

Secondo centenario della nascita di Riccardo Felici

1. Il percorso umano di Riccardo Felici

Nei documenti ufficiali, Riccardo Felici risulta nato a Parma l'11 giugno 1819, ma le circostanze della sua nascita risultano alquanto incerte, giacché non v'è traccia della sua nascita in documenti parmensi originali, mentre esiste un atto di battesimo, richiesto poi dallo stesso Felici, che attesta la nascita a Pisa, in quella stessa data, di Rinaldo Felice [*sic*], figlio di genitori incogniti. Alcune circostanze inducono a ritenere che Felici fosse il figlio illegittimo della nobildonna pisana Isabella Roncioni, personaggio dai trascorsi burrascosi che renderebbero plausibile l'ipotesi. Di certo, v'è una "fraterna", per quanto cauta, corrispondenza con Enrichetta Bartolommei, figlia di Isabella, e non sembra casuale nemmeno la scelta del nome di Isabella per l'unica figlia di Felici. Di certo, comunque, egli trascorse l'infanzia e l'adolescenza a Parma, in condizioni a quanto pare non facili, e si iscrisse dapprima, il 30 novembre del 1838, all'Università cittadina – dove seguì, tra gli altri, gli insegnamenti di: Matematica elementare; Matematica sublime ed Elementi di astronomia; Meccanica applicata all'architettura, alla statica e all'idrodinamica; Fisica teorica e pratica; Fisica sperimentale – fin quando il professor Michele Leoni (1776-1858), che in passato era stato amante della Roncioni, lo spinse a trasferirsi, l'anno successivo, al corso di laurea in Scienze matematiche della Facoltà di Scienze dell'Università di Pisa, quale allievo di Filippo Corridi, Vincenzo Amici, Luigi Pacinotti, Ottaviano Fabrizio Mossotti e Carlo Matteucci. Nel suo articolato piano di studi comparvero sia insegnamenti di Fisica che di Matematica, assieme a varie altre materie tecnico-scientifiche, fino alla laurea il 12 luglio 1843, conseguita in soli tre anni anziché negli usuali quattro del corso di studi ordinario. Nel 1846, avendo già pubblicato alcuni lavori scientifici, Felici venne nominato aiuto alla cattedra di Fisica sperimentale del Matteucci, nonché esercitatore e preparatore agli esami, quindi professore aggregato nel 1856 fino al 1859 quando, per i sempre maggiori impegni politici del Matteucci, gli subentrò nella cattedra di Fisica sperimentale – reggendo pure l'annesso Gabinetto – come professore titolare.

Dal 1848 al 1849, partecipò, con il grado di tenente, alla Prima Guerra d'Indipendenza, combattendo valorosamente a Curtatone. Al rientro a Pisa, per le sue idee risorgimentali, venne osteggiato dalla Chiesa nel riprendere il suo posto di aiuto all'università, e fu solo per intercessione del professor Silvestro Centofanti, con cui condivideva molte idee politiche e manteneva rapporti di amicizia, che riuscì presto a ripristinare il suo iniziale ruolo accademico. Nel 1852, tenne sia per incarico che per supplenza, alcuni corsi e seminari alla Scuola Normale Superiore di Pisa, fino ad essere designato ripetitore nel 1853. Nel 1854, nominato professore aggregato, si sposò con Elisa Frullini, pisana, da cui ebbe, nel 1856, l'unica figlia, Isabella. Nei bienni 1870/71 e 1882/83, Felici fu anche Rettore dell'Università di Pisa, assumendo al contempo altre varie cariche organizzative e direttive – fra le quali, la presidenza della Facoltà di Scienze e la carica di consigliere della Scuola Normale Superiore – che lo portarono man mano ad abbandonare la ricerca fisica attiva. Ufficialmente, lasciò l'insegnamento universitario nel 1893, e nel 1894 fu poi nominato professore emerito dell'Università di Pisa.

