

GALILEO FERRARIS

PORTARE ENERGIA NELLA CASA DELLA GENTE

*di Sigfrido Leschiutta**

Personalità capace di coniugare le ricerche teoriche con le applicazioni tecnologiche, Galileo Ferraris ha dato un contributo significativo ai grandi cambiamenti nel modo di vivere del secolo scorso con i suoi studi sul trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica. L'autore, accanto alla figura di studioso e inventore, ne tratteggia l'impegno civile che lo vide fortemente coinvolto nelle vicende politiche e sociali del suo tempo.

Emblematico della tensione che animava Galileo Ferraris, fin dagli anni della sua formazione tecnico-scientifica, verso il proposito di «portare energia e un piccolo motore nella casa della gente» è questo sillogismo: il lavoro della donna è necessario alla società, ma la fabbrica distrugge la famiglia, quindi facciamo in modo che la donna possa restare a casa, ma anche rendersi economicamente utile, per esempio installando un piccolo motore, per muovere un telaio o la macchina da cucire.

La soluzione finale del trasporto dell'energia, quella che pratichiamo tutti i giorni e che si chiama trasmissione in alternata, mediante un concetto e due oggetti, trasformatore e motore con induzione, è invero molto diversa da quella ipotizzata dal giovane ingegnere nella sua tesi di laurea¹, ma il concetto e i due oggetti, sui quali si basa nel mondo la nostra società contemporanea, sono tutti e tre, per un verso o l'altro, basati su idee, realizzazioni, iniziative o teorie del giovane ingegnere torinese.

Scopo di questa nota è appunto il ricordare questi contributi essenziali al nostro modo di vivere con il trasportare a distanza, mediante fili, energia elettrica ottenuta da energia meccanica e il trasformarla nuovamente in luce o energia meccanica in ogni casa.

Di oggetti derivati direttamente dalle idee del Ferraris, ne abbiamo almeno dieci-venti in ogni appartamento², per aiutarci nelle piccole esigenze della vita quotidiana, oltre agli innumeri motori usati nell'industria. Una ragionevole stima vuole che in ogni città ci siano molti più motori con induzione che cittadini.

Una valutazione analoga vale per il numero dei trasformatori.³

*Ordinario di Misure Elettrotecniche presso il Politecnico di Torino dove insegna dal 1962. È membro del Consiglio d'amministrazione dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris (IEN), vice presidente dell'Accademia delle Scienze di Torino e membro del Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure.

¹ Un lungo filo metallico, mosso da una ruota idraulica e che girava per la città, entrando nelle case.

² Tre motori con induzione nella lavapanni e altri tre nei lavastoviglie (agitatore, pompa per vuotare la vasca, timer per regolare le varie attività), e uno in ventilatori, aspiratori, macina-caffè, aspirapolvere, contatore di energia, eccetera.

³ Ogni apparato di «intrattenimento», come ricevitore radio, televisore, giradischi, registratore ha almeno due trasformatori e così il calcolatore.

È comunque opportuno, prima ancora di descrivere gli oggetti che con la loro carica eversiva spiazzarono le concezioni e la prassi prevalente del momento e costrinsero gli scienziati a formulare nuove rappresentazioni e teorie, considerare brevemente alcuni aspetti dell'uomo e le vicende salienti di una vita intensissima, che non arrivò a cinquant'anni. A tal fine i prossimi tre paragrafi di questo testo, sono dedicati a cenni biografici e alle attività di cittadino e accademiche. Una delle caratteristiche notevoli di Galileo Ferraris è la simbiosi in lui tra il fisico, il matematico e l'ingegnere; inoltre, la sua austera concezione della missione del dotto, fu temperata da una completa immersione nei problemi tecnici dell'epoca. La sua partecipazione alle vicende scientifiche e tecniche è notevole: l'attiva presenza a congressi ed esposizioni, il lavoro in commissioni di ogni tipo, gli incarichi professionali e infine l'abbinamento della teoria alla pratica. Non minore la sua partecipazione alla vita della società: non visse astratto in un suo mondo segreto, ma partecipò attivamente alla vita e della Città e della Nazione, sino a essere chiamato al Senato del Regno, pochi mesi prima di morire.

Non è comunque fuor di luogo ricordare sin da ora, per dare un'idea della carica innovativa della sua azione, che ha letteralmente trasformato il suo e il nostro secolo, che la vicenda tecnologica da lui innescata si concluse su scala globale, tecnicamente e industrialmente, in meno di vent'anni, cioè in un tempo brevissimo. Solitamente, infatti, i meccanismi di sostituzione delle fonti di energia – fieno, legno, carbone, petrolio, gas naturale, atomo, energia di fusione, eccetera – si estendono su molte decine di anni. Nel nostro caso gli estremi dell'arco temporale richiesto dall'energia elettrica sono rappresentati dai primi impianti di distribuzione in continua nel 1881 e dalla definitiva adozione, al giro del secolo, della distribuzione con corrente alternata trifase, preconizzata dall'esperimento di Torino del 1884. I suoi contributi tecnici e scientifici sono descritti nelle pagine seguenti.

