

F Della Torre, A.P. Morando, *Reminiscenze postferrarisiane negli scritti di un fisico matematico: Luigi Donati elettrotecnico a Bologna*, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C21.1-C21.5.

## REMINISCENZE POSTFERRARISIANE NEGLI SCRITTI DI UN FISICO MATEMATICO: LUIGI DONATI ELETTROTECNICO A BOLOGNA

FRANCESCO DELLA TORRE, ADRIANO PAOLO MORANDO  
Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettrotecnica

Sottolineate le incertezze vissute dalla scuola elettrotecnica italiana negli anni immediatamente successivi alla scomparsa di Ferraris, se ne richiamano, riconducendole ai limiti della cultura e dell'imprenditoria umbertina, le cause. In un contesto internazionale di grandi rivolgimenti e febbrili ricerche, in cui la scienza elettrica si avviava ormai verso il suo attuale assetto postmaxwelliano, l'Italia, quasi aderendo a una sua forma di isolazionismo, privilegiò la revisione e il perfezionamento formale di contributi già acquisiti. Un'eccezione di particolare rilievo fu in questo senso la figura del fisico matematico Luigi Donati. Sorretto da una formazione e da una conoscenza di particolare profondità e ampiezza, egli seppe, rivedendo teorie già note, pervenire a una loro formulazione di particolare rigore e generalità. In tale ambito assume particolare rilevanza, quale esito della collaborazione tra un fisico matematico e un ingegnere, il "Trattato di Elettrotecnica" che egli scrisse con Giuseppe Sartori.

### 1. LA "SCUOLA" FERRARISIANA: ALL'INDOMANI DI FERRARIS

Con l'improvvisa scomparsa di Galileo Ferraris, l'elettrotecnica italiana, che pure aveva avuto nello scienziato piemontese uno degli artefici della moderna ingegneria elettrica, venne a trovarsi in una posizione di stallo. Negli anni di inizio secolo, in attesa di figure di rilievo, tra le quali in particolare G. Giorgi, la produzione nazionale non recò infatti contributi di rilievo.

A livello internazionale – è questo, in particolare, il caso di C.P. Steinmetz – furono invece proprio questi, a cavallo tra i due secoli, gli anni cruciali del grande rivolgimento e della febbrile ricerca. Precisata la propria posizione metodologica rispetto al pensiero maxwelliano, la scienza elettrica di quel periodo andò infatti elaborando i propri fondamenti. Con modalità che, se non andarono esenti da sofferenze e contraddizioni, ebbero comunque il merito di allineare, in una comune e feconda collabora-



fig. 1: Luigi Donati (Fossombrone, Pesaro, 4 aprile 1846 – Bologna, 7 marzo 1932)

zione, tecnici, fisici e matematici del calibro di Steinmetz, Kelvin ed Heaviside.

La scuola italiana di quegli anni, espressa da due discepoli dello stesso Ferraris, Moisè Ascoli e Guido Grassi, si limitò invece a una produzione di non elevato profilo, avente essenzialmente come obiettivo il perfezionamento formale di idee e metodi già acquisiti da altri studiosi. Unica eccezione fu Riccardo Arnò – l'allievo prediletto di Ferraris – una figura per molti aspetti ancor oggi controversa e alla quale certo non fu consentito di dare il meglio di sé.

Le ragioni di questo ristagno sono molteplici. Esse riportano innanzitutto alla prematura scomparsa di Ferraris, cui la morte improvvisa sottrasse il tempo necessario per poter dare sufficiente impulso alla sua scuola di pensiero. Va poi tenuta in conto, in una forma cui, in quegli anni umbertini, non risultarono estranei lo scollamento tra scienza e tecnica e il ruolo oscurantista giocato dalla fisica tecnologica nei riguardi della *Dynamical Theory*, la presenza di un'industria ben lungi dall'essere in grado, come accadde invece alla General Electrics di Steinmetz, di pilotare la ricerca universitaria di settore verso l'innovazione.