Ebbe rapporti di amicizia e di collaborazione con numerosi scienziati italiani dell'epoca, come pure con personalità della scienza di altri paesi europei. Nel 1897 insieme con diversi altri docenti universitari (tra cui Battelli, Ròiti, Blaserna, Righi e Beltrami) propose la costituzione della *Società Italiana di Fisica* e fu il direttore della sua principale rivista «Il Cimento» (fondata nel 1844, e poi, dal 1855, ridenominata «Il Nuovo Cimento»), Molti poi furono i riconoscimenti alla carriera: fu membro di varie altre società ed accademie scientifiche sia italiane che straniere, fra cui la *Società Italiana delle Scienze* di Modena (1861), la *Physical Society of London* (1868), l'*Accademia delle Scienze* di Bologna (1873), la *Physikalisch-Medicinische Gesellschaft* di Wurzburg (1874), l'*Accademia dei Lincei* (1875), l'*Istituto Veneto* (1875), l'*Accademia delle Scienze* di Torino (1881), l'*Istituto Lombardo di Scienze e Lettere* (1882), l'*Accademia Lucchese di Scienze, Lettere e Arti* (1883), come pure ebbe varie onorificenze da parte di ordini cavallereschi nonché inviti ufficiali da parte di associazioni italiane e straniere, fra le quali, nel 1899, quello della *Royal Institution of Great Britain*. Morì in località Sant'Alessio di Lucca, il 20 luglio 1902. La sua salma fu poi tumulata al Camposanto monumentale di Pisa.

2. L'opera scientifica di Riccardo Felici

Felici fu uno dei migliori ricercatori e docenti italiani di Fisica sperimentale della seconda metà del XIX secolo, formatosi alla prima scuola italiana di fisica dell'Ottocento, quella pisana, che ebbe come principali maestri Mossotti, Luigi Pacinotti e Matteucci, che le conferì, per primo, carattere sperimentale coi suoi pionieristici lavori. Se spesso v'è una certa continuità di metodi e di vedute nello studio e nella ricerca scientifica all'interno di una scuola di pensiero, a maggior ragione in ambito scientifico, questo non può dirsi del Felici rispetto al suo maestro, Carlo Matteucci. In effetti le peculiarità caratteriali di quest'ultimo erano senz'altro all'origine delle molte e rapide iniziative che egli prendeva sia nel contesto politico-organizzativo ed istituzionale sia in quello scientifico e di ricerca, in cui spesso prevaleva una tendenza verso la scoperta sperimentale immediata, mentre era minore l'interesse per la formalizzazione teorico-matematica.

Del tutto opposto era invece il temperamento del Felici, descritto da Pochettino come «[...] di carattere calmo, modesto, costante; spirito metodico, critico, ingegno singolarmente acuto e disciplinato, cauto, equilibrato, talvolta anche scettico, contemperante in giusta misura nella ricerca l'elemento sperimentale e quello matematico. Uomo di raziocinio, il Felici non legò il suo nome ad un fenomeno da lui scoperto; ma le sue ricerche fondamentali sulle correnti d'induzione sono condotte con tale perfezione di metodo che meritano l'onore di essere inserite nella collezione *Klassiker der exakten Wissenschaften* edita da Ostwald»

I suoi primi lavori di fisica risalgono agli anni immediatamente successivi alla laurea, con una prima memoria, del 1844, in cui esprimeva le sue considerazioni critiche, prettamente teoriche, in merito a ricerche condotte dal medico, biologo e fisiologo francese Henri Dutrochet su alcuni fenomeni di idrodinamica che questi spiegava introducendo *ad hoc* una nuova forza, mentre il Felici li riconduceva all'azione delle forze di capillarità. Nominato aiuto del Matteucci nel 1846, il Felici poté subito avvalersi della sperimentazione diretta, supportata dal prezioso lavoro del tecnico di laboratorio Mariano Pierucci, a sostegno delle sue considerazioni teoriche, per cui pubblicò, nel 1846, un secondo lavoro, più sperimentale, su alcuni fenomeni di termoelettricità del mercurio, dimostrando che la conducibilità elettrolitica poteva instaurarsi non solo in presenza di un gradiente termico ma comunque in concomitanza con fenomeni di ionizzazione della sostanza conduttrice.

