

«Quando fossero esauriti i combustibili fossili, se non si potesse contare sull'acqua per la produzione e distribuzione della forza, del calore e della luce, non resterebbe altra alternativa che tornare indietro alle condizioni delle popolazioni primitive».

Giuseppe Colombo

È la sera del 26 dicembre del 1883, il Teatro alla Scala si accende della luce di duemila lampade Edison alimentate dal primo grande impianto europeo di illuminazione elettrica. Ne è autore l'ingegner Giuseppe Colombo.

A 130 anni di distanza, i suoi scritti e la corrispondenza con Edison ci danno la misura dell'intelligenza che governava allora una città come Milano, in cui ci si spostava e si produceva grazie a un'energia rinnovabile che si era stati capaci di trasportare da lontano.

Giuseppe Colombo (1836-1921) ingegnere, professore e direttore del R. Istituto tecnico superiore di Milano, ha legato il suo nome al celebre *Manuale dell'ingegnere* (prima ed. 1877). Promotore del sistema industriale italiano, lui stesso uomo d'affari e presidente del Credito Italiano, ha unito all'impegno scientifico e imprenditoriale quello politico come deputato, presidente della Camera, ministro economico e infine senatore.

Renato Giannetti è professore di Storia economica presso il Dipartimento di Scienze economiche e dell'Impresa dell'Università di Firenze. Tra le sue pubblicazioni *Storia dell'impresa italiana*, con Michelangelo Vasta (2012) e *Tecnologia e sviluppo economico italiano, 1879-1990* (1998).

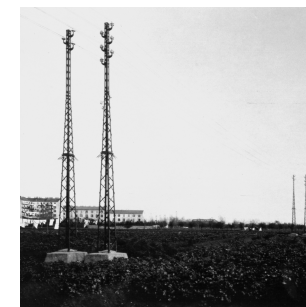
€ 18,00 i.i.



ANTHEIOS
EDIZIONI

Giuseppe Colombo

Il "carbone bianco"



Prefazione
di
Renato Giannetti



ANTHEIOS
EDIZIONI

Ars et Labor

13

Giuseppe Colombo

Il “carbone bianco”

Scritti sull'elettrificazione e la
corrispondenza con Thomas A. Edison

Prefazione
di
Renato Giannetti

Anthelios Edizioni

Ars et Labor è una collana del sito web “Milano città delle scienze” (www.milanocittadellescienze.it) che si propone di ripresentare testi di carattere scientifico e tecnico inquadrati da una introduzione di carattere storico-culturale. Essa è nata nel 2007 ed è frutto della collaborazione tra l’Università di Milano - Bicocca, la Biblioteca Nazionale Braidense e la Biblioteca comunale Sormani di Milano.

Edizioni originali:

L’illuminazione elettrica, “La Perseveranza”, 21 aprile 1879

Illuminazione elettrica, in *Milano Tecnica, 1859-1884*, U. Hoepli, Milano 1885

Premio Edoardo Kramer ... “R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Rendiconti”, s. II, XX, 1887

La trasmissione elettrica della forza, “La Perseveranza”, 21 aprile 1890

I progressi della elettrotecnica in Italia, “Nuova Antologia”, 16 luglio 1900

Trasporto dell’energia, in *Cinquanta anni di storia italiana*, U. Hoepli, Milano 1911

G. Damiani, *Il primo impianto termoelettrico*, “L’Energia Elettrica”, VI, 10, 1929

G. Semenza, *Impianto di Paderno*, “Atti dell’A.E.I.”, I, 1898.

G. Belluzzo, *In memoria di Giuseppe Colombo*, Soc. Ed. Unitas, Milano 1922.

Si ringraziano Elena Accorinti, Antonella Bilotto, Beatrice Collarini, Marco De Paoli, Francesca Magliulo, Giuseppe Pallavicini, e Pierluigi Prada.

Prefazione © 2013 Università degli Studi di Milano - Bicocca

Il “carbone bianco” © 2013 Anthelios Edizioni

ISBN 978-88-8394-083-5

viale Forlanini, 5 20024 Garbagnate Milanese (MI)

tel. +39.02.99027327 fax +39.02.99027332

www.anthelios.it anthelios@anthelios.it

In copertina: *Linea aerea Paderno-Milano*, Foto F.lli Brizzi. da Società Generale Italiana Edison di Elettricità, *Impianti Paderno-Milano*, s.l.n.d.

Indice

VII Prefazione

di Renato Giannetti

Scritti sull’elettrificazione 1879-1911

3 *L’illuminazione elettrica*

21 *Illuminazione elettrica*

39 *Premio Edoardo Kramer. Rapporto della Commissione*

53 *La trasmissione elettrica della forza e il suo significato per l’avvenire dell’industria italiana*

71 *I progressi della elettrotecnica in Italia*

91 *Trasporto dell’energia*

175 Corrispondenza Colombo – Edison 1882-1884

Appendici

213 *Il primo impianto termoelettrico del vecchio mondo col sistema Edison*

di Gaetano Damiani

225 *La centrale di Paderno e la sua linea elettrica per Milano*

di Guido Semenza

In memoria di Giuseppe Colombo

249 di Giuseppe Belluzzo

Prefazione

di Renato Giannetti

Base epistemica e sapere utile nella selezione delle innovazioni.

L'evoluzione di una tecnologia dipende dalla coevoluzione di due componenti. La prima è rappresentata dalla base epistemica costituita dalle conoscenze scientifiche del tempo; la seconda dalle innovazioni tecnologiche, maggiori e minori, che l'accompagnano¹. Entrambe a loro volta mostrano, in linea generale, un percorso di sviluppo che è dapprima caratterizzato da una certa varietà di soluzioni, le quali vengono selezionate e si consolidano nel tempo attraverso la formazione di "linee guida" della attività di ricerca e il superamento di "salienti avversi" e "punti critici"².

Un'ulteriore componente della evoluzione di una tecnologia è rappresentata dai tratti specifici dei contesti locali in cui si diffonde, costituiti dalla natura delle risorse, dalla coerenza tra queste e le tecnologie selezionate, dalle capacità presenti nell'ambiente d'impresa e istituzionale.

La coevoluzione di queste componenti imprime infine una dipendenza del percorso evolutivo del sistema, in base alla quale le caratteristiche e le complementarità sviluppate nella fase iniziale di una tecnologia e del suo ambiente economico e

1. J. Mokyr, *Useful Knowledge as an Evolving System: the view from Economic History*. Paper presented to the Conference on *The Economy as an Evolving System in honor of Kenneth J. Arrow*, Santa Fe, Nov. 16-18, 2001.

2. T.P. Hughes, *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1983.

istituzionale disegnano anche i tratti del suo cambiamento nel tempo³.

Le pagine che seguono utilizzano questo approccio per descrivere l'evoluzione del sistema di innovazione in campo elettrotecnico in generale e di quello italiano dalle origini al primo consolidamento di sistema (1883-1914), periodo nel quale opera Giuseppe Colombo (Milano 1836-1921), autore dei saggi qui raccolti.

Base epistemica e innovazioni maggiori nel campo dell'elettricità.

Come è noto il sistema di innovazione in campo elettrico rappresenta una fase nuova nella articolazione tra sapere epistemico e sapere utile. Fino all'età della seconda rivoluzione industriale, infatti, il sapere epistemico rappresentava una base generica del sapere utile per le innovazioni tecnologiche in senso stretto. La conoscenza di un po' di meccanica, per esempio, fu sufficiente agli innovatori della filatura tessile per meccanizzare la produzione nell'epoca della prima rivoluzione industriale.

L'elettricità dipende invece in maniera cruciale dalla conoscenza della fisica e in particolare dell'elettromagnetismo e le innovazioni maggiori dipendono dalle conoscenze scientifiche⁴; i primi costruttori di macchine generatrici appartenevano tutti alle università e, anche in seguito, il ruolo della scienza rimase essenziale per la soluzione dei punti critici che presentò l'evoluzione del paradigma elettrico⁵. Tuttavia, come ogni para-

digma tecnologico, il sistema elettrico possiede una specie di ciclo di vita, dalla macchina generatrice alla rete nazionale, che può essere descritto per fasi. Quella di cui ci occupiamo qui è quella iniziale connessa alla nascita del settore e del consolidamento della sua forma sistemica attorno alle tre fasi della produzione, trasmissione e distribuzione⁶. La fase di cui è protagonista in Italia Giuseppe Colombo è concentrata sul modo di produrre l'energia elettrica (generatori e correnti continue e alternate) e sui primi sviluppi della trasmissione a distanza.

Nella fase iniziale di un nuovo paradigma tecnico esiste in generale una certa varietà di tecnologie che vengono selezionate attraverso un processo di soluzione di punti critici da parte di attori che di solito provengono direttamente dal sapere epistemico nelle università o nelle accademie. Al termine di tale processo la tecnologia interessata si stabilizza attorno a una forma relativamente definita dell'artefatto in cui è incorporata: nel caso dell'elettricità, il generatore. Questo segna le linee guida della soluzione dei problemi successivi, per i quali sono le innovazioni minori a rappresentare il grosso della ricerca al fine di superare i "salienti avversi" e i punti critici inerenti le componenti delle macchine per la generazione dell'elettricità, i conduttori, gli interruttori, e la varietà delle scelte adottate per risolverli. Ed è in questa fase che cresce il ruolo della ricerca organizzata da parte di imprese sempre più grandi, in grado di affrontare i problemi del sistema elettrico su una scala via via più complessa.

L'artefatto: il generatore magneto-elettrico.

Come è noto la prima macchina generatrice di energia elettrica fu l'apparecchio di induzione di Faraday che consisteva in

6. A. Wilke, S. Pagliani, *Le grandi scoperte: l'elettricità*, Utet, Torino 1898.

3. G. Dosi, *Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change*, "Research Policy", 11(3), 1982, pp. 147-162.

4. Mokyr, *Useful Knowledge ...*, cit.

5. J.S. Faubl, W. Meyer, *A History of Electricity and Magnetism*, MIT Press, Cambridge (Mass.) 1973.

un rocchetto di filo di rame con un nucleo di ferro nella cui cavità era inserito un rocchetto più sottile eccitato da una batteria. Faraday scoprì che, chiudendo il circuito della batteria, la corrente eccitava il rocchetto esterno anche senza contatti diretti.

Il generatore magneto-elettrico di Faraday attirasse l'attenzione di alcuni costruttori che ne intravidero le possibilità commerciali. Tra il 1832 e il 1840 ne furono costruiti vari modelli, peraltro tutti molto simili, a opera del francese Hippolyte Pixii, dei britannici Edward M. Clarke e William Ritchie e dell'americano Joseph Saxton. In questi primi apparecchi il sistema di rotazione dell'armatura a rocchetti produceva corrente alternata, ma, fino alla metà degli anni settanta, non si riconobbe un uso pratico di questa forma di energia. D'altra parte la corrente continua era più adatta ai consumi contemporanei: alimentazione delle lampade ad arco, la cui costruzione era iniziata già nel primo decennio dell'Ottocento, galvanotecnica e telegrafia⁷.

Il primo problema che si presentò ai costruttori dopo le scoperte di Faraday fu dunque quello di trovare un sistema per trasformare la corrente alternata in continua. Pixii costruì una macchina in cui i rocchetti indotti erano fissi, mentre la calamita ad U era girevole, azionata da una manovella. La posizione fissa dell'indotto era resa necessaria da questo delicato congegno di commutazione.

L'apparecchio fu chiamato commutatore e questo metodo di commutare la corrente divenne lo standard riconosciuto per i macchinari a corrente continua. L'invenzione permise alla produzione meccanica di energia elettrica di trovare le basi per una sua prima diffusione, ma, nello stesso tempo, ne determinò il

principale saliente avverso. L'apparecchio impediva una diretta immissione in circuito della corrente prodotta, provocava forti perdite e non permetteva di raggiungere le elevate tensioni richieste per trasmettere a distanza l'energia, come necessario per ampliare così l'utilizzo, dato che maggiore è la tensione di trasmissione, minore risulta la dispersione di energia.

Ogni utente, insomma, doveva avere la propria macchina generatrice. Per questo l'interesse per l'uso industriale delle macchine magneto-elettriche rimase limitato alla telegrafia e alla galvanotecnica.

In realtà, nella telegrafia la macchina elettrica era un sostituto con maggiori problemi della tradizionale pila, mentre i galvanotecnici avevano interesse a produrre la corrente mediante macchine a vapore accoppiate a generatori di corrente elettrica.

Come ricorda Colombo, nel primo dei saggi inclusi in questa raccolta, fu il belga Floris Nollet a mettere a punto una macchina a cui si potesse applicare la forza vapore senza rischi di dissesto. L'occasione venne tuttavia dal diffondersi, dal 1850, dell'illuminazione dei fari con luce a calce. Lo stesso Nollet pensò di produrre i grandi quantitativi di ossigeno che erano necessari con quella nuova tecnica rendendo incandescenti dei blocchi di calce mediante la fiamma ossidrica, utilizzando l'elettrolisi dell'acqua. La società francese Alliance realizzò il progetto di Nollet nel 1855. Il generatore che ne uscì fu la più grossa macchina del genere costruita fino ad allora, uno dei vari modelli pesava circa tre tonnellate. Correnti e tensioni erano molto basse e la disposizione meccanica era molto dispersiva per le linee di forza magnetica, tanto che, azionata da un motore a vapore a 600 giri al minuto, dava una potenza di appena 1,3 kW.

Il punto critico di questa fase era dunque rappresentato dalle grandi macchine magnetiche necessarie al funzionamento

7. R. Giannetti, *Tecnologia ed economia del sistema elettrico*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia*, vol. I, *Le origini*, a cura di G. Mori, Laterza, Bari 1992, pp. 355-447.

dei generatori. La necessità di calamite permanenti grandi e pesanti imponeva macchine di dimensioni e peso notevoli e molto costose. Inoltre i magneti si indebolivano rapidamente e il rapporto tra la forza motrice impiegata e l'energia elettrica ottenuta era molto basso.

