

*La nascita dell'ingegneria elettrica in Europa**

Introduzione

Come è ben noto, impetuoso e rapido fu lo sviluppo dopo il 1880 circa dell'industria elettrotecnica, con la conseguente necessità di disporre di una nuova figura professionale, che è appunto l'ingegnere elettrotecnico.

I tipi precedenti di formazione non potevano soddisfare quest'esigenza, particolarmente rilevante in un momento nel quale l'approccio empirico doveva essere sostituito da un approccio razionale.

Scopo di questa nota è appunto quello di presentare alcuni elementi di riflessione, sia sullo sviluppo delle scienze elettriche sia sulle peculiari forme sia questo nuovo tipo di formazione, per il quale non esistevano precedenti, assunse in alcune nazioni.

Per vari motivi le nazioni considerate sono state Belgio, Francia, Germania, Inghilterra, Italia, Russia e Stati Uniti.

Nella prossima sezione al fine di dare un'idea della vastità dei compiti che attendevano l'ingegnere elettrotecnico, non ultimo quello di costruire la scienza e la tecnologia che poi avrebbe dovuto applicare, si presenterà in forma molto sintetica lo stato delle conoscenze scientifiche e tecniche verso il 1875, quando si verificò uno sviluppo rapidissimo di una vera e propria industria che serviva un mercato già complessi-

vo, con oggetti già "standardizzati"¹ ed unificati, anche sulla base di un nuovo sistema di misura. Mancava ancora quella figura professionale specifica che oggi chiamiamo ingegnere elettrotecnico.

Nella terza sezione si presenteranno alcuni dei criteri che presiedono alla nascita di una scuola d'ingegneria in un certo momento, in una certa situazione anche sociale, in una città, mentre nella quarta sezione si considereranno otto esempi nazionali, due dei quali italiani.

La quinta sezione verifica come e se i criteri di carattere generale presentati nella sezione tre si applicano ai vari vasi, mentre la sesta ed ultima sezione presentano alcune osservazioni e conclusioni.

I numeri in apice si riferiscono alle note a piè di pagina raccolte alla fine del testo, mentre i numeri tra parentesi quadre i riferiscono alla bibliografia che è ordinata seguendo le chiamate nel testo.

La nota è basata soprattutto sugli atti di due congressi [1,2] ed altre pubblicazioni curate dalla A.H.F.E: (Association Historique Française pour l'Electricité), su numerosi testi coevi di elettrotecnica o illuminotecnica, esistenti presso la Biblioteca dell'Istituto e sul materiale raccolto presso l'I.E.N. durante l'organizzazione di due convegni rispettivamente su Ferraris [3] e su Giorgi [4] e su articoli che verranno via via citati.

Un panorama delle cognizioni scientifiche e delle realizzazioni tecniche verso il 1875

Per valutare la situazione delle discipline elettriche quando, verso il 1880 si formano i primi ingegneri, si presenta un panorama sommario delle conoscenze:

- Conoscenze teoriche: tutte le leggi che usiamo ancora oggi,
- Operatori: fisici, ingegneri, (in proporzioni diverse), diplomati in scuole professionali, tecnici, ma mancano ingegneri con una specifica preparazione professionale,
- Strumenti: Voltmetro, amperometro, ohmetro, wattmetro, ecc,
- Macchine: dinamo, alternatori, trasformatori, motori con induzione, forni elettrici, elettromagneti,
- Applicazioni: Trasmissione di energia a distanza, telefono, trazione elettrica, elettrochimica, telegrafia, telefonia, galvanoplastica, elettrometallurgia, elettrodomestici.
- Metrologia elettrica; alla fine del secolo si formano il BIPM -Bureau International Poids et Mesures-Ente Internazionale-², il PTR (Physikalisch-technisches Reichsanstalt oggi PTB-Bundesanstalt, in Germania), il NPL (National Physical Laboratory) in Inghilterra, il NBS National Bureau of Standards—oggi NIST— National Institute for Science and Technology, e le prime organizzazioni internazionali tecnico-scientifiche, e negli Stati Uniti, l'Istituto Mendelejeff in Russia e l'UIT e IEC.

Come e perché nasce una scuola di ingegneria elettrotecnica

Sono innanzi tutto proposte alcune delle condizioni al contorno, ovviamente non tutte necessarie e presenti in modo diverso, che presiedono alla nascita della figura dell'ingegnere elettrotecnico.