L'anno successivo, continuando con studi e ricerche su fenomeni elettrochimici, pubblicò un terzo lavoro su circuiti elettrici formati da elementi galvanici, mentre, nel 1850, pubblicò un lavoro sulla propagazione della corrente elettrica all'interno di un conduttore di forma sferica, quindi, nel 1851, in continuazione di quanto già fatto nei precedenti, pubblicò un altro lavoro di elettrochimica in cui studiò anche l'influenza dei fenomeni termici sulla conduzione elettrica nei liquidi, pervenendo, per la prima volta, a determinare la modalità di variazione con la temperatura della f.e.m. di polarizzazione. Si tratta di lavori prettamente sperimentali, con l'aggiunta di considerazioni teoriche non formali. Nello stesso anno 1851 venne pubblicato anche un primo lavoro incentrato sulla spiegazione di fenomeni di induzione elettrodinamica, poi tradotto in francese e ripubblicato l'anno successivo nei famosi *Annales de chimie et de physique*, e noto anche a Maxwell. Quest'ultima pubblicazione segnò l'inizio della principale sequenza di lavori sull'induzione elettrodinamica, che terminerà nei primi anni '60, e che consacrerà il Felici fra i grandi della disciplina.

Nei primi anni '50, dunque, Felici intraprese uno studio dei fenomeni elettromagnetici secondo un approccio sperimentale analogo a quello adoperato negli anni '20 da André-Marie Ampère nello studiare i fenomeni di attrazione e di repulsione fra elementi lineari di circuiti elettrici. Felici iniziò con una serie di esperienze in cui sistematicamente investigò le possibili variazioni dell'intensità delle correnti inducente e indotta al variare della natura, della grandezza, della posizione relativa e della forma dei circuiti elettrici inducente e indotto, pervenendo così ad una nuova teoria dell'induzione elettromagnetica che contribuì molto a completare il quadro teorico in cui collocare i fenomeni di induzione elettromagnetica, cui contribuirono soprattutto M. Faraday, F.E. Neumann, W.E. Weber e H.F. Lenz, oltre a numerosi altri.

Ma ciò che maggiormente distingue l'opera del Felici rispetto ai contributi, senz'altro notevoli, degli altri autori, è il metodo di lavoro con cui pervenne alla formulazione della sua teoria. Invero le teorie di

Neumann, Lenz e Weber prendevano le mosse da particolari ipotesi *ad hoc*, aventi più una natura aprioristica e giustificativa che una ragionevole motivazione fisica.

Invece, il Felici, sulla base preliminare di semplici ma cruciali esperienze fisiche elementari, pervenne, analogamente al metodo seguito da Ampère negli anni '20), alla costruzione formale di una teoria generale dell'induzione elettromagnetica, evitando il ricorso a preve ipotesi artificiali, non appurate sperimentalmente. La legge di Felici, secondo la quale “è possibile calcolare la carica totale che passa in un circuito soggetto ad una corrente indotta come la differenza fra il flusso finale e quello iniziale del campo magnetico divisa per la resistenza elettrica del circuito”, venne poi ripresa da J.C. Maxwell nel costruire la sua teoria generale dell'elettromagnetismo, come anche da A. Roiti, L. Puccianti e G. Polvani, che confermarono ulteriormente molti aspetti del lavoro di Felici. E proprio grazie a questi importanti risultati, Felici divenne, nel 1859, professore ordinario di Fisica sperimentale, direttore dell'omonimo Istituto e del gabinetto di fisica dell'Università di Pisa.