A questo scopo si tentò di sostituire le calamite permanenti con degli elettromagneti. Furono tentate diverse soluzioni, sia negli Stati Uniti sia in Germania e in Inghilterra, ma fu Ernst Werner von Siemens, verso la fine del 1866, a costruire una macchina che sfruttava compiutamente il principio dell'autoeccitazione e risolveva il problema del campo magnetico per mezzo della stessa macchina generatrice.

Prima che ciò avvenisse, lo stesso Siemens, nel 1856, aveva già risolto un altro problema critico, la forma dell'armatura del generatore, adottando l'armatura a doppio T che rappresentò una delle maggiori innovazioni nella storia dei generatori, imponendosi come standard per le macchine a corrente continua esteso in seguito anche a quelle a corrente alternata.

Il nuovo apparato presentava notevoli vantaggi meccanici e magnetici e forniva una buona corrente uniforme; esso però surriscaldava ancora il ferro dell'indotto a causa del rapido e continuo alternarsi della polarità magnetica. In tal modo il suo impiego restava limitato all'integrazione delle tradizionali pile voltaiche.

È in questa fase di prima stabilizzazione della macchine magneto-elettriche che si colloca il contributo maggiore della ricerca italiana all'evoluzione delle macchine per la generazione dell'elettricità. Nel 1870, Antonio Pacinotti risolse il problema mettendo a punto un generatore magneto-elettrico con un'armatura ad anello invece che a doppia T.

Si tratta di un caso esemplare delle modalità di soluzione di

punti critici nelle fasi iniziali di una tecnologia. I problemi che si pongono sono infatti fortemente collegati alla base epistemica e dipendono essenzialmente dalle competenze degli scienziati di professione che li affrontano e dalle caratteristiche dei laboratori di ricerca universitari in cui operano. Gli artefatti, come le macchine magneto-elettriche di questa fase, erano infatti direttamente costruiti dagli scienziati come strumenti per la verifica sperimentale di studi prevalentemente teorici.

È grazie al passaggio alla scala industriale che vengono affrontati i punti critici necessari a sviluppare adeguatamente la tecnologia produttiva. Fu infatti l'ingegnere belga Zénobe Theophile Gramme a perfezionare e portare a scala industriale la macchina inventata da Pacinotti, risolvendo due punti critici minori della stessa costituiti dalla formazione di correnti parassite e dal surriscaldamento della dinamo. Tali difetti di funzionamento avevano del resto motivato il rifiuto opposto alla concessione del brevetto allo stesso Pacinotti.

Queste due innovazioni permisero un allargamento dell'utilizzo delle macchine magneto-elettriche, successivamente denominate dinamo, dall'originale funzione di riserva delle pile voltaiche alla produzione di correnti ad alta intensità per la galvanostegia.

Verso la metà degli anni settanta un altro campo di attività si aprì all'utilizzazione della dinamo: l'alimentazione degli impianti di illuminazione con lampade a incandescenza. Il problema principale, in questo caso, era rappresentato dalla tensione più elevata richiesta, pari a 50÷100 V. Il punto critico era che nelle macchine a corrente continua le tensioni elevate producevano un salto di potenziale al commutatore che costituiva un serio rischio per la stabilità della macchina.

Fu ancora Gramme, agli inizi degli anni settanta, a risolvere

il problema: per ovviare all'inconveniente del surriscaldamento e dello scintillio, inevitabile se si fosse concentrata tutta la potenza in un'unica unità generatrice, collegò in serie tre macchine di bassa potenza e riuscì così ad alimentare dei circuiti comprendenti ben 500 lampade.

Giuseppe Colombo, autore nel 1877 del primo esperimento pubblico di illuminazione elettrica in piazza del Duomo a Milano, si inserisce nella vicenda dell'evoluzione dell'elettrotecnica proprio a questo punto della traiettoria del paradigma dell'elettricità.

Dalla macchina generatrice al "sistema elettrico": innovazione tecnologica ed innovazione "schumpeteriana".

Fino a quel momento i generatori erano stati concepiti per l'autoproduzione di energia e per l'alimentazione di singoli impianti. In pratica l'utente che avesse voluto utilizzare l'energia elettrica doveva provvedere al generatore e all'impianto. Ciò naturalmente precludeva quasi totalmente questo servizio agli utenti privati, in particolare nel campo dell'illuminazione. Si trattava, insomma, di passare dalla costruzione della macchina alla costruzione della "rete". Fu Thomas A. Edison, nel 1879, a muoversi tra i primi in questa direzione costruendo lampade a incandescenza servendosi per la loro alimentazione di un generatore la cui principale caratteristica era l'armatura a bassa resistenza⁸.

Il costruttore americano non introdusse innovazioni rilevanti nella costruzione delle macchine, anzi le sue scelte furono spesso fortemente criticate, per la loro rozzezza e approssima-

8. Anche l'invenzione delle lampade a incandescenza è una di quelle che vede una simultaneità di attori tra cui, ad esempio, il piemontese Alessandro Cruto o il tedesco Heinrich Goebel.

zione, da parte degli ambienti scientifici. Il suo contributo innovativo si colloca dal lato dell'uso dell'energia elettrica, che gli scienziati dell'epoca consideravano limitato e imperfettamente sostitutivo di servizi ben consolidati ed efficienti come quelli del gas per l'illuminazione e quelli del vapore per la forza motrice.

Edison si pose in concorrenza diretta con il gas inaugurando il primo sistema di produzione di energia per scopi commerciali e, in quello stesso 1879, costruì il primo grande impianto di distribuzione di energia per illuminazione, la Pearl Street Station di New York. L'impianto era collocato al centro di un distretto molto popolato, in modo da disporre di un'ampia domanda in un raggio relativamente breve, riducendo così le perdite per distribuzione.

Per risparmiare spazio, Edison adottò un sistema di accoppiamento diretto fra motori e dinamo. Queste ultime erano state progettate per tensioni massime di 140 V e 600 A a 650 giri/min. Ciascuna delle sei unità dell'impianto originale poteva alimentare 1200 lampade. L'impianto però si avvaleva di macchine troppo grandi per la produzione di corrente a due poli. Edison tornò allora all'uso di unire un grande numero di piccole macchine con il sistema di trasmissione a cinghia. Questa soluzione fu considerata relativamente rozza, ma assicurava una maggiore flessibilità alla produzione, perché, pur con l'intervento manuale di un operatore, rendeva possibile inserire e disinserire le macchine a seconda della domanda di energia. Per la distribuzione Edison progettò un sistema di condutture a tre cavi, due a 250 V e uno neutrale che riduceva, per induzione, la tensione a 100/150 V, cioè quella massima applicabile alle lampade del tempo.

L'approssimazione costruttiva dell'impianto di Edison sia nel campo delle macchine generatrici sia per le lampade a

incandescenza, come si è già ricordato, era stata oggetto di critica da parte degli universitari studiosi di elettrotecnica. Gli italiani, per esempio, diffidavano di tutto quello che veniva da Menlo Park, il centro di produzione della Edison dove ricerca e applicazione industriale venivano condotte in maniera integrata.

L'innovazione di Edison perciò non fu tanto di tipo tecnologico quanto nel modo di rappresentare il problema da risolvere: l'obiettivo di ampliare la domanda era per Edison il punto da cui partire per introdurre le innovazioni minori necessarie, più o meno eleganti che fossero dal punto di vista delle soluzioni progettuali.

Si è visto sopra, ad esempio, come a Pearl Station la flessibilità della produzione necessaria ad alimentare consumatori diversi in orari diversi fosse ottenuta tornando all'uso di molte macchine azionate manualmente. Fu questa stessa prospettiva di utilizzatore della macchina generatrice per il servizio pubblico di illuminazione a spingere Giuseppe Colombo a compiere la scelta molto rischiosa di adottare il sistema Edison nella centrale milanese di Santa Radegonda, nel 1882, la cui precisa descrizione è oggetto del secondo articolo riprodotto in questo volume, *Illuminazione elettrica*, del 1885.

Per spiegare questa scelta è opportuno ricordare che la tradizione delle imprese milanesi era quella della gestione dei servizi, del gas di città e delle risorse idrauliche, trasportate in città per alimentare le macchine. L'acquisizione diretta, quasi "chiavi in mano", dell'impianto e della rete da terzi (nella fattispecie da Edison) rispecchiava pertanto gli obiettivi e le competenze dell'impresa milanese e dei suoi dirigenti. In tal modo si superava la proposta per la fornitura del servizio da un'impresa svizzera. L'applicazione della nuova tecnologia americana, a differenza di altre esperienze nazionali coeve, non

fu pertanto accompagnata da una diversificazione verso la produzione elettrotecnica, ma rimase strettamente collegata entro l'orizzonte dell'impresa di pubblica utilità⁹.

Da quel momento, la macchina elettrica divenne così un prodotto commerciale, ma la produzione delle macchine generatrici e delle modalità della distribuzione e uso dell'energia elettrica cominciarono a porre problemi non più risolvibili all'interno del rapporto informale tra il sapere epistemico, coltivato nelle istituzioni universitarie, e il sapere utile sviluppato dalle imprese meccaniche che erano state all'origine del settore delle costruzioni elettriche presenti in tutta Europa e negli Stati Uniti. Il nuovo saliente avverso era rappresentato dalla natura di "sistema di rete" che l'uso dell'elettricità veniva assumendo di fronte alla crescita e alla diversificazione della domanda. A questo dettero risposta le nuove grandi imprese (Edison, Siemens, Ganz, AEG, Brown Boveri etc.) capaci di coordinare la ricerca in campi che non si limitavano all'applicazione dell'elettromagnetismo, ma richiedevano competenze più diversificate, anche in discipline non direttamente legate all'elettromagnetismo stesso come la matematica.

Questi esiti fecero diventare critico l'uso della corrente continua che fino a quel momento era utilizzata in via prevalente, perché da un lato non poteva raggiungere tensioni elevate e, dall'altro, non permetteva di ottenere tensioni diverse in uno stesso sistema, come invece era richiesto dalla diversificazione dei consumi.

Per ovviare a questi problemi venne ripresa in considerazione la generazione di energia per mezzo della corrente alternata. Come si è visto sopra, questa era stata sviluppata prima di

9. C. Pavese, *La prima grande impresa elettrica: la Edison*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia*, vol. I, *Le origini*, cit., pp. 449-521.

quella continua, ma era stata abbandonata per la presenza di condizioni di contesto inadatte sia dal lato della domanda sia da quello dell'offerta.

Dal lato della domanda i galvanotecnici, che rappresentavano i consumatori principali in quella fase, richiedevano tensioni molto basse e dunque non erano interessati alla corrente alternata, mentre dal lato della tecnologia il saliente avverso era rappresentato dalla trasformazione, che era ancora un punto critico insoluto.

Il vantaggio delle correnti alternate, come già detto, è rappresentato dalla possibilità di essere trasmesse, una volta elevata la tensione, anche a grande distanza; il problema era di trovare il modo di ridurre queste tensioni a fine percorso per renderle adatte all'utilizzo.

Questa funzione venne svolta dal trasformatore, una "innovazione maggiore", che consentì il passaggio del settore della produzione elettrica alla fase della "rete". L'introduzione dell'alternatore, lo schema teorico del quale non differiva da quello delle macchine a corrente continua, costituì un momento fondamentale nella storia dell'industria elettrica, dato che l'assenza del commutatore permetteva di accrescere indefinitamente la capacità di singole unità di generazione.

In Europa la prima utilizzazione pratica della corrente alternata fu fatta da Gramme. L'occasione si presentò con l'invenzione, nel 1876, delle nuove lampade dette "candele elettriche" dell'ingegnere russo dei telegrafi Paul Jablochhoff, che davano un buon rendimento solo a corrente alternata.

Ancora Gramme, nel 1878, mise a punto il primo alternatore per l'alimentazione di un piccolo circuito sperimentale. Il sistema ebbe grande successo e, a partire da quell'anno, fu applicato all'illuminazione delle strade a Parigi e in altre città euro-

pee. Un piccolo impianto di questo tipo venne costruito, sempre nel 1878, anche in Piazza del Duomo a Milano, a opera di Alfred De Kunwald¹⁰.

In un primo tempo anche Giuseppe Colombo era stato un fautore di questo sistema di illuminazione, come si evince dalla sua conferenza del 1879 che apre questa raccolta, tenuta alla Società d'incoraggiamento d'arti e mestieri di Milano dove aveva fatto installare un impianto di questo tipo. Già in occasione di una precedente conferenza data qui due anni prima ricordava di avere acceso davanti al suo uditorio una candela elettrica di Jablochhoff, che disse essere stata "fabbricata lì per lì nel nostro laboratorio".

La diffusione della nuova macchina di Gramme non dipese tanto dalla crescita dei consumi per illuminazione, quanto dal fatto che l'alternatore permetteva di alimentare vari circuiti con una sola macchina senza commutatore. Come si è visto sopra, era questo problema ad aver ostacolato la diffusione delle grandi macchine generatrici a corrente continua nei primi anni ottanta. La soluzione fu trovata facendo in modo che le spirali dell'indotto fossero collegate in tensione a due a due e la corrente prodotta dalla coppia fosse immessa direttamente in circuito tramite un collettore a spazzole. La prima macchina a corrente alternata di Siemens, che presentava dodici spirali, poteva ad esempio alimentare sei circuiti contemporaneamente.

L'uso dell'alternatore si diffuse piuttosto rapidamente in Europa a opera di diversi costruttori di vari paesi come Ganz, De Ferranti, Siemens, Oerlikon, AEG e grazie alla rapida stabilizzazione costruttiva della macchina di Gramme che poteva contare su soluzioni già adottate nelle macchine a corrente conti-

10. G. Colombo, *L'illuminazione elettrica*, in questo volume, pp. 7-11

nua. Ad esempio, ci si orientò decisamente verso le armature a tamburo per la facilità di costruzione e per la maggior compattezza meccanica di quel tipo di armatura.