- esistenza, nel luogo, di un "esperto" sapiente e riconosciuto da altri,
- esistenza di bisogni locali, ad esempio:
 - o un'industria che nasce,
 - o nuovi campi di applicazione,
 - o necessità di creare od amalgamare conoscenze,
 - o un declino industriale e sociale da combattere.

Inoltre sono opportune o necessarie:

- o l'esistenza di una qualsiasi struttura, possibilmente accademica, che possa "riconoscere" in qualche modo gli studi effettuati ed ottenerne anche il riconoscimento da terzi,
- o la disponibilità di fondi adeguati, di un mecenate od una condizione di emergenza che convinca dei politici illuminati ad investire in formazione.

I casi che saranno esaminati sono raccolti nella tabella seguente.

BELGIO	Institut Electrotechnique Montefiore	Liegi 1883
FRANCIA	Supélec	Paris 1894
GERMANIA	neue Technische Hochschulen	Darmstadt 1883 Karlsruhe 1896
INGHILTERRA	numerose e diverse istituzioni	Londra 1838 - 1908
ITALIA	Regio Museo Industriale e Scuola Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba	Torino 1884 Milano 1886
RUSSIA	almeno otto scuole d'elettrotecnici gli ingegneri "galvanici"	San Pietroburgo e altrove dal 1840
STATI UNITI	Massachusetts Institute of Technology Cornell University	Cambridge 1882 Ithaca 1883

Le condizioni cui si è fatto cenno, al punto tre, verranno riprese nel punto cinque.

Alcuni casi nazionali

Per i casi indicati nella precedente sezione, si forniscono alcuni dati e si indicano fonti bibliografiche. Si presti attenzione che la data indicata non indica necessariamente l'inizio di un corso, ma la data nella quale nel manifesto degli studi compare un corso d'applicazioni della elettricità.

4.1 BELGIO - Institut Électrotechnique Montefiore - Liegi 1883

Istituzione privata per l'insegnamento dell'elettrotecnica, che ebbe risonanza mondiale per la qualità di docenti e d'attrezzature e per la severità dell'insegnamento.

È la prima istituzione del mondo creata appositamente per la formazione completa e in altre parole teorica e sperimentale d'ingegneri elettrotecnici. Offriva due corsi, uno di un anno per ingegneri d'altre discipline che desiderassero perfezionarsi, uno di quattro anni.

Numerosi gli allievi, la metà dei quali stranieri provenienti da oltre quaranta Nazioni: i laureati italiani ammontano, prima del 1915, ad oltre il 15% del totale.

Georges Montefiore-Levi (1830-1906), di origine italiana, trasferitasi in Inghilterra e poi in Belgio, verso il 1870 inventò e brevettò metodi di produzione ed applicazioni del bronzo fosforoso, che sostituì, in tutto il mondo, il rame od il ferro usati per le linee telegrafiche. I proventi dei brevetti vennero investiti nell'Istituto.

4.2 FRANCIA - Ecole Supérieure d'électricité - Supélec - Parigi 1894

Istituzione privata su base internazionale, emanazione della Société internationale des électriciens, la cui costituzione fu promossa durante l'Esposizione Internazionale d'Elettricità a Parigi del 1881. In pratica è sempre stata una struttura francese, ma con numerosi caratteri d'originalità; con il passare del tempo, si è progressivamente integrata nel sistema di ricerca e d'insegnamento francese., ma solo negli anni 1980 e non ancora del tutto.

Elementi caratteristici sono:

- reclutamento in base ad un esame severo e molto selettivo,
- sviluppo di scuole anch'esse private, ma separate da Supélec, per la preparazione all'esame d'ammissione,
- una struttura di insegnamenti con conoscenze di base ed applicazioni, seguita da seminari e conferenze su aspetti aggiornati,
- metà tempo tra laboratorio ed officina,
- formazione approfondita in misure elettriche,
- abolizione di gerarchie tra scuole, ma l'esame d'ammissione è diversificato in funzione delle scuole di provenienza e viene rispettata all'interno una separazione tra Scuole d'ingegneri e Università
- strettissimi collegamenti con l'industria.

Supélec é tuttora viva e vegeta in Francia, nel senso che i vari Ministeri le affidano frequentemente anche delle operazioni che con una espressione in-

glesi potrebbero essere definite di “scouting” per esplorare le tecnologie che si affacciano e mettere a punto programmi di attività didattica sempre sulle nuove tecnologie o metodi, anche per profili di terzo livello.