E proprio durante il periodo in cui vennero condotte queste pionieristiche ricerche sperimentali sulle correnti d'induzione, il Felici pubblicò dei lavori in cui spiegava, attraverso il ritardo dell'induzione elettromagnetica, la presenza di certe dissimmetrie nelle azioni meccaniche esercitantesi fra una data sfera conduttrice rotante ed un magnete disposto normalmente all'asse di rotazione di questo conduttore solido, nel caso in cui la velocità angolare aumentava considerevolmente. E proprio da questi studi, anche ammettendo – e questo fu l'unico caso di trattazione fisico-matematica piuttosto che fisico-teorico di un problema empirico, condotta dal Felici – ipotesi non direttamente legate a fatti sperimentali, Felici pervenne pure ad una ingegnosa teoria del diamagnetismo.

Dai primi anni '60 in poi, egli indirizzò i suoi interessi verso altre questioni di elettromagnetismo, acustica ed ottica. Con i lavori degli anni compresi fra il 1862 e il 1866, Felici appronta, sulla base dei precedenti lavori sull'argomento, delle esperienze di laboratorio per la stima della velocità della corrente elettrica, riuscendo, al contempo, a descrivere alcuni particolari della fenomenologia delle scintille elettriche, loro natura e durata, attraverso congeniali apparati tecnico-sperimentali da lui stesso approntati. Negli stessi anni pubblica, sulla scorta di quanto aveva già iniziato il suo maestro Carlo Matteucci, dei lavori inerenti alcune esperienze di laboratorio – costruendo, a tale scopo, un proprio elettrometro speciale basato su una bilancia di torsione – sul comportamento fisico di dielettrici in presenza di altri corpi elettrizzati, con particolare attenzione al caso del coibente inserito fra i due conduttori di un condensatore, come pure pubblicò altri notevoli lavori sulla possibilità di avere fenomeni di polarizzazione dei dielettrici, ipotesi quest'ultima già avanzata da Amedeo Avogadro, quindi ripresa e ulteriormente sviluppata da G. Belli, M. Faraday e soprattutto da Mossotti ma da un punto di vista più teorico che empirico, lasciando così incomplete numerose questioni a cui risposero, con acume e originalità, i lavori sperimentali del Felici, che si protrassero fino agli ultimi anni della sua attività di ricerca, portando, così, la polarizzazione dei dielettrici da semplice ipotesi *ad hoc* a realtà fisica valutabile sperimentalmente, confermando però molti aspetti teorici della teoria fisico-matematica del Mossotti.

Si ricordano poi alcune memorie pubblicate fra gli anni '60 e i primi anni '70 sulla determinazione della forma geometrica di alcune superfici di liquidi modellate per l'azione di forze di capillarità. Quindi, verso la metà degli anni '70, per lo studio della legge di smagnetizzazione di certi materiali ferromagnetici (caso più complicato rispetto a quello di sostanze diamagnetiche e paramagnetiche), il Felici pensò ed ideò, assieme al tecnico del laboratorio fisico Mariano Pierucci, un apposito interruttore produttore un'intermittenza rapida (ad intervalli di ampiezza pari a 1/20.000 secondi) nelle correnti indotte fra due solenoidi concentrici in cui inserire un cilindretto di ferro (FIG. 2). Ad un solenoide era collegata una pila, all'altro un galvanometro, cosicché, chiudendo il circuito della pila, il ferro si magnetizzava, inducendo così una corrente elettrica nell'altro solenoide collegato al galvanometro. L'interruttore approntato dal Felici, con il supporto tecnico del Pierucci, permetteva così di regolare appositamente i tempi di apertura e chiusura di questi due circuiti in modo da poter stimare nonché regolare i tempi di magnetizzazione e smagnetizzazione del tondino di ferro, quindi valutare le intensità delle varie correnti in gioco, le quali obbedivano a leggi della forma $A \exp(-at)$ con A ed a costanti numeriche.

Queste esperienze, che verranno peraltro riprese ed estese da alcuni allievi del Felici, possono considerarsi storicamente come antesignane delle successive ricerche e teorie sulla smagnetizzazione dei materiali ferromagnetici, le quali sono principalmente basate proprio sull'uso di campi magnetici alternati di intensità decrescente, resi quest'ultimi necessari dall'occorrenza di fenomeni d'isteresi magnetica.