Nello stesso tempo la teoria del trasformatore faceva registrare un importante contributo italiano da parte di Galileo Ferraris. Ferraris sviluppò infatti una teoria sul ruolo delle perdite per isteresi e delle correnti parassite nella riduzione del rendimento del trasformatore, sulla cui base le imprese produttrici di macchine generatrici introdussero il grappolo di innovazioni minori che ne fecero aumentare la percentuale di trasformazione fino al 95%, già prima della fine del XIX secolo.

Dal sistema alla rete: la trasmissione a distanza dell'elettricità.

Il problema di trasmettere energia elettrica a distanze elevate si era posto all'attenzione degli ingegneri elettrotecnici già all'inizio dell'uso delle tecnologie elettriche. I primi tentativi di trasmissione di energia a distanza con l'elettricità vennero fatti all'Esposizione di Vienna del 1873, utilizzando la corrente continua. Un motore a gas attivava una dinamo di Gramme, la quale trasmetteva la corrente ad un'altra dinamo alla distanza di 1100 m, che comandava a sua volta una centrifuga.

Il primo ingegnere elettrotecnico a eseguire ricerche sistematiche sulla trasmissione a grandi distanze della corrente continua fu il francese Marcel Deprez nei primi anni ottanta. Le sue ricerche, tuttavia, per l'ostinazione dello stesso Deprez ad avvalersi della corrente continua, fallirono. Al Congresso internazionale degli elettrotecnici in occasione dell'Esposizione internazionale di elettricità di Parigi del 1881, Deprez presentò per esempio un esperimento di trasmissione di una potenza di 10 CV sopra un filo telegrafico ordinario del diametro di 4 mm

alla distanza di 50 km, impiegando una potenza di 16 CV, quindi con una percentuale di dispersione superiore al 50%, considerata inaccettabile.

Il sistema di trasmissione elettrica dell'energia si diffuse con grande rapidità quando si cominciò ad adottare la corrente alternata.

Gli alternatori presentavano, per la produzione di alte tensioni, vantaggi sui generatori a corrente continua, poiché la corrente passava dai rocchetti dell'indotto al circuito esterno senza contatti a sfregamento. Inoltre non era necessario avere delle macchine generatrici ad alta tensione poiché, mediante un trasformatore, si poteva elevare la bassa tensione in alta tensione, trasmetterla a distanza e, con altri trasformatori, ridurla di nuovo ad un valore pratico e adattabile a motori e lampade.

Il primo esperimento di trasmissione elettrica di energia con motori polifasi di questo tipo (in particolare un generatore di corrente polifase Oerlikon e il motore Dobrowolski) venne fatto fra Lauffen e Francoforte nel 1891. A Lauffen, che si trova presso Heilbronn, la fabbrica di cemento Portland possedeva una forza idraulica di 1500 CV, fornita da una cascata artificiale del Nekar, la quale venne impiegata per fornire energia elettrica per la illuminazione di Heilbronn e per forza motrice. L'esperimento prevedeva di trasportare 300 CV a una distanza di 175 km e fu messo in atto dalla AEG insieme alla Oerlikon. Il macchinario generatore era costituito da una turbina di 300 CV che attivava un alternatore trifase. L'alternatore generava tre correnti ad alta tensione trasportate su una linea a tre conduttori di rame. All'estremità di questi c'erano due distinte deviazioni, una delle quali andava a un trasformatore il cui circuito secondario

alimentava delle lampade, l'altra a un altro trasformatore che serviva per dare forza motrice.

Si era risolto, per la prima volta, il problema di costruire un sistema di generazione-trasmissione-trasformazione in grado di alimentare utenti con tipologie di consumo differenti come l'illuminazione e la forza motrice. A questo risultato contribuì in maniera cruciale ancora una volta Galileo Ferraris con la descrizione analitica del motore a campo rotante, innovazione che Ferraris condivise con Nikola Tesla.

Lo schema della macchina era il seguente: sopra un anello di ferro erano avvolte due spirali le cui estremità erano unite a quattro anelli su cui erano appoggiate a strofinamento quattro spazzole. Facendo ruotare l'anello tra i due poli magnetici, venivano generate nelle due spirali delle correnti alternate le cui fasi differivano tanto più quanto più le spirali erano distanti fra loro. Queste correnti potevano essere raccolte con quattro conduttori e alimentare così due circuiti. In questo modo, con un'opportuna disposizione di tre spirali, si potevano avere tre correnti di fasi diverse e con tre conduttori alimentare tre circuiti. Questo sistema permise finalmente di utilizzare le correnti alternate per alimentare le macchine utensili.

L'innovazione dette luogo a un contenzioso sulla priorità dell'invenzione tra lo scienziato italiano e Tesla e i suoi partner americani. Fedele a un atteggiamento prettamente accademico, Galileo Ferraris evitò la polemica e rinunciò a rivendicare la priorità dell'innovazione, considerando il frutto della ricerca bene comune. Una visione ben diversa da quella che si stava diffondendo tra gli scienziati innovatori di quel tempo, come Tesla medesimo, che invece consideravano normale lo sfruttamento economico dei risultati della ricerca.

Una situazione in parte diversa fu il contenzioso tra Pacinotti e Gramme che riguardò proprio il brevetto della macchina magneto-elettrica. In quel caso la controversia si risolse a favore di Gramme perché la sua dinamo funzionava perfettamente e quella di Pacinotti no. Pacinotti infatti aveva dato un contributo essenzialmente teorico e l'artefatto da lui presentato era un piccolo motore che serviva a illustrare il risultato della teoria, mentre Gramme aveva messo a punto un generatore per uso industriale.

All'inizio degli anni novanta si consolidò dunque la rappresentazione del settore elettrico come "sistema di rete" con le tre fasi di produzione, trasmissione, distribuzione per utenze diverse: illuminazione, calore e forza motrice. Le innovazioni maggiori – generatore e trasformatore – avevano ora una configurazione abbastanza stabile da permettere lo studio delle innovazioni minori e di sistema e la conseguente specializzazione dei diversi sistemi innovativi nazionali secondo le capacità locali e i percorsi di ricerca intrapresi.

Tra le capacità di natura locale ebbe un ruolo essenziale il sistema delle imprese elettromeccaniche. Furono i paesi in grado di costituire grandi imprese internazionali in questo campo a stabilire il loro vantaggio competitivo attraverso la progettazione integrata delle parti elettriche e meccaniche degli impianti nonché la definizione delle caratteristiche di esercizio degli impianti stessi e delle reti su scala globale¹¹. In quest'ultima direzione furono particolarmente attive le imprese tedesche, che associavano indissolubilmente alle macchine le norme di esercizio dettate dal Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE).

11. E. Weber, F. Nebeker, *The Evolution of Electrical Engineering: A Personal Perspective*, IEEE Press, New York 1994.

Questo spiega, tra l'altro, perché il numero dei brevetti internazionali tedeschi nel settore fosse inferiore a quello di costruttori di altri paesi: le interdipendenze tecnologiche e di esercizio degli impianti di produzione e trasmissione assicuravano direttamente il carattere proprietario delle tecnologie.

Dagli anni novanta, dunque, la presenza di grandi imprese divenne il requisito per giocare un ruolo significativo nello sviluppo delle innovazioni di sistema in campo elettrico, mentre la loro assenza spiega la specializzazione della ricerca e la tipologia delle innovazioni nei paesi privi di un sistema di grandi industrie elettromeccaniche.

L'Italia si trovò in quest'ultimo gruppo. Nel campo delle imprese, ad esempio, non sopravvissero al processo di selezione globale costruttori – anche di media dimensione, come Tecnomasio o Morelli, Franco e Bonamico – che pure fino al volgere del XIX secolo avevano realizzato molti impianti di piccola taglia. E non sopravvissero neppure costruttori di parti del sistema elettrico, come le lampade: è questo in particolare il caso dell'impresa Cruto, pur capace di costruire lampade di eccellente livello tecnico.

Regolarità e contingenze dell'innovazione elettrotecnica.

Il trentennio coperto dai saggi qui raccolti rappresenta la prima fase di consolidamento di una tecnologia, quella elettrica, che va dalla costruzione delle prime applicazioni dell'elettromagnetismo alla costruzione delle prime reti di trasmissione di lunga distanza che saranno al centro della fase successiva, a partire dal primo dopoguerra.

È possibile identificare in questo percorso alcune regolarità

che caratterizzano l'evoluzione di quasi tutte le tecnologie nuove. In primo luogo la loro relazione con la base della scienza di settore. Nel caso delle tecnologie elettriche è assai più diretta e complessa di quella delle tecnologie meccaniche sviluppatesi a partire dalla prima rivoluzione industriale; gli scienziati sono infatti in prima fila nella selezione delle tecnologie e nella stessa costruzione delle diverse macchine generatrici introdotte, da Gramme a Zipernowski a Tesla; pertanto la soluzione dei punti critici è prevalentemente collocata dal lato dell'offerta.

Tuttavia, anche la domanda ha un ruolo importante per spiegare il ritardo dell'introduzione delle correnti alternate, scoperte per prime, ma trascurate perché poco interessanti per la domanda degli anni settanta e ottanta concentrata sugli usi termici come la galvanostegia e l'illuminazione ad arco.

La seconda regolarità che si può osservare riguarda la varietà delle soluzioni proposte e la progressiva selezione di standard di costruzione e di esercizio. Questa convergenza non è altresì assoluta, ma dipende dai contesti nazionali in cui si sviluppa.

Negli Stati Uniti, per esempio, l'attenzione al mercato, alla domanda, fu un fattore di innovazione molto più potente che in Europa continentale. Il caso di Edison è esemplare di questo approccio nella strategia di proporre agli utenti la distribuzione centralizzata di energia elettrica pur in presenza di punti critici importanti irrisolti, come il rischio di dissesto dei circuiti e la difficoltà di accoppiare le macchine generatrici di grande scala alla distribuzione per utenze con carichi diversi.

Diversa era la situazione in Europa, in particolare in Germania, nella quale la soluzione dei problemi avveniva nella

fase progettuale e perciò dava luogo a ritardi nell'introduzione dei nuovi apparati che però erano più stabili ed efficienti.

La terza regolarità è rappresentata dalla presenza di innovazioni maggiori e di grappoli di innovazioni minori a esse collegate: le une, come la dinamo, il commutatore e il trasformatore, hanno una maggiore dipendenza dal sapere scientifico in senso stretto. È per questo motivo che le innovazioni maggiori possono svilupparsi simultaneamente in paesi differenti, grazie alla libera circolazione delle idee, tipica degli ambienti scientifici del secolo XIX, ben lontani dall'idea di un'appropriazione privata della conoscenza a fini economici che proprio in quel periodo iniziò a diffondersi anche in ambiente accademico.

In realtà la selezione degli innovatori e la definizione delle linee di sviluppo del paradigma tecnologico avvengono soprattutto sulla base di condizioni locali come la disponibilità di fornitori di parti meccaniche o di materie prime da parte di altri innovatori in campi complementari, spesso sostenuti da politiche pubbliche appropriate ed efficaci, come nel caso della Germania. In linea generale, alla stabilizzazione delle tecnologie si accompagna anche la selezione delle imprese, che dà luogo alla diminuzione del loro numero e alla crescita della loro dimensione.

Nella fase iniziale di una tecnologia molte piccole imprese entrano nei mercati locali, soprattutto se questi sono di piccole dimensioni, assorbendo o imitando tecnologie esterne e adattandole al contesto.

Nel caso italiano, per esempio, per tutti gli anni ottanta e fino alla metà dei novanta moltissime aziende avevano realizzato impianti locali di piccola scala. Dopodiché, la crescita della complessità del prodotto le aveva poste di fronte a difficoltà superiori alle loro competenze: si pensi, per citarne uno, al

problema delle perdite dell'efficienza delle macchine al crescere della scala e delle diverse condizioni d'uso.

Questo processo favorì l'espansione di poche grandi imprese – Siemens, General Electric, Westinghouse, Philips, Brown Boveri, AEG e poche altre – in grado di coordinare le competenze e le capacità industriali per costruire un sistema di rete sempre più complesso.

Va detto a questo proposito che il processo di stabilizzazione delle tecnologie e degli artefatti che ne derivano non comprende le tecnologie e le relative innovazioni che dipendono dall'organizzazione della vendita dell'energia come servizio. È infatti possibile che in un paese la diffusione dell'energia elettrica dipenda anche dalle condizioni della domanda locale, ovvero dall'esistenza di un settore di servizi pubblici sviluppato. In questo caso sarà il fornitore dei servizi invece che l'impresa produttrice di macchinario elettrico ad acquisire l'innovazione che gli permetta di aprire nuovi mercati.

È questo il caso della precocissima introduzione del servizio elettrico a Milano, proprio da parte della Edison di Colombo¹². Le nuove tecnologie, in questo caso, vennero acquistate via via che si presentavano punti critici per la commercializzazione dell'energia da parte dell'impresa milanese.

Ancora esemplare, in questo senso, la strategia dello stesso Colombo che, nel volgere di pochi anni, passò dalla sperimentazione di un piccolo impianto di illuminazione a corrente alternata con candele Jablochkoff all'acquisto “chiavi in mano” dell'impianto a corrente continua di Santa Radegonda, come attesta la sua corrispondenza con Edison, fino poi all'acquisizione del sistema Gaulard & Gibbs per la trasmissione di

12. Pavese, *La prima grande impresa ...*, cit.

corrente alternata (1884); e ancora dall'acquisizione, dall'impresa ungherese Ganz, del collegamento in parallelo dei trasformatori (1885) fino alla domanda per la concessione della derivazione d'acqua a Paderno, finalizzata alla costruzione di una centrale (1889) con ben due anni di anticipo rispetto al primo esperimento di trasmissione dell'energia tra Lauffen e Francoforte che abbiamo prima descritto.

