematica », anno 1893.

⁽¹⁾ Questa bibliografia non pretende di essere completa specialmente per quanto riguarda discorsi e conferenze.

9. *Ueber Brechung und Dispersion der Strahlen elektrischer Kraft*, in coll. con E. ASCHKINASS. « Ann. der Phys. und Chemie », Neue Folge, Bd. 53, p. 534 e « Naturwissenschaftlicher Rundschau », Jahrg. IX, N. 34.
10. *Sulla luce bianca*. « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XXX, 16 dicembre 1894.
11. *Necrologia del professore Enrico Rodolfo Hertz*. « Nuovo Cimento », S. 3, vol. 35, pag. 3, 1894.
12. *Die Prinzipien der Mechanik in neuem zusammenhange dargestellt per H. Hertz*. « Nuovo Cimento », S. 4, vol. 1, gennaio 1895.
13. *Sopra i raggi del Röntgen*, in coll. con A. BATTELLI. Id., S. 4, vol. III, gennaio 1896.
14. *Sopra un modo di ridurre il tempo di posa delle fotografie eseguite coi raggi del Röntgen*, in coll. con A. BATTELLI. Id., S. 4, vol. III, marzo 1896.
15. *Sur quelques faits se rapportants aux rayons de Röntgen*, in coll. con A. BATTELLI. « Comptes Rendus de l'Ac. des Sciences », 9 mars 1896.
16. *Un'esperienza di corso sulla costante dielettrica*, « Nuovo Cimento », S. 4, vol. III, aprile 1896.
17. *Sopra alcuni fenomeni luminosi presentati dalle scaglie di certi insetti*. « Memorie della R. Acc. delle Scienze di Torino », S. II, T. XLVI, 26 aprile 1896.
18. *Raggi catodici e raggi X*, in coll. con A. BATTELLI. « Nuovo Cimento », S. 4, vol. III, maggio 1896.
19. *Sulla dispersione delle cariche elettrostatiche prodotta dai raggi ultravioletti*, in collaborazione con A. BATTELLI. Id., S. 4, vol. III, giugno 1896.
20. *Di alcune azioni che esercitano i gas prodotti nella combustione sulla lunghezza della scarica esplosiva nell'aria*. Id., S. 4, vol. III, luglio 1896.
21. *Azione dei raggi catodici sopra i conduttori isolati*, in coll. con A. BATTELLI. Id., S. 4, vol. IV, settembre 1896.
22. *15 lezioni sperimentali su la luce considerata come fenomeno elettromagnetico*. Ed. della Rivista « L'Elettricità », Milano, 1897.
23. *Sopra un sistema diciticlico imperfetto che rappresenta una coppia di circuiti forniti di induzione e capacità*. « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XXXII, 13 giugno 1897.
24. *Come si faccia la scarica di un condensatore quando ad essa si offrano due vie e come si rappresenti meccanicamente*. « Nuovo Cimento », S. 4, vol. VI, luglio 1897.
25. *Sul modo di interpretare certe esperienze del sig. P. Zeeman di Leida*. Id., S. 4, vol. VI, luglio 1897.

26. *Sur la forme de la perturbation dans un rayon de lumière solaire*, in collaborazione con ALBERTO GARBASSO. « Archives des Sciences Phys. et Nat. », P. IV, t. IV, août 1897.
27. *Su la forma della perturbazione in un raggio di luce solare*, in coll. con ALBERTO GARBASSO. « Nuovo Cimento », S. 4, vol. VI, novembre 1897.
28. *Alcune esperienze su la scarica dei condensatori*. « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XXXIII, 17 aprile 1898.
29. *Sopra alcuni modelli di fenomeni elettromagnetici* (lettura fatta all'Assemblea generale del 26 sett. 1898 in Torino dell'Ass. El. Italiana). « Atti », vol. II, 1898.
30. *Zwei Modellen für einen elektrischen Entladungsvorgang in Gasen*. - « Phys. SZ », Jahrg. 2, N. 4, 1901.
31. *Quelques expériences sur la décharge électrique dans les gas*. « Arch. des Sciences Phys. et Nat. », P. IV, T. XI, mars-avril 1901.
32. *Su la scarica elettrica nei gas*. « Nuovo Cimento », S. 5, vol. I, maggio 1901.
33. *Sopra il valore massimo e il significato fisico della funzione Tme di Maxwell*. Id., S. 5, vol. I, giugno 1901.
34. *Due esperienze da lezione*. Id., S. V, vol. II, luglio 1901.
35. *Sopra il coefficiente di autoinduzione di un anello a sezione rettangolare*. Id., S. 5, vol. II, agosto 1901.
36. *Su le correnti di scarica dei condensatori secondo due circuiti derivati*. « Memorie della R. Acc. delle Scienze di Torino », S. II, T. LII, 13 aprile 1902.
37. *Su la derivazione delle correnti a regime variabile*. « Atti dell'Ass. El. It. », vol. VI, fasc. II, 11 aprile 1902.
38. *Sopra una questione di elettrodinamica*. « Nuovo Cimento », S. V, vol. III, maggio 1902.
39. *Ueber die Entladungen eines Condensators durch n parallellgeschaltete Drahte*. « Ann. der Phys. », F. IV, Bd 8, p. 890, 1902.
40. *Su la polarizzazione rotatoria dei raggi di forza elettrica*. « Nuovo Cimento », S. 5, vol. IV, settembre 1902.
41. *Apparate und Modelle zur Erläuterung physikalischer Erscheinungen*. « ZS für des phys. und chem. Unterricht », Jahrg. 50, Heft 6, novembre 1902.
42. *Formules pour l'intégration d'un système d'équations différentielles linéaires et homogènes*. « Nouvelles Annales de Mathématiques ». S. 4, t. II, décembre 1902.