Infine si rammentano alcuni lavori minori, compiuti fra gli anni '70 e '80, relativi a esperienze di laboratorio: *i)* per lo studio del potenziale di un conduttore in movimento sotto l'influenza di un campo magnetico; *ii)* sulla teoria della propagazione dell'elettricità in una sfera conduttrice omogenea quando gli elettrodi sono collocati sulla sua superficie; *iii)* per investigare altri aspetti fenomenologici dell'induzione elettromagnetica; *iv)* per lo studio di fenomeni elettromagnetici di fluidi in movimento; *v)* sulle "forze amperiane"; *vi)* per lo studio delle vibrazioni delle corde, nonché si ricordano pure alcune memorie su tematiche di termodinamica, acustica ed ottica, molte delle quali costituirono l'argomento di tesi dei suoi studenti ed allievi.

Da un esame retrospettivo dell'elenco dei suoi lavori si rileva quale particolare attenzione il Felici riponesse sul precipuo ed indissolubile rapporto fra matematica e fisica, visto non da una prospettiva assiomatica di tipo fisico-matematico, quale fu quella assunta per esempio da Neumann, Weber e Lenz nelle loro ricerche sull'induzione elettrodinamica, ma piuttosto da una prospettiva più propriamente fisico-teorica, prendendo le mosse da ipotesi teoriche aventi una chiara e precisa base sperimentale e non formulate in modo aprioristico. Questa posizione epistemologica del Felici probabilmente scaturì da una fruttuosa combinazione fra gli insegnamenti ricevuti dal Mossotti e dal Matteucci, da cui maturò un sicuro, fermo e profondo convincimento nel necessario connubio fra matematica e fisica, condotto più secondo le prescrizioni galileiane della fisica moderna piuttosto che dalla prospettiva assiomatica tipica della fisica matematica.

Felici rinnovò la tradizione galileiana nei suoi più tipici aspetti metodologici di studio, di ricerca e di sperimentazione, a partire soprattutto dai lavori sull'induzione elettromagnetica, e con ciò fece nascere una vera scuola di Fisica pisana accanto alla contemporanea nascita di un'altrettanto importante scuola di Fisica matematica – quella di Enrico Betti e Vito Volterra, i quali molto risentirono comunque l'influsso di Felici.

A fronte del limitato numero di pubblicazioni del Felici (quasi tutte però aventi un carattere di compiutezza), non può essere certo dimenticata, accanto alla figura del ricercatore, quella di docente: invero per molti anni, nell'Italia di quel periodo, come scrive Pochettino: «non vi fu che un solo Istituto fisico, quello di Pisa, diretto da Felici, e la scuola non poteva essere migliore perché da costui, del pari eminente sia dal punto di vista matematico che dal punto di vista sperimentale, la gioventù poteva ben imparare a conoscere il vero modo di lavorare nel campo della fisica; temperare cioè in giusta misura l'elemento teorico con quello sperimentale onde l'inopportuno prevalere eccessivo dell'uno sull'altro non conduca o alla metafisica astrusa o all'empirismo disordinato».

Nonostante ciò, il pionieristico lavoro del Felici non ebbe un diretto seguito accademico a Pisa, in parte per motivazioni e disposizioni personali del Felici stesso, che comportarono una sorta di diaspora dei suoi allievi in molte parti del Paese, con una conseguente discontinuità in qualche modo sanata soltanto nel 1917 con la chiamata di Luigi Puccianti, che tenne sempre in grande stima l'insegnamento del Felici, i suoi studi e le sue ricerche. Egli attesta esplicitamente che, proprio con Felici, la scuola di Fisica pisana raggiunse il più alto livello della ricerca scientifica, rinnovando così la grande tradizione galileiana. Rammentando la famosa massima del *Saggiatore* [«la filosofia è scritta in questo grandissimo libro...»], Puccianti scrive che