Vi furono certo, è questo il caso di Levi Civita, fisici matematici che ebbero, seppur episodiche, delle interazioni con l'industria. Ma costoro, intenzionalmente, rimasero fisici matematici prestati alla tecnica. A differenza di quanto accadde con Steinmetz, nessuno di loro scelse mai di diventare ingegnere.

## 2. UN'ECCEZIONE: LUIGI DONATI

Un'eccezione di grande rilievo fu al riguardo Luigi Donati (fig. 1). Nato nel 1846 a Fossombrone, in provincia di Pesaro, da una famiglia della piccola nobiltà locale, a diciassette anni egli consegue la licenza tecnica. L'anno successivo, con un incarico che mantiene fino al 1867, riceve, in quella stessa Scuola Tecnica, la nomina a professore di Italiano, Storia e Geografia. Questa sua prima esperienza didattica sarà cruciale perché sarà già sufficiente a far nascere in Donati la vocazione per l'insegnamento e a evidenziare quello che, in seguito, sarebbe stato il suo particolare modo di rapportarsi con gli allievi.

Conseguita nel frattempo la licenza liceale, nel 1867 è allievo presso l'Ateneo pisano. In quegli anni di studio severo, ha come maestri Betti, Felici e Dini. Malgrado il suo personalissimo approccio allo studio, che lo porterà sempre a privilegiare talune materie e a disertarne altre da lui giudicate non interessanti, egli ha ben presto modo di farsi apprezzare da questi suoi docenti; in particolare dal Dini stesso e certo dal Felici che, in più occasioni, non manca di elogiarne esplicitamente il puntiglioso lavoro svolto.

Consegue la laurea nel 1871 e, grazie ad una borsa di studio, si perfeziona in Fisica Matematica alla Normale. La sua tesi di perfezionamento, dal titolo "Sulla misura elettrostatica delle forze elettromotrici d'induzione. Studi Sperimentali", elaborata sotto la guida di Felici e valutata con lode, costituisce già di fatto il suo primo importante lavoro scientifico.

Nel 1873, sotto la guida di Felici, Donati inizia il suo assistentato di laboratorio. È l'avvio di una collaborazione e di un'amicizia che eserciteranno un'influenza decisiva sull'uomo e sullo scienziato marchigiano. Pur incline allo studio delle matematiche pure, Donati finirà con il dedicarsi in maniera definitiva alla fisica.

## 3. DONATI, IL "MISTICO DELLA SCIENZA"

Nel 1876 diviene Straordinario di Fisica Speciale al Regio Istituto Tecnico Superiore di Milano; l'anno successivo, in quella che diventerà la sua città di elezione, è docente di Fisica Tecnica alla Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna.

Nell'insegnamento manterrà sempre immutato il suo entusiasmo giovanile verso la Scienza; avrà però cura, al fine di non essere tacciato di scarsa severità nella didattica, di tenere gelosamente per sé tale sentimento. Accadrà così che solo pochi intimi finiranno per conoscerne correttamente i reali meriti. Non per questo, malgrado l'indubbia severità dell'esposizione, egli non saprà accendere, negli studenti meglio preparati e più sensibili, l'entusiasmo più vivo e sincero.

Pur conscio del suo valore e delle sue capacità, non ne menerà mai vanto, divenendo quasi un "mistico della Scienza", come di lui dirà Giuseppe Sartori, suo collega ed amico, tenendone, il 22 maggio 1932 a nome della Scuola di Ingegneria, l'elogio funebre.

#### 4. «*MULTUM IN PARVO*»: LA BIBLIOGRAFIA SCIENTIFICA

Una ripartizione per aree tematiche distinte dell'opera di Donati evidenzia i suoi contributi alla teoria dell'elasticità, alla teoria dei campi vettoriali, all'elettrologia e all'elettrotecnica. Non meno importanti sono poi i suoi studi sui raggi X e sulla relatività.