La centrale di Paderno rappresenta un caso esemplare di precoce confronto degli esercenti milanesi con i problemi della trasmissione a distanza di energia elettrica prodotta da impianti idraulici, come si può leggere nel capitolo *La trasmissione elettrica della forza e il suo significato per l'avvenire dell'industria italiana* di Giuseppe Colombo e nella conferenza *La centrale di Paderno e la sua linea elettrica per Milano* di Guido Semenza, autore del progetto elettrotecnico della centrale, pubblicati entrambi in questo volume.

La specializzazione della ricerca italiana.

La fase delle reti rappresenta un punto di svolta nella ricerca italiana che si allontana dal terreno delle innovazioni maggiori e si specializza attorno ai problemi dettati dalla originale configurazione assunta dal sistema elettrico italiano che cominciava in quegli anni a sfruttare l'energia idraulica per alimentare i generatori e trasmettere l'energia a distanza verso i grandi centri di consumo, come illustra bene in questo libro la meticolosa rassegna dell'elettrificazione della Penisola pubblicata nel 1911 da Colombo con il titolo *Trasporto dell'energia*.

Del resto la Edison di Colombo, come già detto, aveva acquisito i diritti di sfruttamento dell'Adda presso Paderno, molto prima che gli sviluppi della tecnica permettessero concre-

tamente la trasmissione di energia elettrica a grande distanza. Questo impianto rappresenta altresì un esempio caratteristico delle modalità organizzative delle costruzioni elettrotecniche italiane nel lungo periodo¹³.

La costruzione era destinata all'esercizio di una rete tranviaria elettrica a Milano, ovvero l'iniziativa derivava dall'attività di fornitura di servizi di pubblica utilità. In secondo luogo, la costruzione dell'impianto e delle linee di trasporto costituivano punti critici mai affrontati fino a quel punto dalle grandi imprese costruttrici di materiale elettromeccanico, sia per la scala dell'impianto (5000 kW) sia per la tensione del trasporto (13.500 V) e per la distanza coperta (33 km). Per risolverli la Edison si rivolse a più costruttori, svolgendo in questo modo il ruolo di *network builder* tra imprese con competenze diverse per l'attuazione di un unico progetto sotto la direzione generale di Angelo Bertini. La progettazione fu affidata al giovane ingegnere Guido Semenza, direttore tecnico della società, con l'intervento essenziale di Galileo Ferraris e di Charles Brown per la parte elettrica, di Enrico Carli per la parte idraulica e di Cesare Saldini e Giuseppe Ponzio per le turbine idrauliche. Le forniture del relativo macchinario furono affidate a Brown Boveri per gli alternatori, alla casa Ganz per i trasformatori, per gli interruttori e il quadro a General Electric, per le turbine alla italiana Riva & Monneret.

La natura del sistema elettrico a base idraulica e la produzione di energia come servizio pubblico sono le due caratteristiche locali che spiegano anche la specializzazione innova-

13. C. Pavese, *Cento anni di energia: centrale Bertini, 1898-1999*, Società Edison/Silvana, Cinisello Balsamo 1998.

tiva propria di un paese privo di grandi imprese elettromeccaniche come l'Italia¹⁴.

L'utilizzazione dell'energia idraulica era una tradizione storica nell'Italia settentrionale, che già nella prima parte del XIX secolo aveva sviluppato tecnologie per trasportare l'acqua delle Alpi nei centri di consumo urbani e distribuirli per usi di forza motrice. Colombo ne fornisce una breve rassegna nel documento *Premio Edoardo Kramer. Rapporto della Commissione*. Furono queste competenze specifiche a essere sviluppate per risolvere anche i problemi legati a questioni elettrotecniche come la ripartizione proporzionale delle portate relativamente al carico elettrico variabile, o la regolazione dei flussi idraulici verso le turbine e le macchine generatrici. Si pensi, per fare un esempio, a Lorenzo Allievi che per primo risolse il fenomeno del "colpo d'ariete" nelle condotte forzate degli impianti idroelettrici¹⁵.

La tecnologia delle linee di trasmissione è un altro campo innovativo che conobbe uno specifico sviluppo in seno all'elettificazione dell'Italia settentrionale. In questo caso, i punti critici erano rappresentati dalle condizioni di trasporto dell'energia elettrica in situazioni ambientali rese difficili dalla presenza di neve e di ghiaccio. Numerose innovazioni minori furono sviluppate dai progettisti italiani per quanto riguarda la stabilità meccanica, le perdite di potenza e le cadute di tensione delle linee (Gino Reborà, Guido Semenza, Giacinto Motta, Italo Brunelli).

14. R. Maiocchi, *La ricerca in campo elettrotecnico*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia*, vol. I, *Le origini*, cit., pp. 155-159.

15. Il "colpo d'ariete" è un fenomeno di propagazione delle onde governato da un sistema lineare iperbolico e consiste in un'onda di pressione che si crea a causa dell'inerzia di una colonna di acqua che sbatte contro la parete di una valvola che viene chiusa o aperta in maniera improvvisa; è particolarmente critico per la tenuta meccanica delle condutture oltre che per la corretta regolazione del flusso d'acqua verso le turbine al variare del carico.

Il maggior numero di innovazioni si concentrò tuttavia sulla protezione delle linee dalle sovratensioni di origine esterna e interna e dalle scariche verso terra che ostacolavano la continuità del servizio. Un esempio ci è offerto dalla messa a punto di un sistema di protezione dalle scariche atmosferiche di sottostazioni e cabine fondato sulla gabbia di Faraday a opera di Guido Semenza, un altro esempio di innovazione in questo ambito è il sistema di smorzamento delle sovratensioni grazie al contributo di Gino Campos e l'isolamento delle linee ad altissima tensione settore in cui si distinse soprattutto Emanuele Jona.

Il continuo espandersi del consumo dell'energia elettrica per uso industriale pose in primo piano anche la questione della tariffazione per utenti che, a differenza degli utenti per illuminazione, erano soggetti a variazioni notevoli a seconda dei cicli di produzione interessati e che mettevano in gioco una elevata potenza reattiva. Una parte significativa della ricerca italiana si orientò su questi aspetti, studiando, ad esempio, come limitare tale potenza e ripartirne i costi tra produttori ed utenti. In questo campo, Riccardo Arnò e Angelo Barbagelata, entrambi del Politecnico di Milano, introdussero soluzioni efficaci nel campo dei metodi di misurazione della potenza rispetto all'andamento dello sfasamento dei carichi.

Ripeto il concetto già esposto in apertura di questo saggio. L'evoluzione di una tecnologia dipende dalle conoscenze scientifiche del tempo e dalle innovazioni tecnologiche, maggiori e minori, che l'accompagnano. Esse mostrano un percorso di sviluppo caratterizzato da una varietà di soluzioni che subiscono una selezione formando "linee guida" dell'attività di ricerca.

Come si è inoltre osservato la seconda componente dell'evoluzione di una tecnologia è rappresentata dai tratti specifici dei diversi contesti locali in cui si diffonde. Questo aspetto è centrale

per spiegare la capacità di taluni paesi di raggiungere una "soglia tecnologica" legata a peculiari competenze e risorse economiche. Nel caso dell'energia elettrica, è la presenza di grandi imprese integrate a permettere di risolvere i salienti avversi e i punti critici delle tecnologie elettrotecniche su base sistemica anche con l'intervento di appropriate politiche economiche, come nel caso della Germania e delle sue imprese, AEG e Siemens.

È in questa fase che altri paesi, già iniziatori dello sviluppo della tecnologia, si allontanano dalla soglia dell'innovazione e si specializzano in campi collegati alle risorse di cui dispongono e alla natura delle loro imprese per lo più rivolte ai servizi pubblici. Nel caso italiano ciò è attestato dalla scomparsa o dall'assorbimento di imprese elettromeccaniche, come il Tecnomasio, che dopo aver mancato la strategia di integrazione con la Edison di Colombo fu poi assorbito da Brown Boveri.

La coevoluzione di queste componenti imprime infine una dipendenza del percorso evolutivo del sistema. Le iniziali caratteristiche e complementarità di una tecnologia e del suo ambiente economico e istituzionale disegnano anche i tratti del suo cambiamento nel tempo.

In Italia sono la scarsità delle risorse energetiche fossili e la tradizionale sostituzione con quelle idrauliche a segnare il percorso di specializzazione della capacità innovativa nazionale attorno alla fornitura dei grandi impianti idraulici, alla soluzione dei problemi posti dall'elettromeccanica all'idraulica e alla costruzione delle linee, nell'arco di tempo di cui si occupano gli scritti di Colombo qui raccolti.

Riferimenti bibliografici

- Dosi, G., *Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change*, "Research Policy", 11(3), 1982, pp. 147-162.
- Faubl, J.S., Meyer, W., *A History of Electricity and Magnetism*, MIT Press, Cambridge (Mass.) 1973.
- Giannetti R., *Tecnologia ed economia del sistema elettrico*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia*, a cura di G. Mori, vol. I, *Le origini: 1882-1914*, Laterza, Roma-Bari 1992, pp. 355-447.
- Maiocchi, R., *La ricerca in campo elettrotecnico*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia*, vol. I, cit., pp. 155-159.
- Mokyr, J., *Useful Knowledge as an Evolving System: the view from Economic History*. Paper presented to the Conference on *The Economy as an Evolving System in honor of Kenneth J. Arrow*, Santa Fe, Nov. 16-18, 2001.
- Id., *Science, Technology and Knowledge: What Historians can learn from an evolutionary approach*, Max Planck Institute on Evolutionary Economics Working Papers 9803, 1998.
- Id., *La Seconda Rivoluzione industriale (1870-1914)*, in *Storia dell'economia mondiale*, a cura di V. Castronovo, vol. IV, *Tra espansione e recessione*, Laterza, Roma-Bari 2000, pp. 219-22.
- Hughes, T.P., *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1983.
- Pavese, C., *La prima grande impresa elettrica: la Edison*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia*, vol. I, cit., pp. 449-521
- Id., *Cento anni di energia: centrale Bertini, 1898-1999*, Società Edison / Silvana, Cinisello Balsamo 1998.
- Weber, E., Nebeker, F., *The Evolution of Electrical Engineering: A Personal Perspective*, IEEE Press, New York 1994.
- Wilke, A., Pagliani, S., *Le grandi scoperte: l'elettricità*, Utet, Torino 1898.

Scritti sull'elettrificazione

1879-1911

L'illuminazione elettrica*

Sono appena passati due anni dall'epoca in cui ho avuto l'onore di intrattenervi in questa stessa sala sulla luce elettrica ottenuta col mezzo della macchina dinamo-elettrica Gramme, ed ho espresso l'opinione che la questione dell'illuminazione elettrica aveva preso ormai, coll'introduzione di questa macchina, un indirizzo pratico, e non avrebbe tardato a scendere sul terreno dell'applicazione. Io non pensavo allora che quest'opinione dovesse essere così presto confermata dal fatto. Da allora a quest'oggi, infatti, la questione ha fatto un gran passo. Per tutta la durata dell'Esposizione¹, Parigi ha presentato il meraviglioso spettacolo di una illuminazione elettrica sfolgorante, installata regolarmente nel centro più frequentato della città. In pochi mesi il sistema provato a Parigi si estende in altre città; nuovi sistemi si immaginano e si vanno applicando in concorrenza con esso. Nell'ottobre scorso un articolo di un giornale americano, annunciando la soluzione completa del problema dell'illuminazione elettrica, fa impallidire gli azionisti delle Società del gas, mentre fa palpitare di speranza i consumatori; la speranza è in gran parte delusa, e nondimeno rimane ormai nell'animo di tutti la convinzione che l'applicazione della luce elettrica alla pubblica illuminazione è diventata una cosa possibile, e che la sua definitiva introduzione non è più che una questione di tempo.

Per comprendere come un così grande progresso si sia potuto compiere in così poco tempo, converrà riassumere rapida-

* "La Perseveranza", 21 aprile 1879. Conferenza alla Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri tenuta il 20 aprile 1879.

1. Allude all'Esposizione universale di Parigi del 1878, n.d.c.

Nota a questa edizione

La trascrizione dei testi originali a stampa ha conservato l'accentuazione, la punteggiatura e la grafia variabile di alcuni termini (es.: dinamo-elettriche/dinamo-elettriche).

Le edizioni utilizzate sono quelle originali confrontate con la raccolta degli *Scritti e discorsi scientifici*, ordinati da Federigo Giordano, Hoepli, Milano 1934.

mente lo stato della questione fino al punto in cui l'abbiamo lasciata due anni fa.

Dal 1813, epoca della memorabile scoperta della luce elettrica fatta da Davy, fino alla scoperta delle correnti d'induzione fatta da Faraday, o per meglio dire fino alla prima applicazione delle macchine d'induzione dell'Alliance all'illuminazione dei fari, *la luce elettrica* non si mostrava suscettibile di alcuna seria applicazione industriale; poichè per ottenerla, occorreva la pila, e ognuno sa che apparecchio farraginoso, incostante, pericoloso sia una pila di qualche centinaio di elementi. Colla introduzione delle macchine d'induzione, la questione prende tutt'altro aspetto. Con queste macchine, alle quali si è poi dato il nome caratteristico di macchine dinamo-elettriche, si trasforma la forza in corrente: basta una forza di pochi cavalli per lanciare in un filo metallico una corrente paragonabile a quelle delle pile più potenti.

La Società dell'Alliance fa il primo passo verso la soluzione generale del problema dell'illuminazione elettrica, applicando le macchine dinamo-elettriche ideate da Nollet ai fari e ai grandi cantieri di costruzione; senonchè queste macchine, se sono adatte a creare dei focolari luminosi e potenti, ma isolati, come li richiedono i fari, sono incapaci di fornire delle luci numerose e di intensità moderata, come si vogliono per l'illuminazione pubblica e privata. Viene finalmente Gramme, il quale, traendo un grande partito da un'idea che era già stata enunciata anche dall'italiano Pacinotti, crea il tipo di macchina che porta il suo nome. Con questa macchina la corrente elettrica diventa una cosa, per così dire, più alla mano; con una forza di 2 o 3 cavalli essa è già capace di dare una luce vivissima, intensa, come la luce di un centinaio di fiamme di gas.