Verranno indicati e confrontati i cinque metodi di trasmissione dell'energia che vennero sperimentati negli Stati Uniti e in Europa in quel ventennio considerando, con un certo dettaglio, la situazione adottata a Parigi. Verrà poi descritto l'esperimento del settembre 1884, durante il quale, alla presenza di una commissione internazionale, fu effettuato da Torino a Lanzo il primo trasporto di energia elettrica alternata, e si accennerà all'altro grande intervento del Ferraris (1885), con un motore in alternata che si avvia da solo, può girare a scelta nei due versi e può essere costruito e sempre con elevati rendimenti, sia per motori minuscoli sia per quelli immani usati per i laminatoi delle acciaierie.

L'Opera Omnia di Galileo Ferraris, che raccoglie tutti i suoi scritti, è stata curata dalla Associazione Elettrotecnica Italiana, tra il 1901 e il

1904, per le edizioni Hoepli. La letteratura sul Ferraris è ampia e il 1997, centenario della morte, ha visto una serie di iniziative editoriali. Un interessante e pregnante profilo del Ferraris, è quello redatto da Luigi Firpo.⁴

Note biografiche

Galileo Ferraris nasce il 30 ottobre 1847 a Livorno Vercellese, cittadina nelle piane del Piemonte, chiamata poi Livorno Piemonte e, nel 1924, Livorno Ferraris. La famiglia apparteneva a una borghesia legata alla terra, con un nonno, uno zio, un fratello medici e il padre farmacista. Rimasto presto orfano, viene ospitato a Torino dallo zio medico per la frequenza degli studi medi e del liceo classico; si iscrive poi a Ingegneria e consegue la laurea nel 1868 presso la Scuola di Applicazione, discutendo una tesi sulla telodinamia, cioè sulla trasmissione a distanza di energia meccanica tramite un filo metallico ruotante. L'anno successivo entra come assistente al Regio Museo Industriale⁵ presso l'insegnamento di Fisica Tecnica affidato al momento a Giovanni Codazza, pavese. Nel 1877 diventa professore incaricato e quindi titolare, sempre dello stesso insegnamento, sino alla morte. Al ruolo di ordinario viene nominato senza concorso, ma «per meritata fama di singolare perizia».

Un successivo periodo di studi, conferenze e viaggi lo fa conoscere in tutto il mondo.

Amantissimo della musica, leggeva a prima vista le partiture per pianoforte e fu tra i wagneriani d'Italia.

Non si sposò, ma casa sua ospitò e sovvenne in molti modi la famiglia del fratello Adamo, medico, un seguace di Garibaldi dal 1860 sino alla morte avvenuta nel 1871 a Bligny, quando Garibaldi guidò una colonna nella guerra tra Francia e Prussia.

Galileo Ferraris tenne dei ritmi di studio e di lavoro estremamente intensi, temperati solo da una assidua frequenza agli spettacoli e ai concerti musicali. L'affaticamento derivato da questo lavoro lo costrinse, l'1 febbraio 1897, a sospendere la lezione: si accomiatò dagli studenti con la semplice frase «la macchina è guasta, non posso continuare». Morì alcuni giorni dopo a causa di una polmonite virale.



⁴ L. Firpo, *Galileo Ferraris, in Gente di Piemonte*, Mursia, Milano 1983.

⁵ La Scuola di Applicazione era una istituzione di livello universitario, collegata per gli insegnamenti all'Università, con le due facoltà di Ingegneria (civile) e di Architettura. Il Regio Museo Industriale, all'inizio era una scuola di tecnologia, sullo stile del *Conservatoire Arts et Métiers* parigino che lentamente e non senza difficoltà conquistò il ruolo di università, per la preparazione di ingegneri. Le due istituzioni confluirono nel 1906 nell'attuale Politecnico di Torino.

Le date della carriera accademica e civile

Assistente di Giovanni Codazza al Regio Museo Industriale di Torino (dal 1869)
Docente presso la Facoltà di Fisica, Matematica e Scienze dell'Università di Torino (dal 1872)
Docente di Fisica Industriale presso la Scuola di Applicazione di Torino (dal 1877)
Docente di Fisica generale alla Scuola di guerra (1877)
Delegato italiano all'Esposizione Internazionale di Elettricità di Parigi (1881)
Delegato italiano alla Conferenza di Parigi sulle unità elettriche standard (1882)
Delegato italiano all'Esposizione di Elettricità di Vienna (1883)
Presidente della sezione Elettricità all'Esposizione Generale di Torino (dal 1883)
Direttore del laboratorio di elettrotecnica del Regio Museo Industriale di Torino (dal 1888)
Vice-Presidente della Esposizione di Elettricità di Chicago (1893) dove furono adottate come unità di misura l'henry, il joule e il watt.
Delegato italiano al Congresso di Ginevra (1896)
Senatore del Regno (Ottobre 1896)
Tra i fondatori della Associazione Elettrotecnica Italiana di Milano (1896)
Presidente della Commissione Italiana di Metrologia (1897)

Docente e ricercatore



La carriera scientifica del Ferraris si articolò in almeno quattro direzioni: la didattica di una nuova scienza; la ricerca teorica e sperimentale sui nuovi dispositivi elettrotecnici; l'attenzione ai problemi della misurazione; l'aggiornamento scientifico suo e del suo ambiente.

La didattica della elettrotecnica

La didattica della nuova scienza elettrica presenta alcuni aspetti peculiari della Scuola di Applicazione torinese.