Dopo alcuni iniziali lavori sperimentali riguardanti questioni elettrotecniche<sup>1</sup>, Donati pubblica, tra l'88 ed il '94, tre fondamentali lavori sull'elasticità. A essi, nel 1901, fa seguito una dispensa litografata dal titolo "Introduzione teorica al Corso di Fisica Tecnica". Di particolare rilievo, in questi contributi, è l'estensione ai solidi elastici<sup>2</sup> dei teoremi di Menabrea e di Castigliano e la formalizzazione di una vera e propria teoria matematica dell'elasticità, in cui rivestono un ruolo fondamentale i legami di questa con la meccanica classica. Nella dispensa di Fisica Tecnica, egli presenta inoltre, trattando esaustivamente sia la statica sia la dinamica elastiche, un'originale ricerca sul potenziale elastico.

Della seconda area di interesse fanno parte due memorie fondamentali, del 1897 e 1898, alle quali vanno poi aggiunte alcune opere "minori". In esse il Donati analizza a fondo i concetti relativi alla teoria dei campi vettoriali. In particolare, dopo aver richiamato alcune note proprietà relative ai vettori e ai loro prodotti scalari e vettoriali, definisce il concetto di gradiente, divergenza e rotore e di derivata vettoriale rispetto a un punto (omografia). Con quest'ultimo concetto formalizza poi il calcolo del gradiente di un prodotto scalare e il rotore di un prodotto vettore, ricavando infine le necessarie formule integrali per il passaggio da integrali di spazio o di linea a integrali di superficie. In seguito analizza l'applicazione del teorema di Clebsch al caso elettromagnetico, includendovi anche i casi – non infrequenti nelle applicazioni pratiche – in cui si presentano superfici di discontinuità per i campi.

L'area certamente più importante fra le tre principali è quella relativa all'elettrologia e all'elettrotecnica. Essa comprendente infatti circa trenta contributi, che vanno dallo studio dei sistemi di unità di misura elettromagnetiche, all'analisi di quelli che oggi vengono indicati come "problemi di compatibilità elettromagnetica", a un'attenta e acuta rivisitazione della teoria magnetica di Ampère. Rinviando al seguito per quanto attiene al suo *Trattato di Elettrotecnica* scritto in collaborazione con G. Sartori, occorre ricordare almeno due risultati fondamentali. Il primo è costituito

---

<sup>1</sup> Donati, Luigi (1874). *Sulla misura elettrostatica delle forze elettromotrici d'induzione* (Tesi di Laurea di Magistero). Donati, Luigi (1875a). *Sullo stato variabile delle correnti elettriche*. Donati, Luigi (1875b). *Sul magnetismo temporaneo di una sbarra di ferro*. Donati, Luigi (1886). *Su un nuovo accumulatore*. Donati, Luigi (1887). *Su di una batteria per correnti di grande intensità*. Donati, Luigi (1887). *Su di un nuovo elettrometro*. In particolare, è opportuno notare che nel lavoro del 1875 sulle correnti alternate il Donati introdusse il modo per prevedere se un fenomeno risulti continuo o oscillatorio a seconda che le radici della sua equazione caratteristica siano reali o complesse coniugate.

<sup>2</sup> Fino al chiarimento di Donati, tali teoremi venivano applicati soltanto alle travature reticolari e ai sistemi incastrati con vincoli esterni in eccesso.

dall'estensione, compiuta avvalendosi del calcolo simbolico e di metodi grafici, del teorema di Thevenin e del principio di reciprocità al caso di regime sinusoidale. Il secondo, contenuto in "Note sul coordinamento dei fatti e delle relazioni fondamentali dell'elettromagnetismo" (1909), è una particolare visione della Teoria di Maxwell, caratterizzata dalla partizione delle forze elettrica e magnetica in due contributi: la *forza impressa*, di origine esterna, e la *forza di rimando*, di origine interna e associata senza eccezione a un potenziale.