43. *Teoria elettromagnetica dell'emissione della luce*. « Mem. della R. Acc. delle Scienze di Torino », S. II, T. LIII, 8 febbraio 1903.
44. *Su gli spettri delle stelle variabili*. « Atti della Soc. ligustica di Scienze nat. e geografiche », vol. XV, 1904.
45. *Su la teoria dell'analisi spettrale*. « Boltzmann Festschrift », 1904.
46. *Le scariche oscillanti nei sistemi di conduttori complessi e la teoria elettromagnetica dell'analisi spettrale*. « Nuovo Cimento », S. V, vol. VIII e IX, 1904-1905.
47. *De Undulationibus electricis Libri Duo*. Dissertatio a Matritensi Physicarum et Naturalium Scientiarum Regali Academia. Anni MCM certamine ordinario, lauro decorata. Off. typografica « Gaceta de Madrid », Matriti, 1905.
48. *Zur Geschichte der multiplen Resonanz*. « Ann. der Phys. ». F. V, Bd. 20, p. 846, 1906.
49. *Vorlesungen über theoretische Spektroskopie*. Johann Barth, 1906.
50. *Ludwig Boltzmann, la sua opera e il suo pensiero*. « Nuovo Cimento », S. V, vol. XIII, marzo 1907.
51. *Traiettorie e onde luminose in un mezzo isotropo qualunque*. « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XVI, S. 5, 2° sem., fasc. I, 7 luglio 1907.
52. *Traiettorie e onde luminose in un particolare mezzo isotropo e non omogeneo*. « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XVI, S. 5, 2° sem., fasc. 8, 20 ottobre 1907.
53. *Ueber Strahlengang und Wellenflächen des Lichtes in geschichteten Medien*. « Archiv für Optik », Bd. I, Heft V, februar 1908.
54. *Il miraggio*. « Memorie della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. LVIII, S. 2, p. 1, 1908.
55. *La struttura degli atomi materiali*. « Atti della Soc. It. per il Progresso delle Scienze ». Seconda riunione, Firenze, ottobre 1908.
56. *La Scienza e la Civiltà*. Discorso per l'inaugurazione dell'anno accademico 1908-1909 tenuto il 3 novembre 1908 nella R. Università di Genova.
57. *Sopra il problema più generale dell'ottica*, in coll. con G. FUBINI. « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XLIV, 27 dicembre 1908.
58. *Su la composizione delle vibrazioni armoniche*. « Atti della R. Acc. delle Scienze di Torino », vol. XLIV, 10 gennaio 1909.
59. *Su la teoria degli spettri a doublets*. Pubbl. dell'Ist. di Fisica della R. Università di Genova, Pisa, 1909.
60. *La struttura degli atomi materiali*. « Nuovo Cimento », S. V, vol. XVII, marzo 1909.