Da una parte era necessario preparare giovani ricercatori e ingegneri, che non fossero solo dei tecnici, cioè dei periti nella nuova tecnologia: occorreva fornire un'impostazione teorica di carattere generale che consentisse di affrontare, nella professione, anche quei problemi che non erano stati esplicitamente studiati nel periodo di formazione. Da qui l'impostazione teorica, aggiornata, e con una forte componente sperimentale. Non è questa la sede per esaminare questa caratteristica della Scuola di Torino, basti ricordare che gli allievi ingegneri del Ferraris, conoscevano e usavano l'impostazione di Maxwell quasi quarant'anni prima che le sue equazioni venissero insegnate negli Istituti Fisici di Francia e Italia.⁶

Dall'altra parte, l'Italia, come Stato unitario, era una realtà nuova con cinque accademie militari, cinque sistemi telegrafici, quattro marine militari, e così via e quindi erano impellenti due esigenze: uniformare le conoscenze tecnico-scientifiche di funzionari e di mili-

⁶ Diverso il caso di Belgio, Germania e Inghilterra ove, specie nel secondo caso, vennero elaborati profili di formazione, che oggi diremmo moderni, in parallelo a una solida esperienza di laboratorio e di misure che oggi sarebbe non immaginabile e anche non praticabile.

tari e fissarle a un alto livello. Esisteva nella classe dirigente del Paese una ferma convinzione della necessità di questa azione, sentita dai migliori tra i funzionari e i militari, alcuni dei quali ruppero con la tradizione che li vedeva poco ricettivi ai problemi scientifici. Si consideri per esempio Giulio Dohuet (1869-1930) che per primo teorizzò l'uso del mezzo aereo e che, alla fine del secolo aveva scritto un trattato di elettrotecnica che ancora oggi si legge con interesse. A questa necessità di «alfabetizzazione» in elettrotecnica di numerosi professionisti attivi in campi diversi, si accinse il Regio Museo Industriale di Torino.

Tutta la carriera accademica del Ferraris si svolse presso il Regio Museo Industriale e si coronò con l'istituzione della scuola di elettrotecnica presso il museo stesso. Si trattava di impostare *ex novo*, e tra i primi del mondo, un corso universitario di una materia sin lì inesistente.

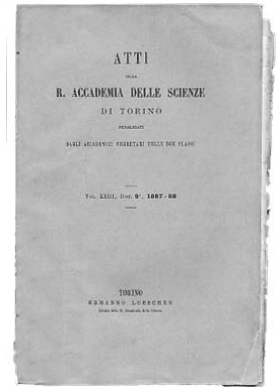
L'iniziativa del Ferraris, e soprattutto la sua impostazione prevalentemente teorica, costituì un modello recentemente studiato e confrontato⁷ con quanto di analogo avveniva in Stati Uniti, Germania, Francia, Inghilterra, Russia, in Belgio e a Milano, ove si adottò, appunto per preparare gli ingegneri «elettrici», una struttura, la Fondazione Carlo Erba, molto diversa per impostazione da quanto realizzato dal Ferraris a Torino.



Trasformatore e motore

Due sono i principali risultati scientifici e tecnici del Ferraris, la teoria del trasformatore con la misurazione del suo rendimento e l'ideazione del motore con induzione, un motore elettrico che si avviava da solo, poteva ruotare in qualsiasi verso e che poteva essere costruito praticamente per qualsiasi potenza.

Negli anni 1881-1882 circolò la notizia di una nuova macchina elettrica stazionaria⁸, chiamata generatore stazionario. Inventore ne era un singolare tecnico francese, Lucien Gaulard (1850-1888)⁹, esperto



⁷ S. Leschiutta, A.M. Rietto, *The first electrical Engineers in Torino*, pp.407- 433, in O. Bottauscio (a cura di), *Galileo Ferraris and the conversion of energy*, Accademia delle Scienze di Torino e Istituto Elettrotecnico Nazionale, Torino 1997.

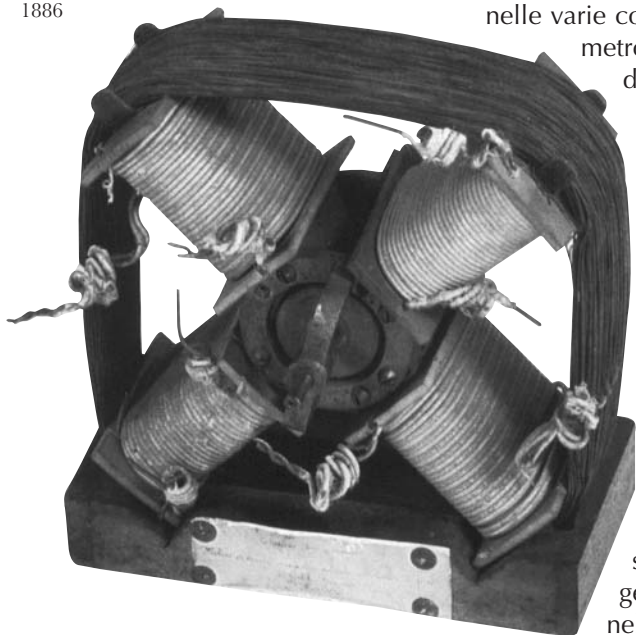
⁸ Cioè senza parti in movimento.