Fu soltanto dopo gli esperimenti di Gramme, che si comin-

ciò a credere sul serio all'avvenire della luce elettrica. Una forte Società costituitasi a Parigi per usufruttarne il privilegio ne fece immediatamente numerose applicazioni. Ma la macchina di Gramme in breve non si trovò più sola; altre macchine le contesero il campo. Un grande esperimento, istituito nel 1876 a South Foreland in Inghilterra sotto la direzione del Prof. Tyndall, dimostrò la superiorità delle macchine Siemens su quelle di Gramme come economia d'impianto e come economia di forza; per cui ormai le prime vanno prendendo il posto delle seconde nelle nuove applicazioni.

A questo punto eravam giunti nel 1876 quando ho fatto in questa sala l'esperienza della luce elettrica. Un esperimento più grandioso si stava preparando in quei giorni in Piazza del Duomo, dove si installò un gran faro della forza luminosa di 500 fiamme di gas. Ma questo sistema d'illuminazione non ha soddisfatto nessuno. Non piacque la qualità della luce; ad onta che ci trovassimo in carnevale, il faro di Piazza del Duomo pareva fatto per ispirare delle idee di quaresima. C'era tuttavia una questione ancora più grave di quella del genere della luce. Si toccò con mano allora quello che già s'andava ripetendo prima: che cioè, per illuminare un grande spazio, un faro unico di 500 fiamme è ben lungi dal valere come 500 fiamme, e anche meno, ben ripartite in quello spazio; che, insomma, la luce elettrica non avrebbe mai approdato a nulla per l'illuminazione pubblica, se non si fosse trovato il modo di suddividerla.

Ecco posto adunque il grande e, diciamolo, il vero problema dell'illuminazione pubblica elettrica, la suddivisibilità della luce. Orbene, il progresso compiuto da allora a quest'oggi consiste appunto in ciò, che si è riuscito a suddividere la luce, non nella misura che si vorrebbe e che si spera ancora di raggiungere; ma più certamente che allora non si osasse sperare.

Io vorrei mostrarvi in che cosa consista la difficoltà del problema, e come questa non sia poi tanto grande come parve a prima vista.

Ecco una lampada elettrica, quella stessa della quale feci uso due anni fa. Lancio fra i suoi due carboni la corrente prodotta da una macchina Siemens a corrente continua, ed ecco formarsi fra le loro punte l'arco voltaico. È una specie di ponte luminoso, o per meglio dire è la traccia della corrente che salta dall'una all'altra punta in mezzo a un pulviscolo di carbone incandescente. Nel compiere questo salto, la forza della corrente si esaurisce, e tanto più quanto più il salto è grande. Ora, qui sotto c'è bensì un meccanismo delicatissimo, il così detto regolatore, che avvicina le punte mano a mano che si consumano; ma non è un meccanismo perfetto come si vorrebbe, e non riesce ad accorciare il salto alla corrente se non quando esso è già diventato eccessivamente grande.

Per cui una volta che la corrente l'ha superato, non può più superarne altri, cioè non può più alimentare altre lampade poste nello stesso circuito. Se noi avessimo invece una lampada così fatta che offrisse alla corrente un salto moderato e soprattutto costante, allora questa conserverebbe ancora abbastanza energia da superarne degli altri consimili; e così sarebbe risolto il problema delle suddivisioni della luce. Succede alla corrente come succederebbe a uno, il quale, uscendo a passeggiare, si trovasse davanti a una montagna; egli la valicherà, ma dopo si troverà stanco, e non si sentirà più in grado di valicarne altre. Ma se invece di una montagna si trova davanti una serie di collinette, collo stesso dispendio di forza le potrà valicar tutte, l'una dopo l'altra.

Ora, è questo precisamente che il signor Jablochhoff è riuscito a fare coll'invenzione della sua candela elettrica.

Nel 1876 se ne parlava di già, e io mi rammento di averne fatto l'esperimento in quella stessa lettura sulla luce elettrica, servendomi di una rozza candela fabbricata lì per lì nel nostro laboratorio. È appunto il sistema Jablochhoff quello che fu applicato in grande l'anno scorso a Parigi, e che si diffuse rapidamente di poi in Europa e fuori di Europa, e di cui il signor De Kunwald ha fatto la prova in Piazza del Duomo, poche settimane or sono, con pieno successo.

Noi abbiamo qui un impianto completo di illuminazione con candele Jablochhoff, che io devo interamente alla gentilezza del signor Böhringer direttore della Società italiana di prodotti chimici. Nel cortile è installata una coppia di macchine dinamo-elettriche di Siemens, colla relativa macchina motrice a vapore; le macchine sono distribuite in questa sala, in numero di quattro, e ci vanno illuminando sin dal principio di questa lettura. Eccovi una candela. Son due bacchette parallele di carbone, lunghe circa 230 millimetri e grosse 4, divise da uno strato di 3 millimetri di spessore, che le tiene isolate l'una dall'altra. Il carbone delle bacchette è della solita composizione che si impiega per la luce elettrica, cioè un impasto di coke polverizzato, di nero fumo, zucchero e gomma. In cima alla candela c'è un ponticello di grafite che riunisce le punte dei due carboni, e che serve a lasciar passare la corrente all'atto dell'accensione. Una volta che la corrente è passata, subito si forma l'arco voltaico fra le punte accostate. Siccome però con una corrente sempre diretta in un senso i carboni si consumerebbero disegualmente, e l'arco voltaico si interromperebbe tosto, così bisogna far uso di correnti alternative, che cambino, cioè, alternativamente di senso a intervalli brevissimi; questa è una condizione necessaria che forma parte integrante dell'invenzione di Jablochhoff.

I carboni si consumano dunque in egual misura, e con essi

si consuma il gesso, volatilizzato dall'intenso calore; e siccome l'arco voltaico riesce così assolutamente di lunghezza costante, ed è brevissimo, e per di più il gesso, arroventandosi, diventa anche leggermente conduttore, e quindi offre alla corrente una specie di ponte, ben leggero in verità, ma pur sempre un ponte per superare il salto interposto, così la corrente lo supera agevolmente e conserva abbastanza energia per superarne degli altri. È così che in questa sala la corrente può alimentare contemporaneamente quattro candele poste nel medesimo circuito. La suddivisione della luce è raggiunta con un sistema di lampade estremamente semplice, e sopprimendo del tutto il meccanismo costoso, delicato e pur sempre imperfetto delle lampade a regolatore.

Delle macchine dinamo elettriche non dirò che poche parole. La *Société générale d'électricité* costituitasi a Parigi per usufruire il sistema Jablochhoff adoperò fino a qualche tempo fa le macchine Gramme le quali richiedevano una forza di $1\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ cavalli per ogni lampada, o candela. Ora adopera le macchine Siemens che richiedono qualche cosa meno di un cavallo, circa $\frac{3}{4}$ di cavallo per candela. Tali sono appunto quelle di cui ci serviamo stasera. Le macchine son sempre due: una piccola macchina eccitatrice, il cui compito è di generare una corrente continua nell'altra, che svolge la corrente alternativa impiegata per la luce. Il principio di ambo le macchine è sempre quello delle correnti di induzione, che si sviluppano quando si mettono in moto gli uni davanti agli altri dei rocchetti di filo metallico isolato avvolto attorno a un nucleo di ferro.

Il leggero magnetismo naturale del nucleo è la causa prima della corrente continua che si svolge dalla macchina eccitatrice; questa corrente, lanciata in una serie di rocchetti fissi disposti sulla seconda macchina, ne trasforma i nuclei in elettro-magneti,

o calamite a poli alternati; e queste calamite alla loro volta sprigionano delle correnti alternate in una serie di rocchetti senza nucleo impiantati in un disco che gira rapidamente fra gli elettro-magneti fissi. Tali correnti son raccolte in un punto solo, e lanciate in un circuito composto di un cavo o gomina di fili di rame, nel quale sono interposte le lampade. Il movimento è impartito separatamente alle due macchine dalla medesima motrice.

La suddivisibilità della luce col sistema Jablochhoff non è indefinita. Finora non si è arrivati a intercalare più di quattro lampade in un medesimo circuito. Ma siccome si possono fare macchine dinamo-elettriche capaci di fornire la corrente a più di un circuito, così con una sola coppia di macchine si possono alimentare anche più di quattro lampade. La nostra coppia, per esempio, è del più piccolo modello, e non alimenta che un circuito, ossia 4 candele; ma ce n'è un modello più grande, che ha due circuiti, quindi 8 candele; e uno più grande ancora, con 4 circuiti, e perciò 16 candele. Questo è, per ora, il limite massimo al quale si è giunti; ma non c'è alcuna ragione perchè sia impossibile di fare un modello ancora più grande, capace di fornire la corrente a più di 4 circuiti.

L'impianto di Piazza del Duomo, che alimentava 24 candele e lampade, si componeva di una coppia di macchine da 16 candele, e di due da 4; tutte queste macchine erano riunite insieme ed animate da un paio di locomobili della forza complessiva di 18 cavalli.

Una candela Jablochhoff dura circa 1 ora e un quarto, o poco più; per cui, volendo fare un'illuminazione più lunga, bisogna ricambiarla. Per fare questo ricambio, ogni lampada, come vedete, porta un certo numero di candele, secondo la durata dell'illuminazione; per esempio, 6 candele, che bastano per 8 ore

circa. Ogni lampada ha un commutatore intercalato nel circuito; cioè da una parte vi si attacca il filo che va alla lampada successiva, oppure che torna indietro alla macchina, se si tratta dell'ultima lampada. Dal primo filo la corrente è diretta, per mezzo di un manubrio, ad uno dei due carboni di una candela, mentre l'altro carbone è messo in comunicazione coll'altro filo, che comunica anche contemporaneamente con uno dei carboni di tutte le altre candele. Allora la corrente passa e si fa la luce con quella candela. Volendo spegnere una data lampada nel circuito, non ho che a far comunicare direttamente fra loro i due fili mediante un contatto metallico, cosicchè la corrente presceglie questa via, che è la più breve, invece di passare attraverso ai carboni.

È certo che questo dover ricorrere al commutatore per cambiar candela è assai incomodo, perchè esige un personale apposito che ogni ora circa faccia il giro delle lampade. Si è pensato a far la commutazione automaticamente, per esempio facendo appoggiare una leva contro la candela, sul punto più basso di questa; la qual leva, quando la candela, consumandosi, arriva a questo punto, casca e stabilisce un contatto pel passaggio della corrente nella candela successiva: ma non pare che questo congegno abbia corrisposto. È facile però immaginare qualche altra cosa di consimile, e anche di sostituire una specie di candela continua, avvolta, per esempio, a spirale. Si tratta di un particolare, il quale, non v'ha dubbio, potrà essere opportunamente perfezionato col tempo.

Molti fra gli spettatori delle prove in Piazza del Duomo hanno trovato che la luce delle lampade Jablochkoff era troppo bianca e che offendeva gli occhi. A me, a Milano come a Parigi, non fece questo effetto. Questa luce, ne abbiamo una prova anche stasera, ha qualche cosa di caldo, di roseo, che rallegra; è l'effetto del globo opalizzato e anche del gesso, il quale volati-

lizzandosi, trasforma l'arco luminoso in un'aureola rossastra, che ne diluisce l'intensità eccessiva e produce delle penombre.

Certo, se la si confronta colla luce del gas, del quale ho fatto tener acceso a bella posta due lampade di fianco a una lampada elettrica, la luce di questa appare di un bianco abbagliante; ma la colpa è della luce del gas, la quale diventa gialla, anzi verdastra, e fa una ben brutta figura al paragone. Se vedeste la luce di queste lampade elettriche di giorno, la trovereste quasi rossa. Quanto alla fatica degli occhi, certamente vi son taluni i quali, se l'illuminazione elettrica fosse introdotta a Milano, farebbero come quel parigino che faceva un gran giro per evitare la piazza dell'Opéra illuminata elettricamente, e voleva intentare al Municipio una causa per turbato possesso; ma anche per queste persone sensibili è questione di abitudine. Uscite al chiaro ad un tratto, dopo un lungo soggiorno in una grotta o in una cantina al lume di una candela, e vi parrà d'essere accecati dalla luce del giorno.

Sicuramente la luce di queste lampade non è senza difetti. Innanzi tutto è alquanto intermittente, in causa della irregolarità nella velocità delle macchine e della non perfetta omogeneità dei carboni. Poi, se per una causa qualunque, una candela si spegne, la corrente è interrotta e quindi si spengono tutte le altre candele intercalate nel circuito. Però l'esperienza prova che queste interruzioni non sono frequenti. A Parigi dal 30 maggio al 10 ottobre dell'anno scorso, cioè in più di quattro mesi, con 62 lampade accese tutte le sere sino a mezzanotte, ci furono solamente, secondo il rapporto ufficiale, 66 casi di interruzione, il più delle volte sopra 4 lampade, cioè su un circuito, qualche rara volta sopra 16 lampade, cioè sopra i 4 circuiti di una macchina, nel qual caso il difetto doveva provenire dalla macchina stessa.

Ho detto che attualmente le più grandi macchine dinamo-

elettriche, di Gramme o di Siemens, sono capaci di alimentare quattro circuiti soltanto, cioè 16 lampade Jablochhoff; che, però, non vedevo l'impossibilità di farne di più forti, capaci di alimentare un numero maggiore di circuiti, e quindi di lampade. Non-dimeno questa circostanza di dover assegnare una coppia di macchine per un gruppo poco numeroso di lampade, fosse anche di 40 o 50, e di non poter intercalare più di 4 lampade per ogni circuito, toglie evidentemente, non la possibilità, ma la convenienza di applicare questo sistema d'illuminazione a un'intera città. Ma se, invece di un'intera città si trattasse di illuminare un centro popolato di questa città che fosse il ritrovo favorito per i piaceri o per gli affari, come sarebbe da noi il centro costituito da Piazza del Duomo, Piazza della Scala e Galleria V. Emanuele; se, soprattutto, si trattasse di fare in questo centro un'illuminazione fastosa, allora si presenterebbe veramente il caso favorevole per applicare la luce elettrica. Così a Parigi il Consiglio comunale ha votato l'illuminazione per un anno della *Place* e dell'*Avenue de l'Opéra*, della *Place du Théâtre français*, della Piazza della Bastiglia e di uno scomparto delle *Halles centrales*, mediante 83 lampade Jablochhoff. A Londra si illumina a luce elettrica, sempre col sistema Jablochhoff, il Lungo-Tamigi e il viadotto di Holborn. Dove però la luce elettrica raggiunge il suo più alto effetto, è nei locali chiusi, in cui le pareti e il soffitto riflettono e concentrano una gran parte di quella luce che le lampade stradali inviano inutilmente alle stelle.