61. *Su lo spettro normale di una vibrazione smorzata.* « Atti del IV Congresso Int. dei matematici », vol. III, Roma 1908.
62. *Alcune traiettorie di elettroni.* « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XVIII, S. 5, 1° sem., fasc. 2°, 5 giugno 1909.
63. *L'aereo Artom e la dirigibilità delle onde elettriche.* Vincenzo Bona, Torino, 1909.
64. *Il moto di un elettrone nel campo magnetico.* « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XIX, S. 5, 1° sem., fasc. 2°, 16 gennaio 1910.
65. *Su la radiazione di un'antenna inclinata.* Id., vol. XIX, S. 5, 1° sem., fasc. 2°, 5 giugno 1910.
66. *Ancora su la radiazione di un'antenna inclinata.* Id., vol. XIX, S. 5, 2° sem., fasc. 4°, 21 agosto 1910.
67. *L'emissione della luce.* Atti della Soc. It. per il Progresso delle Scienze, IV Riunione, Napoli, ottobre 1910.
68. *Fisica d'oggi, filosofia di domani.* Libreria ed. milanese, Milano, 1910.
69. *La traiettoria caratteristica del fenomeno di Zeeman.* « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XIX, S. 5, 2° sem., fasc. 11, 4 dicembre 1919.
70. *Sopra un particolare fenomeno di diffusione.* « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XX, S. 5, 1° sem., fasc. 4, 19 febbraio 1911.
71. *I progressi recenti della fisica teorica, sperimentale e applicata.* Conferenze tenute da vari autori nella R. Università di Genova. Albrighi e Segati, Milano 1911.
72. *Su la diffusione del potenziale elettrostatico nell'aria.* In coll. con G. Vacca. « Rend. R. Acc. dei Lincei », vol. XX, S. 5,, 2° sem., fasc. 7, ottobre 1911 e « Nuovo Cimento », S. VI, vol. III, febbraio 1912.
73. *I conduttori a più periodi e la loro possibile applicazione nella pratica della telegrafia senza filo.* « Rend. R. Acc. dei Lincei ». S. V, vol. XXI, 1° sem., fasc. 4°, 18 febbraio 1912.
74. *Eccitatori di Hertz con spettro d'emissione a più righe.* « Memorie della R. Acc. delle Scienze di Torino », S. II, T. LXLII, 26 maggio 1912.
75. *Parole del prof. A. Garbasso.* Atti della Soc. It. per il Progresso delle Scienze, VI riunione, Genova, ottobre 1912.
76. *Venti uomini illustri.* « L'Arengo », A. III, N. 1, Genova, gennaio 1913.
77. *Teorie moderne dell'elettricità.* « Atti dell'Ass. El. It. », vol. XVII, fasc. 14, 31 luglio 1913.
78. *I principî della meccanica.* Atti della Soc. It. per il Progresso delle Scienze, VII riunione, Siena, settembre 1913.

79. *Ricerche teoriche recenti sullo spettro dell'idrogeno*. « Rivista di Astronomia e Scienze affini », Anno VII, dicembre 1913.
80. *Theoretisches über das elektrische Analogon des Zeemansphänomen*, « Phys. ZS. », Jahrg. 15, 1914.
81. *Zusatz zu meiner Arbeit über das elektrische Analogon des Zeemansphänomen*. Id., Jahrg. 15, 1914.
82. *Sopra il fenomeno di Stark Lo Surdo*. « Rend. R. Acc. dei Lincei », 21 dicembre 1913 e « Nuovo Cimento », S. VI, vol. VII, p. 338, 1914.
83. *Ancora sul fenomeno di Stark-Lo Surdo*. « Nuovo Cimento », S. VI, vol. VII, p. 354, 1914.
84. *Azione simultanea di un campo elettrico e di un campo magnetico sulla riga rossa dell'idrogeno*. Reale Ist. Lombardo di Scienze e Lettere, Rend., vol. XLVII, fasc. 14-15, 2 luglio 1914 e « Nuovo Cimento ».
85. *La tradizione del pensiero toscano*. Discorso inaugurale per l'anno accademico 1916-17 letto il 16 novembre 1916, Firenze, 1917.
86. *Per l'inaugurazione del Laboratorio d'Ottica pratica e Meccanica di precisione*. Discorso tenuto il 24 novembre 1918, Firenze 1919.
87. *La fisica*. « Energie Nove », S. II, N. 9, 30 ottobre 1919.
88. *L'orma di Galileo. Una visita ai Laboratori di Arcetri*. « Il Nuovo Patto », A. V, N. 7-9, luglio-settembre 1922.
89. *Commemorazione di Alessandro Volta*. Como, 11 settembre 1927.
90. *Parole pronunziate per la chiusura del Congresso Int. dei Matematici di Bologna 3-10 settembre 1928*. « Atti del Congresso », T. I, p. 84, Zanichelli, Bologna.
91. *Le Università e le Scienze*. Dal volume « Il libro d'Italia », ed. Ravignani, Milano 1929.
92. *La fisica italiana nel secolo XIX*. Dal volume « L'Italia e gli Italiani del secolo XIX » a cura di J. De Blasi. Firenze, 1930.
93. *Il grande fisico Michele Faraday*. Commemorazione tenuta alla Sezione triestina della Ass. El. It., « Elettrotecnica », N. 35, 15, dicembre 1931.
94. *Firenze e la fisica*. Discorso inaugurale della XXVII riunione annuale della Ass. El. It., « L'Elettrotecnica », N. 31, 5 novembre 1932.
95. *Nel terzo centenario della morte di Federico Cesi*. « Atti della R. Acc. dei Lincei ». Rend. dell'adunanza solenne del 1° giugno 1930. vol. IV, fasc. 3, p. 75, 1930.

Cagliari, Aprile 1933-XI.