⁹ J.Bethenod, *Oeuvre et vie de Lucien Gaulard, réalisateur du premier transformateur à courant alternatif*, Revue Générale d'Electricité, Paris 1935, pp. 49-56; *Opera e vita di Luciano Gaulard*, in *L'Elettrotecnica*, Vol. XXIII, 1935, pp. 102-104; *Un dimenticato: Luciano Gaulard* (articolo non firmato), in *L'Energia Elettrica*, 1930, pp.339-340.

¹⁰ Galileo Ferraris: *Ricerche teoriche e sperimentali sul Generatore Secondario Gaulard e Gibbs*, Memorie, Reale Accademia delle Scienze di Torino, Vol. XXXVII, serie II, 11 gennaio 1985, anche in *Opera Omnia*, Vol. I, p. 163-254.

¹¹ G. Røiti, *Di un elettrocalorimetro e di alcune misure fatte con esso intorno al generatore secondario Gaulard e Gibbs*, Memoria, Accademia delle Scienze di Torino, Vol. XXXVII, 1885.

Motore a campo magnetico rotante di Galileo Ferraris, IV modello, 1886



in chimica ed esplosivi. Sulla nuova macchina correvano le voci più singolari: si diceva che «aumentava» la potenza che vi transitava e che consentiva di trasformare a piacimento i parametri, tensione e corrente, dell'energia elettrica che vi transitava.

Ignoti anche al costruttore erano i principi di funzionamento, unico esempio precedente il rocchetto di Rumkoff, un dispositivo del tutto analogo alla bobina ad alta tensione che alimenta le candele di qualsiasi motore a scoppio.

La bobina, come viene chiamata dagli elettrauto, è in fondo un trasformatore con il primario di poche decine di spire di filo di rame, del diametro di 1-2 mm, percorsa dalla corrente continua della batteria, resa pulsante dal ruttore azionato da un albero a camme, azionato dal motore. Sopra questo avvolgimento, ne è disposto un altro di alcune migliaia di spire di sottile sezione, ai capi del quale si sviluppa una tensione di alcune migliaia di volt, che un apposito organo rotante, chiamato distributore, avvia alle singole candele. Il Gaulard si era messo in società con un inglese, John Gibbs, e presentava il suo dispositivo, pur non conoscendo i principi di funzionamento della macchina che poi rivoluzionerà il mondo. Su questo oggetto, ai margini di una Esposizione Internazionale di Elettricità, alla quale esso era stato presentato nel 1884 per concorrere a un premio, Galileo Ferraris avvia un completo studio teorico e sperimentale del dispositivo e per misurare con certezza le potenze in transito ricorre a un sistema calorimetrico che è ineccepibile da un punto di vista energetico¹⁰. La resistenza che usa per «misurare» la corrente

nelle varie condizioni, è infatti posta entro un calorimetro¹¹, in una vaschetta piena d'acqua, e dalle variazioni di temperatura dell'acqua si risale ai confronti tra le correnti nelle varie condizioni sperimentali.

Il motore con induzione è invece un contributo personale della fantasia del Ferraris, nato dalla sua conoscenze in fisica e dalle analogie che riscontrava tra fenomeni elettrici e quelli di ottica fisica.

Come in ottica esistono fenomeni che sono polarizzati, cioè con proprietà diverse in funzione delle direzioni geometriche, così doveva essere possibile combinare campi magnetici, generati da bobine fisse nello spazio, ma percorse da correnti elettriche non in fase e generare un campo magnetico rotante nello spazio. Inutili furono le insistenze di

conoscenti e amici perché coprisse con un brevetto queste idee e principi; anche la descrizione negli *Atti* della Accademia delle scienze non fu immediata. Nella sua moralità, scopo del dotto era di svelare i principi e di lasciare poi che altri ne raccogliessero pure i frutti...

La misurazione di nuove grandezze

Molto viva nel Ferraris era la consapevolezza che la comprensione dei vari nuovi fenomeni elettrici e la costruzione delle leggi fisiche relative passasse di necessità attraverso una conoscenza quantitativa, da ottenersi mediante strumenti di misura.

Questa sua consapevolezza è resa manifesta da tre fattori: il ruolo dato al laboratorio e alle misure nella Scuola avviata presso il Regio Museo Industriale; oltre la metà del tempo degli allievi era passato in laboratorio¹²; l'assidua frequenza e i suoi contributi ai convegni e congressi internazionali nei quali si discuteva di misure elettriche; l'adozione di metodi di misurazione di estrema eleganza e incontrovertibili, nel momento in cui comparivano i primi strumenti di elettrotecnica che egli non fece mancare al suo laboratorio¹³.

Cittadino di Torino e di Livorno Piemonte

Galileo Ferraris ritenne suo dovere mettere a disposizione di Torino, la città in cui viveva, le sue conoscenze ed esperienze: partecipò alle elezioni nelle liste del partito liberale dal 1887 e fu consigliere e membro della Giunta municipale per l'ultima decina di anni della sua vita. Nel 1897 fu anche eletto al Consiglio comunale di Livorno Piemonte.