Chi non ha visto l'*Hippodrome* di Parigi, illuminato dapprima con 32, più tardi con 78 lampade Jablochhoff, non può farsi un'idea adeguata di quest'effetto. Perciò la luce elettrica si va introducendo in altri teatri: a Parigi nel teatro del *Châtelet*, a Pietroburgo nel Teatro imperiale. Per queste applicazioni la luce elettrica ha un vantaggio incomparabile, oltre quello dell'assen-

za completa di qualunque emanazione deleteria: il vantaggio, cioè, di conservare ai colori il loro esatto valore, come di giorno. È un vantaggio che le signore devono particolarmente apprezzare, se tengono a non perdere di sera l'effetto di quelle profonde combinazioni di tinte che esse solo sanno fare: lo apprezzano già le signore di Parigi, quando vanno a scegliere le loro stoffe di sera nei *Magasins du Louvre*, illuminati da 100 lampade elettriche. La potenza della luce elettrica, la sua bianchezza, l'innocuità, la sicurezza che essa presenta, sono qualità tali che oramai dovrebbero prescriverne l'impiego in tutti i pubblici stabilimenti, nelle stazioni ferroviarie, negli opifici industriali soprattutto. Già a quest'ora sono numerosissime le applicazioni di questo genere fattene in Francia e nel resto di Europa. Al 15 dello scorso marzo, 1430 lampade Jablochhoff, installate un po' dappertutto, funzionano diggià; e a tutt'oggi il loro numero deve essersi notevolmente accresciuto. Perfino nelle abitazioni private si è introdotta la luce elettrica: a Parigi nella palazzina del Signor Menier, il celebre fabbricatore di cioccolata, a Teheran nella reggia dello Scià di Persia.

Quando si tratta di illuminazione, la prima cosa che si deve fare è quella del costo. Ora è facile di dire quanto costa un'ora di illuminazione con una lampada Jablochhoff; ma non è altrettanto facile di determinare il costo comparativo della luce elettrica e di quella del gas. Non basta dire, quantunque sia già difficile il dirlo esattamente, a quante fiamme di gas equivale una candela elettrica; perchè bisogna anche far la parte alla sensazione diversa che la diversa qualità delle due luci produce, per la quale non si possono queste apprezzare alla stessa stregua. Quanto a intensità luminosa, è generalmente accettata la base che una lampada Jablochhoff equivalga, quando è senza globo, a circa 50 fiamme di gas consumanti 140 litri all'ora; e a 25

fiamme soltanto quando c'è il globo. Si vede che il globo opalizzato, il quale è pur necessario, assorbe in pura perdita metà della luce. Perciò si cerca di trovare una qualità di globi che diffonda e renda sopportabile la luce senza tanto disperderne; ma finora non s'è riuscito a nulla, salvo forse certi globi di cristallo nichelato usati sulla facciata dell'*Opéra*, i quali, dicesi, assorbono meno dei globi opalizzati. Una Commissione tecnica nominata dal Municipio di Parigi stima invece che una lampada Jablochhoff, col globo equivalga a 18-20 fiamme di gas da 140 litri; e che, tenendo conto della luce irradiata sul suolo, non vale che 11 fiamme di gas circa; il che, però, non è nè giusto, nè esatto.

Basandosi su quest'ultimo dato, la Commissione parigina, considerando che 140 litri di gas costano al Comune di Parigi 2,1 centesimi all'ora, e che quindi 11 becchi di gas, equivalenti a una lampada Jablochhoff, verrebbero a costargli 23 centesimi, consigliò al Comune, di non accettare la proposta d'illuminazione fattagli dalla *Société Générale d'électricité* altrimenti che al prezzo di 30 centesimi l'ora per ogni lampada: prezzo inferiore assai a quello richiesto.

Il Comune ha fatto il contratto per un anno a partire dal 15 gennaio per le località che poc'anzi ho menzionato, e calcola di dover spendere in quest'anno 35.000 franchi di più per questo tentativo d'illuminazione elettrica. È una cifra modestissima in confronto del risultato; poichè infine nessuno potrà negare che l'illuminazione elettrica nell'*Avenue de l'Opéra* valga per lo meno il doppio dell'illuminazione a gas di prima; e se una città vuole un'illuminazione di lusso, è giusto che la paghi. Ma non bisogna dimenticare a proposito di questa applicazione di Parigi che ivi la Società del gas, minacciata nella sua esistenza da questo formidabile avversario, è scesa a combatterlo con tutte le armi, ed è

giunta perfino a proporre al Comune, e il Comune lo ha accettato, di illuminare con gas ricco la *Rue 24 septembre*, la piazza del *Château d'Eau*, e uno scomparto delle *Halles centrales*, in modo da emulare l'illuminazione elettrica, con un consumo di gas decuplo del consumo ordinario, fornendogli *gratuitamente* gli apparecchi e il gas consumato in più. È un duello a morte che si è impegnato fra il gas e la luce elettrica, e il terzo che ne gode è il Comune di Parigi.

A Milano il confronto fra i due sistemi di illuminazione è meno sfavorevole alla luce elettrica in causa del costo elevato del gas. Ammettendo la base di 10 fiamme da 140 litri per una lampada Jablochhoff, il costo all'ora di questa, per essere pari al costo del gas, dovrebbe essere di 70 centesimi, se si tratta del Municipio, e di 1 lira se si tratta di illuminazione privata. Ora, per farsi un'idea di quanto verrebbe a costare all'ora, tutto compreso, una lampada Jablochhoff, supponiamo che si voglia fare l'illuminazione elettrica della Piazza del Duomo, della Galleria V. E., e della Piazza della Scala, impegnandovi 28 lampade elettriche. Questo numero di lampade, avuto riguardo ai risultati dell'esperimento dello scorso carnevale, dovrebbe essere sufficiente.

Il costo d'impianto, come risulta dal dettaglio delle spese occorrenti², si può calcolare a circa L. 36.000, utilizzando gli attuali candelabri. Questa somma si dovrebbe ammortizzare rapidamente, considerata la possibilità che s'introducano altri e migliori sistemi di macchine. Calcolando le candele al prezzo di 50 centesimi l'una, quindi a 40 centesimi all'ora, il consumo di carbone a 70 chil. l'ora in ragione di 3½ chil. per cavallo, l'interesse e l'ammortamento del costo d'impianto a 20%, e

2. Crediamo inutile di riportare qui i particolari sia delle spese d'impianto che della calcolazione degli elementi del costo dell'illuminazione.

tenuto conto di tutte le spese di personale, affitto, ecc. si giunge a una cifra di L. 20,80 all'ora, ossia di circa 74 centesimi all'ora per ogni lampada. Ora il Comune spende per l'illuminazione a gas di quelle località, compresi i portici, circa L. 25 all'ora; ed esclusi i portici, circa L. 20. Si vede quindi che la differenza, in ogni caso, non è grande.

Avrete osservato che il costo della candela è ancora quello che predomina maggiormente sul costo dell'illuminazione. Infatti, sopra 74 centesimi all'ora, la candela entra per 40 centesimi. Ora, non è improbabile che, concentrando tutta l'attenzione in questa fabbricazione, riducendola interamente meccanica, si arrivi a renderla in seguito notevolmente più economica.

Attualmente quella ci può far supporre che queste condizioni alle quali il sistema Jablochhoff permette di produrre la luce elettrica sieno sorpassate dagli altri sistemi che ci si vanno annunciando quasi senza interruzione da un paio d'anni a quest'oggi. Questi sistemi sono di due sorta: o hanno per base il principio stesso dell'antica lampada elettrica, cioè l'impiego di due carboni, che si consumano nel produrre la luce; oppure la luce è prodotta dall'incandescenza di un corpo conduttore, carbone o metallo, intercalato nel circuito, il quale illumina senza consumarsi.

Col primo metodo c'è sempre il costo dei carboni, qualunque sia il sistema; per cui, se mai un sistema dovesse preferirsi a un altro, dovrebbe essere in causa di una semplicità maggiore della lampada o di una maggiore suddivisione della luce. Ora, non c'è sistema fin qui che superi notevolmente quello di Jablochhoff sotto l'uno o l'altro riguardo. Le lampade elettriche di Reynier e di Rapieff sono ingegnose senza dubbio, ma richiedono sempre disposizioni meccaniche più o meno complicate. Il sistema Rapieff è stato però a Londra oggetto di un

certo favore, e si dice che con esso si possono intercalare fino a 5 lampade in circuito: vantaggio ben piccolo, anche se è vero. A Londra si è formato una società, la *National electric light Corporation*, per applicare questo sistema, che è già usato negli Uffici del *Times*. Un altro sistema molto interessante è quello di Werdermann. Premendo leggermente la punta di una bacchetta di carbone contro una larga superficie piana pure di carbone, la bacchetta formando il polo positivo, sviluppa sul luogo del contatto un punto luminoso assai brillante. Con un disco di carbone messo in alto e una bacchetta lunghissima, che una molla spinga dal disotto contro il disco, si viene a formare una lampada abbastanza semplice, che può durare fino a 15 ore. È la bacchetta che si consuma in ragione di 50 millimetri l'ora; quanto al disco, il suo consumo è minimo. Il sig. Werdermann è arrivato a intercalare dieci di queste lampade in un circuito. Eccovene qua cinque, intercalate nel circuito della nostra macchina a corrente continua. Bisogna però aggiungere che finora questo sistema non è uscito dai limiti d'un esperimento scientifico.

Il metodo dell'incandescenza è quello che ha dato sempre le più grandi speranze; ma finora non le ha punto giustificate. Nella mia conferenza di due anni fa sulla luce elettrica, accennando a questo sistema e al tentativo di Lediguine, che a Pietroburgo aveva, dicesi, intercalato fino a 200 lampade sul circuito di una macchina Alliance, io vi ho fatto un esperimento consimile, rendendo incandescente colla corrente un bastoncino di carbone intercalato sul filo conduttore e racchiuso in un pallone di vetro in cui s'era fatto il vuoto. Tutti i sistemi di questo genere, però, si son sempre urtati in difficoltà pratiche insormontabili, anche in causa della necessità di evitare la combustione del carbone, sia vuotando d'aria il pallone che lo

rinchiude, sia riempiendolo di un gas neutro. Più facile appare l'impiego di un metallo che la corrente renda incandescente. Ecco qua un grosso filo di platino avvolto a spira; lancio in esso la corrente della nostra macchina, e subito si arroventa e diventa di un bianco abbagliante; ma non passa un istante che si fonde, e la luce cessa. Orbene: questa facilità di fondersi è lo scoglio contro cui si rompono finora gli sforzi degli inventori di simili sistemi. Per dare luce, bisogna che il metallo s'arroventi ad una temperatura altissima, che diventi bianco; ma allora è anche prossimo a fondersi. Si son provati metalli meno fusibili del platino, come l'iridio, o l'osmio; oppure delle leghe di platino con questi metalli. Tyndall ha sperimentato coll'iridio puro. In ogni modo per prevenire la fusione, bisogna introdurre nella lampada, o nel circuito, dei regolatori delicatissimi che abbian per ufficio di impedire un eccesso di temperatura nelle spire incandescenti. Contro simili difficoltà si è arrestato pure, finora, il prof. Brusotti di Pavia, di cui qui vedete la lampada. È un'elica serrata di platino attorno a un nucleo di calce, che arroventandosi aggiunge la sua alla luce del platino; ed è stata immaginata dal suo inventore molto prima che si discorresse fra noi della lampada elettrica di Edison.

E poichè sono venuto a parlare del sistema di Edison, occupiamocene un istante. C'è stato, voi lo sapete, un momento, in cui tutti han creduto che fosse suonata davvero l'ultim'ora per il gas illuminante. Nell'ottobre dell'anno scorso un giornale americano, il *New York Sun*, annunciava a tutto il mondo che Edison aveva trovato il mezzo di suddividere indefinitamente la luce e di trasportarla e distribuirla a qualunque distanza. Secondo il giornale americano, non 16 o 20 ma 1000, ma 10.000 lampade si sarebbero potute intercalare sul circuito di una sola macchina dinamo-elettrica. Ogni cosa avrebbe avuto il suo filo, dal quale

attingere indifferentemente luce, calore e forza; perfino i fiammiferi sarebbero divenuti inutili, poichè bastava toccar un bottone per sprigionare una scintilla.

Quest'idea di trasportare a distanza e di distribuire, mediante un filo elettrico, la forza, il calore e la luce, e in altri termini l'energia meccanica sotto tutte le forme che può assumere, non è nuova: è l'aspirazione segreta, ma ferma e costante, della scienza moderna. Quando io vi tenni quella conferenza sulla luce elettrica, ho fatto sotto ai vostri occhi un'esperienza che destò qualche interesse. Io avevo due macchine dinamo-elettriche di Gramme. Messa in moto l'una con una motrice a vapore, e lanciata la corrente, che da lei si sprigionava; nella seconda macchina, questa si metteva in movimento e sviluppava tanta forza da tener in moto una pompa centrifuga impiegata ad elevar dell'acqua.