4.3 *GERMANIA - Technische Hochschulen*

- Darmstadt 1883

- Karlsruhe 1896

In Germania, nel periodo anteriore al 1914, esistevano nove Technische Hochschulen, collegate in vario modo con le Università locali, tutte con almeno una cattedra su una materia “elettrica”, dei *curricula* definiti e attività di laboratorio. Nel caso di Darmstadt e Karlsruhe si aveva un vero e proprio Dipartimento d’Elettrotecnica e negli altri casi un Istituto d’Elettrotecnica inserito nel Dipartimento d’Ingegneria meccanica od in quello di Fisica.

Il corso durava solitamente quattro anni ed ogni scuola affermata aveva almeno tre docenti d’Elettrotecnica: uno di teoria d’elettrotecnica, uno di macchine elettriche ed uno d’impianti e misure.

Gli allievi nel periodo 1890-1914 furono 5000, metà dei quali stranieri.

Molto interessante la composizione del corpo docente; all’inizio erano prevalentemente fisici che venivano dalle Università, senza esperienza industriale; dopo il 1900 diminuisce il numero dei fisici ed aumenta considerevolmente la proporzione di docenti con almeno alcuni anni d’esperienza industriale.

Per quanto riguarda le materie trat-

tate, e considerando il periodo 1890-1914, gli insegnamenti di matematica e scienze, diminuirono dal 30% al 20%, ingegneria meccanica rimase stabile a circa il 45%, mentre macchine elettriche passò dal 18% al 30%.

L’insegnamento era di alta qualità come pure la preparazione richiesta, lo sviluppo della industria elettrotecnica tedesca nel periodo anteriore alla guerra mondiale, con AEG, Bosch, Siemens ne è la prova. Oltre ad essere motivati, disciplinati ed abili tecnicamente, molti ingegneri, soprattutto quelli “diplomati” parteciparono con adesione ai metodi di produzione industriale e di relazioni umane all’interno delle Aziende, promossi ad esempio dalla Siemens.

4.4 *INGHILTERRA - numerose e diverse istituzioni*

Si presti attenzione al fatto che in inglese un “ingegnere” è solitamente un tecnico che non ha una laurea. Alcune notizie ed osservazioni:

- attorno il 1890 avvenne uno sforzo rilevante per la formazione d’elettrotecnici,

- molta formazione avveniva senza fornire alla fine degli studi, un titolo o una qualificazione formale,

- grande impatto alla metrologia elettrica, a volte con distorsioni, imposte a volte dal National Physical Laboratory,

- molte scuole professionali sono “non pubbliche” o sono organizzate dalle Amministrazioni comunali o dagli Albi professionali,

- anche i Dipartimenti di Fisica

adottano un approccio empirico, se vogliono attirare allievi,

- gli allievi che non sono interessati a divenire dei fisici "completi", possono scegliere le materie da seguire; ad esempio nei corsi serali non frequentavano le lezioni di termodinamica od ottica,

- agli allievi importava alla fine, avere una lettera di presentazione da un Docente,

- dal 1875, salvo per quanti fossero interessati nel telegrafo o nel telefono, la Fisica inglese ufficiale, quella insegnata nelle Università diventa sempre più astratta e teorica

- i grandi Istituti, come l'Institution of Electrical Engineers, IEE-, restavano sospettosi del mondo accademico; la IEE riconobbe, e solo parzialmente, i titoli rilasciati dall'Università solo nel 1914.

In ogni caso numerose Università e "Colleges" avviarono studi di Elettrotecnica, come risulta dalla tabella:

Istituzione	anno
University of Durham	1838
King's College, Londra	1840
University College, Londra	1841
Owens College, Manchester	1868
Royal Indian Engineering College	1871
University of Cambridge	1875
Yorkshire College, Leeds	1876
University College, Bristol	1878
Mason College, Birmingham	1882
Firth College, Sheffield	1884
Finsbury College, Londra	1884
Nottingham University College	1885
University College, Liverpool	1885
Central Institution, Londra	1885
University College, Bristol	1886
Newcastle College of Physical Technology Science	1891
University of Oxford	1908

4.4 ITALIA due Istituzioni, con diversa origine e struttura: il Regio Museo Industriale e Scuola di Applicazione, Torino e la Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba (IECE), Milano 1886

La nascita degli insegnamenti di elettrotecnica a Torino presso il Regio Museo Industriale verso il 1890 è stata descritta più volte e nel complesso è ormai ben definita. Inoltre alla Scuola torinese è dedicata un'altra nota in questa riunione napoletana della A.I.S.I., nella quale si troveranno i riferimenti bibliografici necessari.