A Torino, come assessore ai problemi tecnologici, si interessò tra l'altro dell'illuminazione urbana¹⁴, dei trasporti pubblici e dell'approvvigionamento energetico.¹⁵ Queste sue attività amministrative sono descritte in un recente saggio, edito dall'Archivio Storico della Città di Torino.

Ferraris fu un politico saggio, lungimirante, ma non fortunato, nel senso che alcune decisioni di tipo tecnico vennero prese dalla Giunta in base a considerazioni di carattere politico o di opportunità, contrariamente ai suoi consigli, come quella di affidare a una società belga la realizzazione e la gestione di una rete di trasporti urbani con tram alimentati da batterie. La società puntualmente fallì con gravi oneri per la città. Altra improvvida decisione adottata dalla maggioranza della Giunta e del Consiglio fu quella di installare pompe alimentate da una motrice a vapore per sollevare dal Po due metri cubi di acqua al secondo allo scopo di alimentare i canali che portavano energia a opifici in Torino.

¹² S. Leschiutta, A.M. Rietto, *La formazione degli Ingegneri elettrotecnici a Torino*.

¹³ Nel Museo degli strumenti dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale, figurano alcuni strumenti elettrici, i primi del loro genere, acquistati dal Ferraris presso la Ditta americana Weston, che egli visitò assieme a Camillo Olivetti.



¹⁴ S. Leschiutta, *Lampioni per Torino*, in M. Mezzalama et al. (a cura di), *1887-1897 Galileo Ferraris Amministratore comunale*, Archivio Storico della Città di Torino, Torino 1997, pp. 41-56.

¹⁵ S. Leschiutta, *Energia per Torino*, in M. Mezzalama, op. cit., pp. 33-40.



Palazzo Ferraris a Livorno Picomonte-Ferraris, sede del Museo Civico intitolato allo scienziato

Anche la sua passione e la sua cultura musicale vennero poste al servizio della città: nel 1892 fu membro del Consiglio direttivo del Liceo Musicale di Torino. Non ebbe incarichi operativi, salvo in alcune occasioni, ma la sua assidua presenza fece rifiorire, con una nuova organizzazione, le attività musicali in città; per esempio favorendo l'impostazione wagneriana delle scelte musicali e la presenza, per alcuni anni, di Arturo Toscanini, uomo quanto mai difficile¹⁶, con il quale Ferraris ebbe anche a trattare.

Cinque metodi a confronto

I cinque metodi per la distribuzione dell'energia elettrica, messi a confronto nel periodo 1880-1900 sono i seguenti: in corrente continua con bassa tensione; in corrente continua con alta tensione; in corrente alternata, monofase con bassa tensione; in corrente alternata, monofase con alta tensione; in corrente alternata, trifase, con alta tensione.

È opportuno considerare che qualsiasi metodo di distribuzione di energia, in particolare se elettrica, deve soddisfare contemporaneamente e in maniera adeguata cinque esigenze.

Tre si collocano a livello tecnico: trasporto, uso per illuminazione, ritrasformazione di energia elettrica in energia meccanica.

Due si collocano a livello di esercizio: distribuzione e tariffazione.

Si ammetta, per questa classificazione, che i problemi del motore primo (turbina idraulica o motrice a vapore) e della generazione (dinamo semplice per la continua o dinamo connessa come alternatore) siano stati già risolti.

Trasmissione in continua con bassa tensione

Diffusa commercialmente da Edison e dalle sue numerose società che curavano, separatamente tra di loro e a volte in feroce concorrenza, generazione, distribuzione, installazione, tariffazione, esazione, oltre ovviamente alla produzione di dinamo, motori e lampadine seguendo i numerosi brevetti di Edison.

Il primo impianto fu installato a New York, centrale di Pearl Street, nel 1882, il secondo a Milano, con la centrale a Santa Radegonda, nel 1883, per iniziativa di Giuseppe Colombo.

Risultavano risolti tutti cinque i problemi, meno il trasporto, nel senso che il raggio dell'area coperta non superava un chilometro. La tariffazione era alquanto complessa, ove si volesse misurare l'energia consumata e non contare le lampadine alimentate.

In questo caso venivano usati contatori elettrochimici, basati sul deposito di un sale. Un

incaricato sostituiva, una volta al mese, la cella elettrochimica e, per doppia pesata, si ricavava l'energia consumata dal singolo impianto.

Altri contatori usavano serbatoi trasparenti che contenevano acqua che veniva fatta evaporare da una resistenza percorsa dalla corrente che alimentava l'impianto. Contatori del genere vennero costruiti a Milano dalla Ditta Clerici¹⁷, su licenza della Edison.