Qui la forza si convertiva in corrente elettrica, e questa si riconvertiva in forza. Ora, contemporaneamente all'annuncio del *New York Sun*, un giornale di Cincinnati dava un altro annuncio non meno meraviglioso. S'era, diceva, trovato il modo sicuro di utilizzare tutta la cascata del Niagara. Delle ruote colossali ne avrebbero raccolto la forza di 17 milioni di cavalli all'incirca; queste ruote avrebbero animato delle macchine dinamo-elettriche altrettanto immani; e la corrente da esse prodotta si sarebbe fatta circolare con una gomina metallica a New York, a Cincinnati, in altre grandi città dell'Unione, per portarvi a piacere la luce e la forza. Secondo questo seducente progetto, tutta l'illuminazione della città di New York non avrebbe costato che la modica somma di *1 dollaro e 69 cents* all'ora!

Queste esagerazioni americane, è inutile dirlo, non hanno fondamento che nella fantasia dei loro autori. Il problema della trasmissione della forza a distanza per mezzo di una corrente di

una macchina dinamoelettrica, spogliato da ogni esagerazione, è un problema serio, degno di tutta l'attenzione, e che lascia ancora fondata speranza di venir risolto nel modo che da tutti si spera. Ma, per elevarne l'applicazione al grado sognato dal giornale di Cincinnati, non basterebbe, osservò Werner Siemens, tutto il rame che il mondo possiede ora, solamente per la gomena di trasmissione.

Quanto al sistema di luce elettrica immaginato da Edison, non si può dimenticare, nel giudicarlo, tutto il rispetto che si merita il nome dell'illustre inventore del fonografo e di tanti altri meravigliosi apparecchi, ma non si può dissimulare neppure che, da quanto appare dalle pubblicazioni fattene in questi giorni, non c'è nulla in quel sistema che giustifichi le asserzioni del *New York Sun*. È un ingegnoso sistema di lampada a spira incandescente, munita di un regolatore delicatissimo, consistente in una asticina metallica, la quale, quando la temperatura passa un certo limite prossimo alla temperatura di fusione della spira, chiude, allungandosi, un contatto, che devia in un circuito secondario una parte della corrente. Ma la lampada, salvo questo regolatore, non presenta nulla di particolare; e quanto alla divisibilità della luce, il brevetto di Edison si tace, o almeno non lascia intravedere nulla di più di quanto è già noto e provato.

Atteniamoci dunque, per ora, a ciò che c'è di sicuro, a ciò che è dimostrato buono da un'esperienza già abbastanza lunga, al sistema delle candele di Jablochhoff. E voi vorrete, io confido, dividere con me la speranza che Milano sia la prima città in Italia che ne faccia l'applicazione.

Illuminazione elettrica*

La stazione centrale di illuminazione elettrica di Santa Radegonda fu costruita ed è esercitata dalla *Società generale italiana di elettricità sistema Edison*, costituitasi dapprima sotto forma di Comitato d'esperimento nel 1882, e organizzatasi definitivamente nel gennaio 1884. I lavori di costruzione principiarono nell'ottobre del 1882 e furono terminati nel giugno dell'anno successivo, epoca in cui la stazione cominciò a funzionare.

La stazione di Santa Radegonda è impiantata sul sistema di quella che il fisico americano T. A. Edison costruì a New-York per l'illuminazione elettrica del quartiere commerciale compreso fra Wall Street, Nassau Street, South Street e Ferry Street, che misura un chilometro quadrato all'incirca. La stazione di New-York fu cominciata nell'inverno del 1881-82, ma il servizio regolare non ebbe principio che nel settembre 1882. Essa è collocata press'a poco nel centro del quartiere in Pearl Street e dirama i suoi condotti in tutte le vie del quartiere su uno sviluppo di circa 16 chilometri. Secondo il progetto originario, la rete di distribuzione deve alimentare da 12 a 15 mila lampade elettriche, con 12 macchine; ma non si è cominciato ad attuare che una metà dell'impianto progettato, e questa stessa metà ha raggiunto il suo completo sviluppo solo verso la fine del 1883.

Contemporaneamente alla stazione di New-York, un'altra piccola stazione con due macchine fu impiantata a Londra nei primi mesi del 1882 lungo High Holborn. Questa stazione,

* Da *Milano Tecnica*, 1859-1884, 2 voll., U. Hoepli, Milano 1885, vol. II, pp. 459-473, e Tav. XCIII.

modellata esattamente su quella di New-York, non doveva servire che a illuminare a guisa di esperimento il viadotto di Holborn con 900 a mille lampade fra pubbliche e private, e non era centro veramente di una rete di distribuzione, ma piuttosto di una condotta rettilinea senza diramazioni propriamente dette. Più tardi essa subì diverse trasformazioni, in seguito alle modificazioni avvenute nella Società Edison inglese che ne fece l'impianto.

Il progetto primitivo della stazione milanese comprendeva solamente tre macchine; ma il numero di queste fu portato a quattro appena incominciato l'impianto, e fu elevato a sei nella seconda metà del 1883, quando la Società assunse l'illuminazione del Teatro della Scala. Fu scelta la località del Teatro di Santa Radegonda, posta nel centro del quartiere più popolato di Milano e più ricco di negozi e di pubblici esercizi, dove per conseguenza è più densa l'illuminazione e più grande il consumo di luce. La prima distribuzione di luce fu fatta nel giugno 1883 nelle botteghe di parte dei Portici settentrionali di Piazza del Duomo e precisamente nel fabbricato Thonet, di cui si era già avviata l'illuminazione con macchine provvisorie fino al principio dei lavori della stazione. Nel luglio fu inaugurata l'illuminazione del Teatro Manzoni, nel quale cominciò a funzionare regolarmente il 20 settembre, all'apertura della stagione d'autunno. Frattanto si estendeva l'illuminazione ad altri consumatori, e si cominciavano i lavori di istallazione nel Teatro della Scala in seguito a una deliberazione del Consiglio Comunale; in modo che alla fine di novembre si poteva già dar la luce al Teatro per la preparazione degli spettacoli della stagione di carnevale – quaresima del 1884, inaugurata il 26 dicembre 1883.

Il fabbricato della stazione di Santa Radegonda è eretto sul posto dell'antico Teatro che fu demolito, e occupa un'area

coperta di circa 700 metri quadrati. Esso è rettangolare e diviso in tre piani, cadaun piano costituendo un unico locale di metri 12.50 per metri 48. Nel piano inferiore, posto a 2 metri sotto il piano di terra, sono collocate le macchine; nel primo piano i generatori di vapore, e nell'ultimo il magazzino.

Le macchine dinamo-elettriche installate nel sotterraneo sono sei, tutte del tipo Edison conosciuto sotto la denominazione di macchina *C*, il primo esemplare del quale comparve e funzionò nell'Esposizione internazionale di elettricità a Parigi nel 1881. Questa macchina, la più applicata finora, può alimentare da 1000 a 1200 lampade elettriche a incandescenza del tipo Edison denominato *A*, aventi la forza illuminante normale di 16 candele fotometriche. Assumendo come dati medi per la lampada Edison *A* una forza elettro-motrice di 100 a 110 *Volt* e una corrente di 0,70 a 0,75 *Ampère*, ne risulta che la macchina *C* può fornire una corrente di circa 800 *Ampère*, con un lavoro dinamico di 120 a 140 cavalli. Cadauna macchina si compone della dinamo e della sua motrice, l'asse di quest'ultima trasmettendo direttamente il moto, mediante un giunto d'Oldham, all'armatura, o bobina, della dinamo.

Il campo magnetico della dinamo è formato dai poli di 12 magneti alimentati, come è noto, in derivazione. L'armatura è costituita da 49 circuiti composti di due sbarre di rame riunite da due dischi pure di rame, e facenti capo al collettore, dal quale la corrente è raccolta per mezzo di due serie di spazzole che la portano ai conduttori principali. La forza elettro-motrice normale è raggiunta con una velocità di 350 giri al minuto, che è anche, per quanto si è detto, la velocità della macchina motrice.

Le macchine motrici annesse alle dinamo di Santa Radegonda sono di due tipi diversi. Quattro di esse sono del tipo Armington e Sims, caratterizzato dall'impiego di un cassetto di

distribuzione cilindrico a doppia luce di ammissione il cui moto è variato in modo assai ingegnoso da uno speciale regolatore, a seconda della forza che la macchina è chiamata a dare. Questo regolatore è posto sull'albero stesso della motrice e si compone di due contrappesi, alla cui forza centrifuga si oppone la tensione di una molla; le oscillazioni dei due contrappesi si trasmettono a due eccentrici folli l'uno sull'altro, in modo da variare la loro eccentricità e il loro angolo di calettatura, e per conseguenza anche la corsa e le precessioni del cassetto che da essi è comandato. Il sistema è assai sensibile alle più piccole variazioni di velocità e assicura alla dinamo, ciò che è assolutamente necessario per conservare uniforme l'intensità della luce, una velocità che praticamente si può ritenere affatto costante. Le altre due motrici sono del sistema Porter-Allen, noto in Europa fin dal 1867, quando una macchina di questo tipo fu esposta a Parigi. In quell'epoca essa destò molta sensazione, poiché dimostrava per la prima volta la possibilità di costruire delle macchine a vapore economiche a gran velocità, realizzando i vantaggi accennati sommariamente dapprima da Porter e svolti poi assai più tardi da Radinger nel suo trattato sulle macchine a gran velocità. Il tipo Porter-Allen, nel quale lo stantuffo raggiunge o supera una velocità di 4 metri al secondo, non ebbe imitatori in Europa, benché subito dopo il 1867 vi si accingessero due dei più celebri costruttori europei, Whitworth e Ducommun: ma continuò ad avere un costante successo al di là dell'Atlantico. Esso ha una distribuzione a quattro cassette, due dei quali per lo scarico a moto costante, e due per l'ammissione a corsa variabile, comandata, per mezzo di un glifo, dal noto regolatore Porter.

Le sei macchine della stazione di Santa Radegonda, sono collocate in una linea, le motrici essendo alimentate da una

condotta di vapore posta lungo la vòlta, in modo da poter essere a volontà messe in moto od arrestate indipendentemente l'una dall'altra. Una motrice speciale manda un ventilatore a forza centrifuga che mantiene una attiva circolazione d'aria nell'intervallo fra le espansioni polari del campo magnetico e l'armatura, allo scopo di conservare quest'ultima sempre a bassa temperatura.

I generatori di vapore sono cinque, e trovansi installati in una linea nel piano superiore al locale delle dinamo. Le caldaie sono portate direttamente dalle colonne di ghisa del locale sottostante, mediante intelaiature composte di quattro ritti di ferro, riuniti due a due, superiormente alla caldaia, da traverse pure di ferro, alle quali la caldaia è sospesa. La muratura della caldaia, invece, è portata da vòlte di due teste, che si impostano sopra travature di ferro trasversali a cassa, cadauna delle quali è appoggiata ai muri longitudinali dell'edificio e a due colonne di ghisa. Malgrado il peso della muratura, queste travi non risultano caricate al di là di 7 chilogrammi per millimetro quadrato.

Le caldaie sono del tipo tubolare a circolazione, che i sistemi Belleville, Root, ecc., hanno ormai reso familiare in Europa. Il sistema, assai simile al Root, benché migliore in parecchi punti, è quello della Ditta Babcock e Wilcox di New-York, e consiste nell'impiego di un fascio inclinato di tubi, comunicanti superiormente con larghi collettori cilindrici di vapore, e inferiormente con un cilindro collettore dei depositi formati dall'acqua che circola nei tubi. Queste caldaie furono costruite nell'officina filiale di Glasgow. Esse hanno la forza di 160 cavalli cadauna, una superficie riscaldata di 162 metri quadrati, suddivisa in 96 tubi e due collettori di vapore, e una superficie di graticola di 4,5 metri quadrati: lavorano a 120 libbre di pressione effettiva, cioè a circa 8 atmosfere.

I prodotti della combustione, dopo aver circolato attorno ai tubi e ai collettori di vapore, si raccolgono in un largo condotto posteriore che li porta al camino. Quest'ultimo è eretto a metà circa di uno dei lati longitudinali del fabbricato e si eleva a 52 metri di altezza dal suolo, con un diametro interno costante di 2 metri. Il vapore di scarico delle motrici è condotto alla sommità del camino da un tubo interno al medesimo. L'alimentazione delle caldaie si fa per mezzo di due elevatori Körtig collocati in fondo a un pozzo trivellato di dieci metri di profondità sotto il livello delle acque sotterranee e di tre iniettori Körtig che mandano in caldaia l'acqua versata dagli elevatori in serbatoi collocati nel locale delle macchine; oltre a ciò vi è una pompa a vapore di scorta, che serve anche a far circolare dell'acqua nei supporti delle dinamo, per impedire che si riscaldino.

In quanto precede si è dato una rapida idea dell'impianto meccanico della stazione di Santa Radegonda: resta ora a dire dell'impianto elettrico, spiegando come si raccoglie la corrente fornita dalle dinamo e come vien distribuita nel quartiere servito dalla stazione.

Le sei macchine dinamo-elettriche, riunite in quantità, versano tutte la corrente in due conduttori maestri, ai quali son connesse le sbarre polari, delle armature coll'intermediario di grandi interruttori a cuneo, in guisa da poter introdurre cadauna dinamo nel circuito generale, oppure distaccarnela, indipendentemente l'una dall'altra. Lo stesso interruttore serve anche ad aprire o chiudere la derivazione della corrente generata dalla dinamo, o circolante nei conduttori, che si impiega per formare il campo magnetico. I due conduttori maestri sono costituiti da sbarre semicilindriche di rame di gran sezione, le quali, dopo aver raccolto la corrente dalle dinamo, la portano ai conduttori principali delle rete stradale di cui si dirà più avanti.