La scuola di ingegneria di Milano ebbe origine, scopi ed organizzazione molto diversi da quelli del Regio Museo Industriale di Torino.

La Istituzione Elettrotecnica di Milano fu promossa e formata con capitali privati.

L'industriale Carlo Erba, attivo nel settore chimico, offrì nel 1886 la somma di 400.000 lire per l'avvio di una scuola che aveva lo scopo di formare elettrotecnici di elevata qualità per le Industrie.

La istituzione doveva mantenersi con gli utili del 3,75% del capitale versato; gli allievi venivano selezionati e dovevano aver raggiunto il quinto anno o l'ultimo anno di Ingegneria. Il numero di allievi venne limitato attorno 10-12 all'anno e la Scuola era concentrata sugli aspetti pratici.

La IECE fa oggi parte del Politecnico di Milano.

Nel 1887 gli insegnamenti, gli insegnanti ed il carico didattico settimanale in ore erano:

materie		docente	
macchine elettromeccaniche		R.Ferrini	2
misure elettriche		L.Zunini	4
elettrotecnica		R.Arnò	3
laboratorio di misure		L.Zunini	12

4.6 RUSSIA *Gli ingegneri "galvanici" e le otto scuole per Elettrotecnici a San Pietroburgo e altrove*

Tutta peculiare la formazione in Russia degli ingegneri elettrotecnici: è una storia affascinante nel senso che gli Istituti e gli insegnamenti venivano "ritagliati" per coprire determinata una determinata esigenza specifica.

Queste le caratteristiche salienti della formazione di elettrotecnici:

- scuole orientate verso singole applicazioni prevalentemente militari (mine elettriche sottomarine fisse³, impianti elettrici nelle navi, telegrafi militari, per le ferrovie, per la amministrazione, ecc.), senza collegamenti interni tra le varie scuole,
- l'ossessione per il segreto, rendeva in pratica impossibile la circolazio-

ne di notizie, risultati od uomini,

- uno stato burocratizzato, centralizzato, militarizzato all'estremo,
- brillanti risultati, alternati a stagnazioni scoraggianti,

- decisioni lentissime,
- dimensioni immani del Paese,
- priorità alle applicazioni militari immediate,

- l'insegnamento tecnico civile e scollegato da quanto avveniva in Europa,
- l'insegnamento di elettrotecnica applicata si avvantaggia rispetto alle componenti matematiche e teoriche,

- per certi casi imperava una rassegnazione atavica: quando verso il 1870 finì il contratto di 12 anni con i fratelli Siemens per la costruzione e la gestione di 30.000 km di linee con 3000 stazioni, non un solo tecnico era stato preparato per gestire la rete, pur lavorando in Russia elettricisti della taglia di Jacobi e Schilling.

Le otto scuole russe che offrivano una preparazione e dei titoli analoghi a quelli degli ingegneri elettrotecnici europei sono elencate in tabella

Istituzioni Elettrotecniche russe

Dipartimento del Genio del Ministero Militare Gruppo galvanico – Scuola Militare Elettrotecnica	San Pietroburgo	1840
Ministero della Marina - Gruppo mine	Kronstadt	1867
Corpo Ingegneri delle vie di comunicazione	San Pietroburgo	1858
Istituto Tecnologico	San Pietroburgo	1886
Istituto Elettrotecnico - (ingegneri elettricisti)	San Pietroburgo	1885
Scuola Elettrotecnica della Società Imperiale Russa	Mosca	1896
Istituto Politecnico di Varsavia	Varsavia	1898
Istituto Politecnico di Kiev	Kiev	1898

4.7 STATI UNITI *Massachussets Institute of Technology, Cambridge 1882, Cornell University, Ithaca 1883*

Alcune osservazioni o notizie :

- le due università si contendono l'onore di aver offerto per prime nel 1882 un titolo di Ingegnere Elettrotecnico,
- altre Università (Missouri, Stevens, Rose Polytecnic, Lehigh, Princeton, Johns Hopkins, Michigan, Illinois, Wisconsin, ecc.) seguirono questi esempi, Lehigh, Princeton, Johns Hopkins, Michigan, Illinois, Wisconsin, ecc.) seguirono questi esempi, ma mai raggiunsero, all'epoca, la fama delle prime due,
- il M.I.T. avviò delle trattative per invitare a Boston Galileo Ferraris,
- le due Università ebbero notevole successo, in particolare Cornell, come documentati nella tabella, che riporta il numero degli iscritti:

Anno	M.I.T	Cornell
1884	41	28
1885	52	42
1886	61	60
1887	74	83
1888	91	126
1889	105	174
1890	*	218

* l'informazione manca

Per la formazione degli ingegneri elettrotecnici in Olanda, si veda⁴, e in Ungheria⁵.