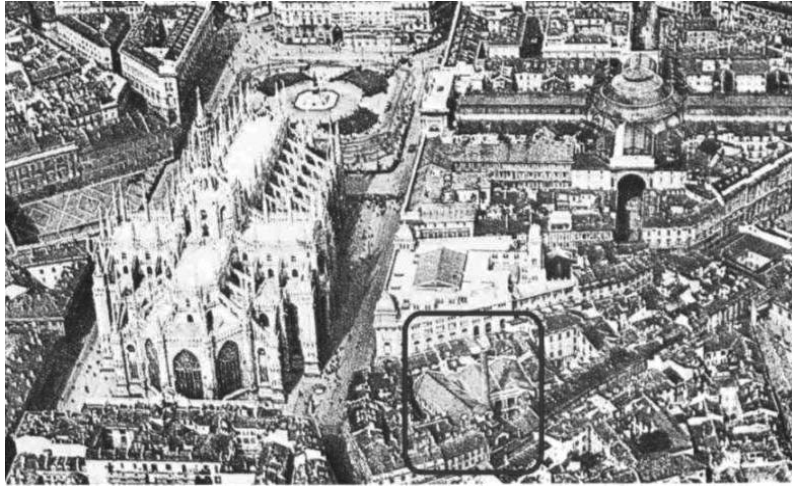
Trasmissione in continua con alta tensione

Questa soluzione fu sperimentata in particolare in Francia, per distribuzione all'interno di una città o tra centrali e città.

La soluzione tecnica consisteva, all'interno della centrale generatrice, nel collegare elettricamente in serie più dinamo - con le carcasse isolate tra di loro e alimentate meccanicamente con cinghie isolanti da uno o più motori primi - per elevare la tensione in linea sino attorno alla decina di kilovolt. Alla ricezione, più motori collegati elettricamente in serie alimentavano meccanicamente un certo numero di dinamo che erogavano tensioni attorno al centinaio di volt.

Il sistema risolveva parzialmente il problema del trasporto a distanza, egregiamente quello dell'illuminazione e quello della conversione in energia meccanica, malamente il problema della tariffazione, se basata sul consumo di energia.

Il sistema cadde, dopo numerosi e costosi tentativi, uno dei quali anche in Italia, a Genova, per l'insufficiente rendimento globale (che scendeva al 40%) e per la difficoltà di mantenere ragionevolmente costante al variare del carico le tensioni erogate dalle dinamo che alimentavano la rete.



La prima centrale elettrica europea, di via Santa Radegonda a Milano, in una fotografia di fine Ottocento

¹⁷ In questi contatori, nella parte inferiore, era contenuta una lampadina che, tramite una bilancia, veniva accesa nelle ore notturne invernali, quando la resistenza di riscaldamento della cella non risultava alimentata. Il calore prodotto dalla lampadina impediva all'acqua di gelare.

Trasmissione in corrente alternata, monofase, con bassa tensione

Il sistema si diffuse in Francia e altrove per la sola illuminazione cittadina e a brevi distanze, per risolvere il problema dell'asimmetrico consumo dei due elettrodi delle lampade ad arco in continua.

La nuova sorgente luminosa era la candela Jablokoff, che non richiedeva assistenza né l'uso di un apposito regolatore. Alimentando il dispositivo con tensione alternata, il consumo era simmetrico.

La candela Jablokoff si accendeva da sola, bruciava per circa due ore, ma se spenta non poteva essere riaccesa. Si potevano considerare problemi risolti quelli relativi all'illuminazione e alla tariffazione «energetica» (si contavano le «candele» installate), mentre non erano risolti i problemi relativi al trasporto, alla distribuzione e alla conversione meccanica.

Trasmissione in corrente alternata, monofase, con alta tensione

Questo metodo fu reso possibile dal trasformatore presentato dal Gaulard nel 1882 a Londra, in una versione rudimentale (il circuito magnetico era aperto) e rapidamente perfezionato, sino all'intervento industriale, già nel 1885, della ditta Ganz di Budapest.

Tre i requisiti risolti e cioè generazione, trasporto e illuminazione, non la trasformazione da energia elettrica a energia meccanica¹⁸, né la tariffazione. Comunque questo metodo fu il primo a consentire il trasporto di energia elettrica con elevati rendimenti (attorno e oltre il 90%), come si vedrà nella descrizione dell'esperimento di trasmissione di energia elettrica da Torino a Lanzo, effettuato il 29 settembre 1884.

¹⁸ Con un motore asincrono, autoavviante e di facile realizzazione.

Trasmissione in alternata, trifase, con alta tensione

È la soluzione odierna, che fu dimostrata pubblicamente nel 1891 in occasione dell'esposizione di Francoforte. Nel secolo che è trascorso è cambiata alquanto la tecnologia dei dispositivi, ma non sono cambiati i principi e i criteri di progetto. Il metodo consente la soluzione contemporanea di tutti e cinque i requisiti e fu reso possibile dall'invenzione, che era avvenuta nel 1885, del motore con induzione del Ferraris.

Caratteristiche tecniche del primo esperimento in trifase con alta tensione (Francoforte 1891)

energia primaria fornita a Lauffen da una turbina idraulica della potenza di 300 cavalli vapore, che alimentava un alternatore

tensione trifase prodotta a 500 V con una corrente di 1.400 A, portata a 25.000 V da un trasformatore

linea di lunghezza 175 km, realizzata con filo di rame di diametro 4 mm

in Francoforte la tensione veniva portata a 60 V per la distribuzione sia a motori sia a lampade potenza trasmessa a circa 200 kW

L'esperimento di Torino-Lanzo del 1884

All'Esposizione Generale Italiana di Torino del 1884, il governo italiano, con 10 000 lire e la Città di Torino, con 5 000, avevano istituito un premio: «da conferirsi a colui che presenterà nella sezione di Elettricità dell'Esposizione generale di Torino una invenzione o un complesso di apparecchi onde che si avvantaggi notabilmente la soluzione pratica dei problemi che si connettono con le applicazioni industriali della elettricità alla trasmissione del lavoro meccanico a distanza, alla illuminazione ed alla metallurgia. Si avranno in considerazione soltanto le invenzioni rappresentate alla Esposizione da apparecchi sui quali si possono eseguire esperienze pratiche e sicure».¹⁹