...forse nessun fisico moderno come il nostro si è mai conformato con altrettanta severità alla celebre massima di Galileo. [...] Ma se facile è ammirare la profonda verità contenuta in questa massima, e vedere in essa una norma generale e invariabile del metodo, assai difficile è seguirla rigorosamente, senza lasciarsi scoraggiare dalla astrattezza logica di quegli enti puramente matematici, o lasciarsi indurre a trasformarli con la fantasia (come troppo spesso è avvenuto nella storia della scienza) in enti fisici fittizi, attribuendo loro una concretezza immaginaria, che dia nel trattarli la confortante illusione di trattare cose reali: dal che appunto rifuggiva la mentalità di R. Felici, che [...] pur sedendo nella cattedra di fisica sperimentale non fu meno matematico che sperimentatore.



FIG. 1 – Riccardo Felici (1819-1902)

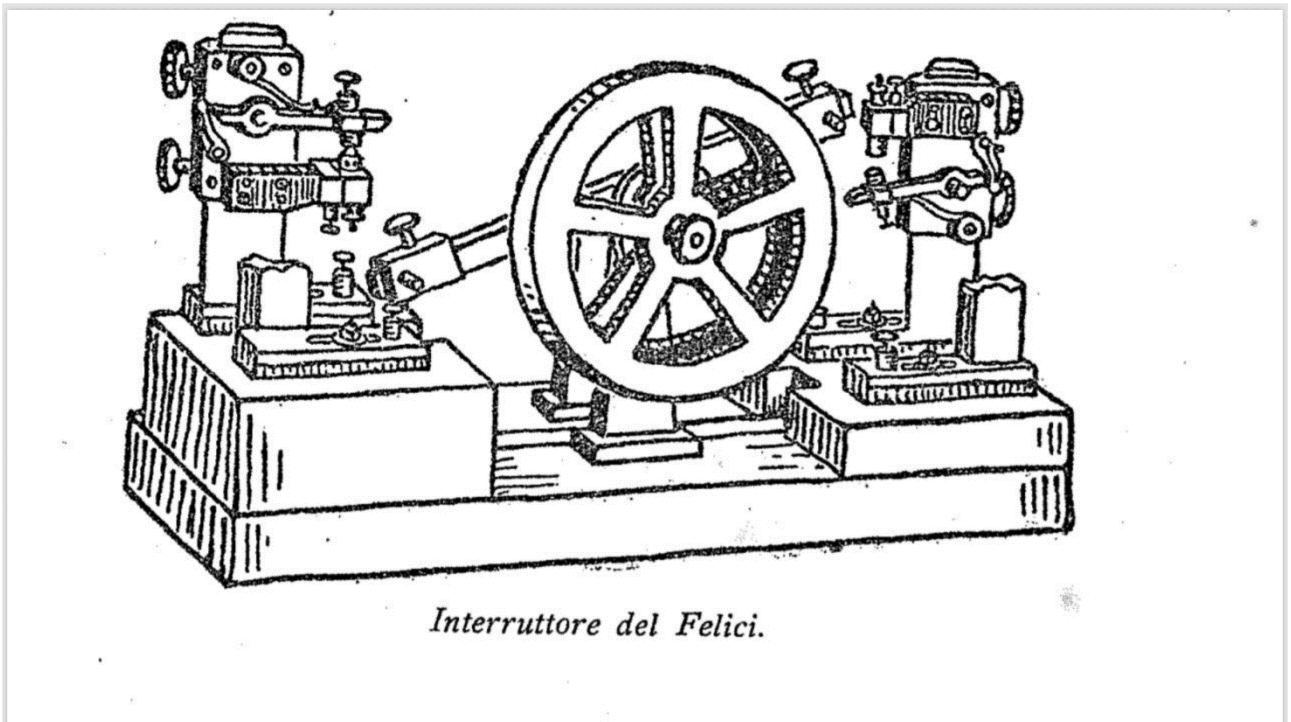


FIG. 2 – Interruttore del Felici (immagine tratta da «Notizie sull'Istituto di Fisica dello Studio Pisano»)