5 *Verifica delle condizioni di "sufficienza, proposte alla sezione 3*

Si riprendono, nell'ordine, i criteri elencati alla sezione 3, completandoli con degli esempi:

- esistenza, nel luogo, di un "esperto" sapiente e riconosciuto da altri (Ferraris a Torino, Gerard a Liegi, Colombo a Milano, List a Brno, Janet a Parigi, Barbillion a Grenoble)
- bisogni locali (industrie che nascono, IECE a Milano, Montefiore a Liegi);
- nuovi campi di applicazione (metallurgia a Liegi, mine elettriche a Kronstadt);
- necessità di creare od amalgamare conoscenze o di formare degli esperti (Regio Museo Industriale a Torino, Russia, Liegi)
- crisi sociale (Regio Museo Industriale a Torino)
- l'esistenza di una qualsiasi struttura che possa "riconoscere" in qualche modo gli studi effettuati ed ottenerne anche il riconoscimento da terzi (Regio Museo a Torino);
- la disponibilità di fondi adeguati, di un mecenate od una condizione di emergenza che sia percepita dai politici (Montefiore a Liegi, Erba a Milano, declino economico a Torino⁶).

6 Osservazioni finali e conclusioni

Si presentano alcune osservazioni e conclusioni.

Poco più di un secolo fa, verso 1890, emerse la necessità di formare degli ingegneri “elettrici” attraverso dei corsi specifici,

Tre sono i motivi principali, tutti e tre “esterni” rispetto alle conoscenze tecniche:

1. gli usi della nuova energia hanno conseguenze sociali ed economiche tali da imporre la percezione di un cambiamento profondo,

2. la nuova energia ha conseguenze tecniche inaspettate.

3. la nuova energia è percepita come uno strumento di accesso alla modernità.

Si può infatti osservare che :

- la nuova energia rivoluziona tutto, uccide la motrice a vapore, sostituisce altre forme di illuminazione, impone nuovi edifici industriali, ristrutturazione della organizzazione del lavoro, interviene in forme inaspettate in ogni attività umana, è al servizio di tutte l'industrie e di ognuno: il sogno della tesi del Ferraris, un piccolo motore a casa di ognuno, realizzato.

- la sorpresa più rilevante, anche per gli elettrotecnici, fu il trasformatore, sperimentato a Torino nel settembre del 1884, per trasmettere 15 kW di potenza a 30 km,

- il trasformatore era completamente al di fuori della scienza meccanica,

- la comprensione del trasformatore segna, momentaneamente, la separazione tra la fisica tradizionale e la elet-

trotecnica; la fisica insegnata nelle scuole non era in grado di spiegare il funzionamento dell'oggetto⁷.

Per il periodo 1885-1910 nel quale inizialmente la ingegneria Elettrotecnica era percepita come una variante di quella meccanica, si osservano alcune novità:

- i collegamenti con gli insegnanti di Fisica sbiadiscono (salvo che per la telegrafia),

- coesistono strutture private, pubbliche o di Enti locali,

- esistono rivalità anche accese tra “Istituti” e la Accademia,

- in alcune nazioni, rilevante è il ruolo ed i meccanismi di selezione, gestione e riconoscimento tipici delle scuole professionali, come avveniva con le antiche corporazioni, fa nascere nuovi mestieri come le centraliniste dei telefoni.

- in alcune nazioni non si rilasciavano titoli o certificati,

- diffusa era la coscienza che l'Elettrotecnica fosse una disciplina nuova,

- nella formazione della nuova figura di ingegnere elettrotecnico larga parte, anche l'80%, era sperimentale o di officina,

- i docenti sono sempre di più degli ingegneri elettrotecnici,

- in alcune nazioni si mantengono vive le differenze tra ingegneri diplomati e laureati; in altre la cosa non ha più importanza,

- esiste un forte spirito di corpo tra i laureati di una stessa università,

- meccanismi di “autostima” e coscienza del ruolo dell'ingegnere: nel-

l'immaginario popolare l'ingegnere, rappresenta il vettore della scienza elettrica

○ L'ingegnere elettrotecnico non è più l'utilizzatore di scienza elaborata e trasmessa da altri ma deve partecipare, e da primo protagonista, alla costruzione della nuova disciplina.