Il testo tradisce la mano del Ferraris e le sue preoccupazioni: il trasporto dell'energia meccanica a distanza, oggetti reali e non proposte, esperienze pratiche e sicure. Per assegnare il premio e altri riconoscimenti, era stata formata una commissione internazionale, nella cui composizione si possono riconoscere alcuni dei migliori «elettricisti» dell'epoca; le vicende del concorso, del relativo esperimento e i risultati sono stati rivisitati recentemente.²⁰

L'esperimento organizzato dal Ferraris verteva su un trasporto di energia elettrica monofase ad alta tensione. La stazione generatrice era sistemata presso uno dei padiglioni dell'Esposizione, quello dell'elettricità, situato al parco del Valentino, non distante dall'attuale palazzo delle esposizioni; la linea elettrica correva lungo l'attuale via Valperga Caluso, valicava la ferrovia Torino-Milano per seguire poi questa linea ferroviaria sino all'incrocio con la strada ferrata Torino-Lanzo. Da questo incrocio tornava in città sino alla stazione di partenza di questa strada ferrata posta nelle adiacenze della attuale piazza della Repubblica, sulle riva destra della Dora. Da questa stazione la linea proseguiva sino a Lanzo passando per la stazione di Venaria e da questa località la linea elettrica tornava al Valentino.

Ha senso usare i verbi «andava» e «tornava» nel senso che il circuito era di tipo «serie», cioè con gli avvolgimenti primari dei trasformatori situati al Valentino e nelle stazioni di Torino, Venaria e Lanzo, tutti in serie. La linea era posta su isolatori, analoghi a quelli delle linee telegrafiche, lungo le linee telegrafiche delle Strade Ferrate Alta Italia e della Strada ferrata Torino-Lanzo.

¹⁹ G. Ferraris, *Relazione della Giuria Internazionale per la sezione di elettricità sul conferimento del premio speciale...*, in *Opera Omnia*, Vol. II, p. 317-336.

²⁰ S. Leschiutta, *The Torino-Lanzo transmission experiment*, in O. Bottauscio, op. cit., pp.291-305. In totale, su 201 espositori, furono assegnati 73 premi, due in denaro, uno dei quali alla Ditta di Gaulard e Gibbs, otto premi consistenti in medaglie d'oro, venti in argento e otto in bronzo più venti menzioni d'onore. Sei altri riconoscimenti, detti di collaborazione, furono assegnati a persone che non concorrevano direttamente, ma operavano entro una delle ditte concorrenti.

Stazione di Lanzo



Due dei trasformatori usati nell'esperimento e alcuni strumenti (wattmetri elettrodinamici) sono conservati presso il Museo Chiodi dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale. Su uno di questi trasformatori sono state effettuate delle misurazioni in tempi moderni, in particolare per determinare le caratteristiche magnetiche del nucleo.²¹

²¹ F. Fiorillo e C. Beatrice, *From the Gaulard-Gibbs secondary generators to present-day Transformers: evolution of Magnetic Core Materials through a Century*, in O. Bottauscio, op. cit., pp. 307-331

Caratteristiche tecniche dell'esperimento di Torino-Lanzo (1884)

motrice a vapore della ditta TOSI di Milano,

alternatore Siemens, che ruotava a 760 giri al minuto, producendo una corrente alternata monofase a circa 150 Hz,

trasformatori Gaulard e Gibbs (i dati si riferiscono al singolo trasformatore):

primario di 455 spire

secondario, quattro gruppi eguali di spire, per un totale di 446, collegabili in parallelo o in serie

potenza attorno a 1300-1400 W

nucleo di filo di ferro, parzialmente estraibile

resistenza del primario e totale dei quattro secondari messi in serie circa 0,34 W

correnti primaria, circa 12 A, secondaria 8 - 10 A, in funzione della posizione del nucleo

potenza totale trasmessa, stimata in 10 kW

linea, conduttore di rame cromato, fornito dalla Ditta Mouchel di Parigi di diametro 3,7 mm e di lunghezza 42 km

Le vicende dell'esperimento, con toni anche di acceso colore - filo che non arriva, intervento dei Reali, scavalco di cancelli chiusi al Valentino, esperimento riuscito *in extremis* - furono narrate direttamente dal Gaulard, in un testo che non è possibile citare direttamente, ma che fu ripreso nel 1935, in una pubblicazione speciale della *Société des Electriciens* dedicata al cinquantenario delle prime trasmissioni di energia elettrica, ripresa poi in traduzione da *L'Elettrotecnica*.

L'esperimento venne riportato, non senza polemiche, nei giornali tecnici di tutto il mondo e fu imitato e ripetuto, con larghezza di mezzi, sette anni dopo, in Germania, come si è visto.

Per inciso, l'opera del Gaulard è poco conosciuta e l'unico monumento a lui eretto è nella stazione ferroviaria di Lanzo; lo sconcerto nel vedere che la sua invenzione veniva usurpata da tutti fu tale che perse il bene dell'intelletto, cercò di esporre i suoi pro-

blemi al Presidente della Repubblica Francese, ma senza successo e si spense, relativamente giovane, in una clinica per malattie nervose.