Emerge dall'opera del Donati il carattere chiarificatore del Maestro: Donati non "costruisce" nuove teorie, né cerca estrapolazioni fantasiose da risultati già noti. Elabora risultati già acquisiti da altri, dandone una diversa interpretazione e rendendoli, nel contempo, più accessibili e generali. Ispirata al suo motto "*Multum in parvo*", la sua cultura, singolarmente ampia e profonda, lo porta infatti a lavorare sempre in maniera generalizzata e mai sul caso particolare. E, in ogni caso, con forte carattere di sintesi.

## 5. LA CHIARIFICAZIONE DIDATTICA: IL TRATTATO DI ELETTROTECNICA

Nel 1902 pubblica "Introduzione elementare all'Elettrotecnica", un «saggio – secondo le parole di Donati stesso – *ad indirizzo didattico*» contenente le lezioni da lui tenute per il corso speciale di Elettrotecnica per capitecnici di artiglieria della Regia Scuola di Ingegneria. In realtà in esso compare, forse per la prima volta, tutta l'elettrostatica interpretata mediante una mirabile generalizzazione del teorema di Gauss.

Ventisei anni dopo la sua prima pubblicazione, tale "dispensa" dà vita, redatto con la collaborazione del prof. Giuseppe Sartori, al *Trattato di Elettrotecnica*. In esso la formazione teoretica di Donati si integra con l'esperienza professionale, maturata nelle macchine e negli impianti, di Sartori. Fortemente influenzato, per la prima volta in Italia, dall'opera di Steinmetz, tale trattato costituirà in seguito una pietra miliare per l'università italiana.

L'introduzione, scritta da Sartori, rileva l'influenza di Steinmetz, con la citazione da Kelvin con cui il libro inizia: «*Niente può essere più fatale al Progresso della Scienza che l'eccessiva confidenza sul simbolismo matematico, perché lo studioso può essere indotto a seguire la via più agevole e considerare la formula, non il fatto o la realtà fisica*». E gli autori, coerentemente con tale massima, inseriscono nel trattato, per ciascun argomento esposto, un paragrafo finale di Esercitazioni Numeriche. In essi trattano esempi applicativi riguardanti le teorie presentate nonché esempi di disegno di massima delle varie macchine analizzate. Questi ultimi, in particolare, sono derivanti da progetti di officine elettromeccaniche operanti all'epoca.

Espressione di una perfetta fusione tra fisica matematica e ingegneria scientifica, nell'opera viene portata avanti l'indagine che, parallelamente, aveva impegnato lo stesso Ferraris. Sono infatti trattati, con il medesimo rigore fisico matematico, alcuni dei tipici temi ferrarisiani: teoria dei campi, teoria dei circuiti, approccio energetico, effetto pelle, trasformatore, macchina asincrona.

## Conclusioni

Calata in un contesto storico e socio-politico segnato, per la scuola elettrica italiana, da una fase di ristagno, la figura di Luigi Donati costituisce un caso per molti aspetti



fig. 5: frontespizio del Trattato di Elettrotecnica di Donati-Sartori

non usuale. Con i suoi studi, in controtendenza con gli approcci fisico-tecnologici propri dell'epoca, egli seppe dare una nuova sensibilità e il necessario rigore al "fare scienza elettrica".

Il testo si segnala, a tutt'oggi, per due aspetti cruciali. Nacque innanzitutto dalla collaborazione di un fisico matematico con un tecnico. Fornì, caso non certo usuale per gli elettricisti dell'epoca, una *Dynamical Theory* a misura di ingegnere. Mise infine a disposizione, in una forma aggiornata completa, la conoscenza applicativa delle macchine e degli impianti.

Per la prima volta, a livello didattico e formativo, il vuoto lasciato da Ferraris veniva didatticamente colmato. Per ora, a differenza di quanto accadeva con Steinmetz, le due figure del fisico matematico e dell'ingegnere restavano distinte. Per non pochi anni: solo con Giorgi, infatti, la fusione delle due figure in una sola persona sarebbe stata, dopo Ferraris, nuovamente possibile.