○ L'ingegnere elettrotecnico opera libero da tradizioni, "trucchi del mestiere", tradizioni del mestiere, e dal contatto di altre corporazioni, adesso ha il monopolio del sapere e del potere, bilanciati però dal fatto che la qualità dei suoi risultati, soprattutto per quanto riguarda i rendimenti, sono sotto l'occhio di tutti.

○ Gli ingegneri elettrotecnici, questa volta con l'aiuto dei fisici, costruiscono un sistema di misura coerente ed elaborano nuovi strumenti, a volte con diatribe feroci, come quelle provocate dal Sistema Giorgi, proposto da un ingegnere elettrotecnico. La proposta di Giorgi, presentata nel 1897, fu accettata dagli elettricisti nel 1936 e da tutti, meno taluni Fisici, attorno al 1960.

○ Gli ingegneri danno nuova vita e nuove forme ai metodi di costruzione della scienza e di diffusione della cul-

tura che erano state proprie delle Accademie del Settecento, creando: Istituzioni specializzate, una sistematica circolazione delle informazioni, la creazione di riviste specializzate,

○ Per corroborare la loro nuova professione gli ingegneri elettrotecnici creano associazioni professionali, frequentano congressi, e costituiscono "Istituti" di discussione e di confronto, come IEE, IEEE, AEI. La nuova scienza e tecnologia ha carattere globale ed allora nascono e diventano indispensabili Enti internazionali di ricerca, coordinamento e normalizzazione, come l' International Electrotechnical Commission.

○ L'ingegnere "elettrotecnico" deve rassegnarsi a non possedere un sapere praticamente immutabile: deve mantenersi informato ed aggiornarsi in continuazione le proprie conoscenze.

In definitiva si può concludere affermando che l'ingegnere elettrotecnico, tra 1890 e 1915 si sentiva non solo come il vettore della nuova scienza elettrica, ma come il vettore di "modernità" e, nella visione positivista dell'epoca, come la principale causa del progresso sociale.

* Questa nota è stata ricavata da una conferenza presentata il giorno 21 maggio 2004 presso la Facoltà di Ingegneria Elettrotecnica della Università di Firenze.

¹ Un classico esempio è quello dello zoccolo introdotto dalla Edison per le lampadine ad incandescenza, rimasto immutato per oltre 130 anni.

² Inizialmente limitata alle grandezze "meccaniche, lunghezza, massa, tempo, ma allora im-

perava anche per la Eletticità il sistema CGS"

³ S. LESCHIUTTA, *I primi ingegneri elettrotecnici del regio Museo Industriale di Torino*.

⁴ Per la protezione dei porti e il controllo di vie d'acqua.

⁵ HESSELMANS A.N., *Clarence Feldmann at the Delft University of Technology*, pp. 97-116.

⁶ JESZENSKY, *Galileo Ferraris and the electrical Engineering in Hungary*, pp. 273-289.

⁷ Il Municipio di Torino comprò dalla Weston

degli amperometri per il laboratorio di Galileo Ferraris.

⁸ Non si deve dimenticare che in talune Nazioni e nelle facoltà di Fisica le equazioni di Maxwell vennero introdotte solo verso il 1920.

Bibliografia

M. TRÉDÉ (a cura di), *Electricité et électrification dans le monde*, Presses Universitaires de France-AHFE, Paris 1990.

A. CARDOT, *Un siècle d'électricité dans le monde*, Presses Universitaires de France-AHFE, Paris 1987.

L. BADEL (a cura di), *La naissance de l'ingénieur-électricien*, Presses Universitaires de France-AHFE, Paris 1987.

F. CARON, F. CARDOT, *Histoire de l'électricité en*

France, vol. I, AHFE Association pour l'Histoire de l'Electricité en France, Paris 1991.

S. LESCHIUTTA (a cura di), *Galileo Ferraris and the conversion of energy*, IEN-International Symposium, Torino 1997.

SILVESTRI A. (a cura di), *Il Centenario AEI e Galileo Ferraris*, AEI, Milano 1997.

CALLEGARO L. (a cura di), *Giovanni Giorgi: verso l'Elettrotecnica Moderna*, CLUT, Torino 2003.