I trasformatori negli esperimenti di Galileo Ferraris

All'Esposizione del 1884 la *National Society for the distribution of electricity by Secondary Generators* di Londra aveva esposto i «generatori secondari», come allora venivano designati i trasformatori di Gaulard e Gibbs (John Gibbs era il socio inglese di Lucien Gaulard). I generatori erano stati presentati da Gaulard all'Esposizione di Parigi del 1881 e sperimentati l'anno successivo a Londra, con apparecchi definiti «primitivi e inetti» dal Ferraris.²²

²² Queste notizie sono ricavate dalla necrologia di Luciano Gaulard redatta da Galileo Ferraris, in *Ingegneria Civile e Arti Industriali*, Vol. XIV, riportate in *Opera Omnia*.

I trasformatori di Gaulard

I due primi trasformatori di Gaulard sono a colonne con circuito aperto, il primo con nucleo costituito da filo di ferro, il secondo con un nucleo di legno foderato di filo di ferro.

Le caratteristiche meccaniche ed elettriche sono le seguenti:

primario di 455 spire, secondario, quattro eguali di spire, per un totale di 446, collegabili in parallelo o in serie, **peso totale** del rame, da 18 a 20 kg,

potenza attorno a 1300-1400 W,

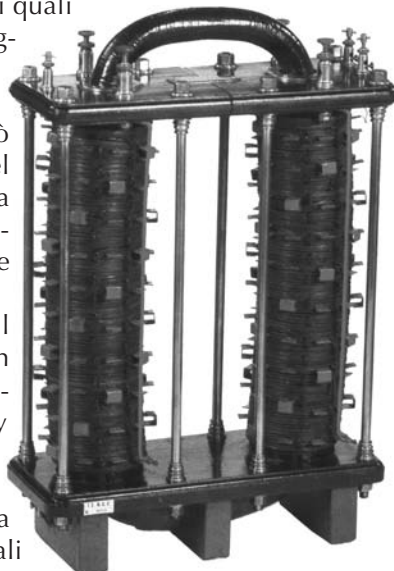
nucleo di filo di ferro, parzialmente estraibile,

resistenza del primario e totale dei quattro secondari messi in serie circa 0,34 W,

corrente primaria, circa 12 A; secondaria 8-10 A, in funzione della posizione del nucleo.

Con tre tipi di apparecchi, due dei quali notevolmente migliorati e uno peggiorato, Gaulard e Gibbs parteciparono all'Esposizione Torinese e su due di questi il Ferraris effettuò esperimenti negli ultimi mesi del 1884 che furono diffusi con la celebre nota del gennaio successivo, presentata all'Accademia delle Scienze di Torino.²³

Nel mese di giugno 1885, il Ferraris effettuò misure su un nuovo tipo di trasformatore, progettato dagli ingegneri Karoly Zipernowsky (1853-1942), Miksa Déri (1854-1938) e Otto Títusz Bláthy (1860-1939) della ditta Ganz di Budapest, uno dei quali



Generatore secondario
Gaulard e Gibbs,
1886

²³ G. Ferraris, *Ricerche teoriche e sperimentali sul Generatore Secondario Gaulard e Gibbs*, in *Memorie della Regia Accademia delle Scienze di Torino*, Tomo XXXVII, Serie II, 11 gennaio 1885; G. Ferraris, *Sulla differenza di fase delle correnti sul ritardo dell'induzione e sulla dissipazione di energia nei trasformatori*, Regia Accademia delle Scienze in Torino, 4 dicembre 1887, Tomo XXX.



Trasformatore di Ganz

²⁴ Sembra che la parola «trasformatore», nella dizione in ungherese *transzformátor*, sia stata introdotta dal Bláthy.

²⁵ G. Ferraris, *Risultati di alcune esperienze sul Trasformatore Žipernowsky, Déry, Bláthy*, manoscritto, stampato in inglese e francese, a cura della Ditta Ganz.

aveva visitato l'Esposizione di Torino.

Essi ottennero il 3 marzo 1885 un brevetto su un nuovo tipo di trasformatore²⁴ con struttura toroidale nel quale il toro era alternativamente costituito dagli avvolgimenti di rame o dal nucleo costituito da fili di ferro dolce verniciato. Attorno al toro era avvolto l'altro costituente. Nel maggio 1885 fu inviato a Galileo Ferraris il trasformatore numero 26, che ha le seguenti caratteristiche: tensione primaria 250 V, rapporti di trasformazione 4:1 e 2:1, potenza 3000 W.

Su questo trasformatore (attualmente custodito presso il museo Chiodi dell'IEI), nel giugno di quell'anno vennero effettuate le prove, i cui risultati furono descritti in un opuscolo che fu ritrovato tra le carte dello scienziato alla sua morte, ma che era stato difuso nel luglio 1885 in traduzione francese e tedesca a cura della Ganz e in nuova edizione tedesca, con alcune varianti, nell'ottobre del 1885, dalla *Elektrotechnische Zeitschrift*.²⁵ La nota, nella versione italiana, figura nell'*Opera Omnia*.