Le derivazioni formanti il campo magnetico passano tutte in un regolatore, uno per dinamo, il cui scopo è di moderare più o meno l'intensità del campo magnetico secondo il bisogno, per mezzo di una serie di resistenze opportunamente scaglionate, che si introducono nelle derivazioni stesse. A quest'uopo, ogni regolatore consta di 50 bobine, o rocchetti, di filo sottile, le quali, accoppiate in quantità o in serie secondo i casi, possono formare una resistenza variabile da zero sino a $7\frac{1}{2}$ *Ohm*. La resistenza dei magneti delle dinamo *C* essendo di circa $2,3$ *Ohm*, si vede come il regolatore possa ridurre notevolmente la corrente induttrice. E siccome la corrente dei magneti, quando non è introdotta alcuna resistenza addizionale, corrisponde a circa 50 *Ampère*, ossia a 6% circa della corrente fornita dalla dinamo, così la resistenza introdotta dal regolatore non rappresenta una perdita sensibile nell'effetto utile della dinamo stessa, poiché non affetta che una frazione già assai piccola della corrente prodotta. I regolatori sono governati a mano, insieme o separatamente, secondo le indicazioni di un apparecchio automatico il quale avverte, con un campanello o coll'accensione dell'una o dell'altra di due lampade diversamente colorate, se la forza elettro-motrice è maggiore o minore di quella adottata come normale, corrispondentemente all'intensità luminosa normale delle lampade.

Per l'impianto di Santa Radegonda si è adottata una forza elettro-motrice normale ai poli delle lampade di 102 *Volt*, per cui la forza elettro-motrice normale in stazione è regolata a seconda del numero di lampade contemporaneamente accese nei diversi punti della rete. In questo modo, col sussidio combinato degli indicatori automatici e di apparecchi misuratori della corrente e della forza elettro-motrice, si perviene a mantenere assolutamente costante l'intensità luminosa delle lampade in tutti i punti della rete, qualunque sia l'irregolarità del consumo e malgrado

l'estinzione o l'accensione improvvisa di un numero qualsiasi di lampade, indipendentemente e senza il bisogno di nessun avviso nè di alcuna comunicazione fra i consumatori e la stazione.

Oltre ai suaccennati indicatori, la stazione è munita di diversi apparecchi di osservazione e di registrazione. I principali fra questi sono:

diversi indicatori del numero di lampade accese nelle rete, consistenti in semplici *ampèrometri*, fondati sul principio della deviazione esercitata su un ago calamitato dalla corrente che percorre i conduttori maestri;

diversi indicatori della forza elettro-motrice;

un indicatore dei contatti eventuali colla terra che si verificassero nella rete.

Per le prove colle dinamo e per le manovre si fa uso di un quadro contenente 1000 lampade *A*, alimentabili a volontà colla corrente di una o più dinamo.

Le lampade del quadro sono divise in serie di 50 cadauna, in modo da poter inserire nel circuito d'una dinamo un numero di lampade qualunque, secondo le indicazioni dell'*ampèrometro*, tutte le volte che si tratta di introdurla nel circuito generale. In questo modo si evita completamente l'influenza momentanea che avrebbe su tutte le lampade della rete la sostituzione oppure l'introduzione o il distacco di una macchina dal circuito generale.

Rete stradale. Dai due conduttori maestri, che raccolgono la corrente delle dinamo, si dipartono i conduttori principali della rete. Di questi conduttori principali, che sono propriamente gli *alimentatori* della rete, ve n'ha otto. Essi si collegano ai conduttori maestri coll'intermediario di lastre fusibili di sicurezza, come i

conduttori maestri si collegano mediante lastre fusibili coi poli delle dinamo.

La rete stradale, alimentata dai conduttori principali sud-descritti, si compone di conduttori di piccola sezione collocati sotto terra lungo i lati delle vie servite dalla stazione. In punti opportuni di questa rete, la corrente della dinamo è condotta per mezzo dei conduttori principali, pure sotterranei, i quali non fanno parte della rete, ma servono ad alimentarla, e perciò si chiamano *alimentatori* (*feeders*). In tutti i punti in cui gli alimentatori si collegano alla rete, la congiunzione è fatta coll'intermediario di lastre fusibili di sicurezza ed è installata in una scatola di ghisa col coperchio a fior di terra, onde potervi accedere in caso di bisogno. In scatole consimili sono alloggiate le congiunzioni dei diversi conduttori della rete fra loro, in quelle località in cui si trova opportuno, per la migliore distribuzione della corrente, di stabilire un collegamento, o *ponte*, fra i conduttori collocati lungo i due lati della via.

La calcolazione di una rete così composta, e così diversa dalle reti di distribuzione di acqua e di gas, è assai laboriosa; e si fa, meglio che col solo calcolo, col sussidio dell'esperimento, studiando col galvanometro una rete che riproduca in piccola scala la rete vera di fili sottili, nella quale si fa circolare la corrente di una pila. L'intento a cui si ispira la calcolazione è di conseguire la maggior possibile uniformità della forza elettro-motrice in qualsiasi punto della rete, e ciò allo scopo di avere un'intensità luminosa pressochè costante in tutto il quartiere servito dalla stazione. Quanto alla perdita di forza elettromotrice essa si fissa *a priori*. Nella rete che si irradia da Santa Radegonda, la perdita fra la stazione e le lampade è al massimo di 12,5%, e la differenza di forza elettro-motrice fra due punti qualunque della rete, quando essa funziona in pieno, non deve superare 2%.

La rete di Santa Radegonda è del sistema detto a *due fili*, cioè essa consta di due conduttori, uno positivo ed uno negativo, fra i quali sono intercalate le lampade in derivazione al modo solito. Questo sistema è assai comodo pel servizio della rete, poiché questa può essere alimentata sia da una sola dinamo, sia da un numero qualunque di dinamo riunite in quantità; ma è più costoso di quello conosciuto sotto il nome di *sistema a tre fili*, nel quale oltre i due conduttori positivo e negativo c'è un conduttore intermedio, i primi due essendo collegati coi poli opposti di due dinamo accoppiate in tensione, e il terzo coi poli contigui riuniti insieme. Per quanto, però, il sistema a tre fili costi meno d'impianto e perciò abbia già ricevuto frequenti applicazioni in America, soprattutto per l'illuminazione di piccole città e di villaggi con rete aerea, pure dovrebbe restar sempre preferibile, per grandi distribuzioni di luce con rete sotterranea, il sistema a due conduttori; perché con questo le lampade riescono assolutamente indipendenti fra loro, mentre coll'altro, conviene disporle a gruppi che press'a poco si equivalgono, fra ciascuno dei conduttori principali e il conduttore intermedio: ciò è difficilissimo ad ottenersi in pratica nei luoghi dove, come nei centri molto popolati, il consumo riesce assai variabile.

Tutti conoscono ormai il modo con cui sono costruiti i conduttori sotterranei del sistema Edison. Essi constano di due sbarre semicilindriche di rame, messe entro un tubo di ferro, dal quale sono isolate mediante una composizione di grandissima resistenza. Questi tubi vengono poi congiunti fra loro mediante scatole che si riempiono della medesima composizione, dopo che si son riuniti i conduttori con giunti di rame a manicotto, assicurati a vite e saldati. In questo modo è facilissimo di effettuare, con speciali modelli di scatole, qualunque deviazione o presa di corrente. L'isolamento di una rete così disposta è

assolutamente perfetto, nè si potrebbe compromettere che per espresso fatto dell'uomo.

Ecco alcuni dati sulla rete alimentata dalla stazione di Santa Radegonda, della quale offriamo una illustrazione alla tav. XCIII:

sezione di cadauno dei conduttori di alimentazione: ce ne sono di due grandezze, una di 440 e l'altra di 340 millimetri quadrati per ogni sbarra;

sezione dei conduttori della rete, 93 millimetri quadrati per cadauna sbarra;

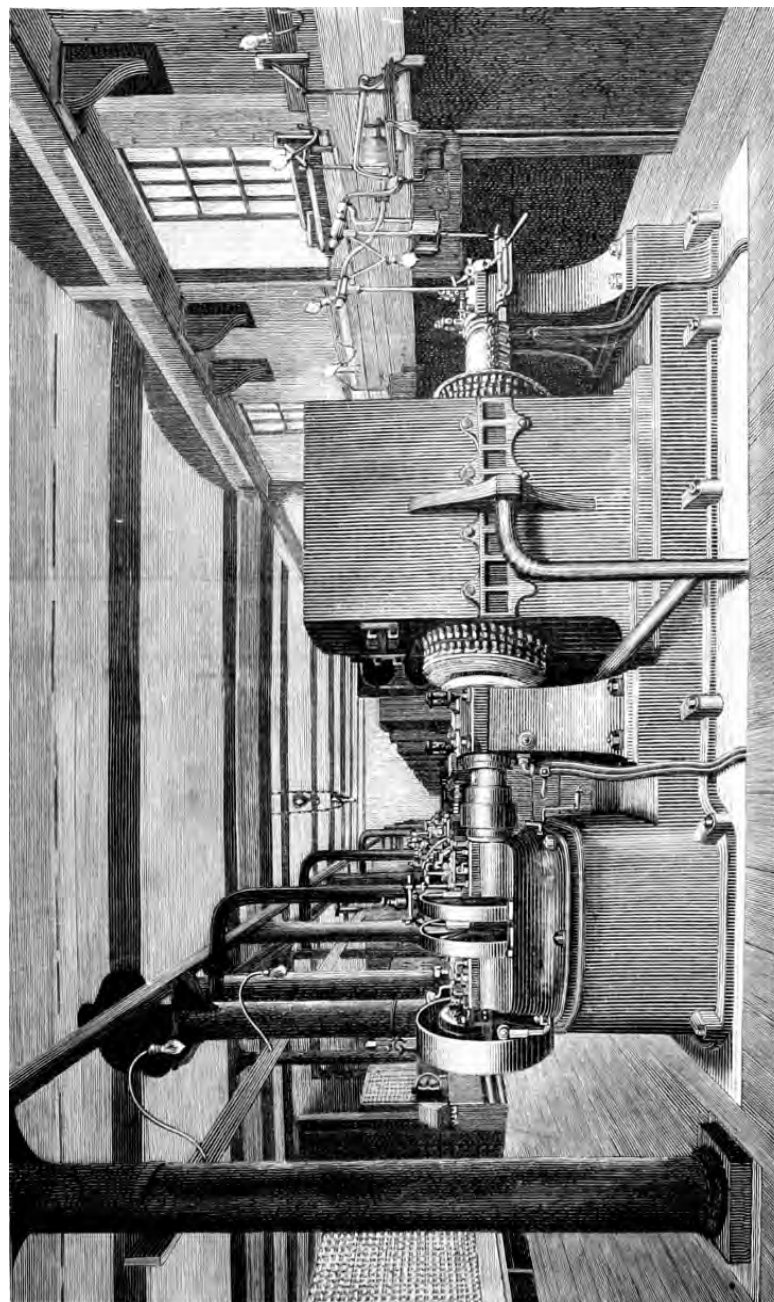
lunghezza totale sviluppata dei tubi o condotti alimentatori, 2840 metri;

lunghezza totale sviluppata dei condotti secondari, 3700 metri circa;

massimo raggio della rete, 550 metri.

Percorso della rete. La rete percorre, per ora, le vie principali del quartiere posto a nord-ovest della stazione, passando per via Santa Radegonda in piazza della Scala e biforcandosi di là nelle vie San Giuseppe e Alessandro Manzoni; e per il Corso Vittorio Emanuele in piazza del Duomo e di là per via Carlo Alberto in piazza della Scala.

Essa ha degli attacchi aperti verso il corso Vittorio Emanuele, lungo il quale può prolungarsi oltre il Teatro Milanese, sino alla Galleria De Cristoforis, mentre dalla parte di piazza del Duomo può spingersi sino al Teatro della Cannobbiana. I consumatori attuali di luce elettrica, oltre alle amministrazioni del Teatro alla Scala e del Teatro Manzoni, sono principalmente esercenti di caffè e negozi di lusso e Società proprietarie di Circoli. Anche negli appartamenti privati si è cominciato ad introdurre la luce elettrica; solamente, mentre la fornitura della



Tav. XCIII - Officina centrale di Santa Radegonda

luce agli esercizi pubblici vien fatta di ordinario per un prezzo *a forfait* per ogni lampada installata, lasciandone perfettamente libero l'uso al consumatore sia di giorno che di notte, per i privati diventa necessario l'applicazione di un misuratore. I misuratori del sistema Edison, basati, com'è noto, sul principio dell'elettrolisi, sono di una precisione grandissima, come risulta dai lunghi esperimenti eseguiti in gran scala a Santa Radegonda e anche dall'applicazione fattane sino dal principio presso alcuni consumatori, la costante dell'apparecchio, ossia la quantità di zinco trasportata per effetto di una piccolissima frazione della corrente fornita al consumatore, coincidendo pressochè esattamente coll'equivalente teorico, quando si usino le debite precauzioni nel trattamento e nella pesatura delle lastre; per cui dal punto di vista dell'accertamento, del consumo di luce, non si incontrano ostacoli. Il servizio di illuminazione è fatto senza interruzione di giorno e di notte. Dalle indicazioni dell'*ampèro-metro* principale della stazione si rileva che il numero di lampade accese nelle ore di massimo consumo, cioè dalle 7 alle 11 nelle sere d'inverno, fu in media nella stagione 1883-84 di 2800 a 3000, salendo eccezionalmente sino a 3400, mentre dalle 2 di notte fino all'imbrunire del giorno successivo non restano accese che poche centinaia di lampade. Per questo periodo si fa uso il più delle volte di una piccola installazione sussidiaria composta di una motrice a vapore e di una macchina dinamo-elettrica, tipo *H*, capace di alimentare sino a 500 lampade *A* da 16 candele. Questa dinamo è collegata ai conduttori maestri nello stesso modo delle altre. Durante l'estate 1884 si andarono aggiungendo nuovi consumatori, per cui nell'autunno erano già assicurate 5200 lampade, sino alla qual cifra, press'a poco salirà il numero delle lampade contemporaneamente accese nelle ore di massimo consumo durante l'inverno 1884-1885.

Le installazioni presso i consumatori, cioè la presa, la posa dei fili e l'applicazione delle lampade, sono sempre eseguite dalla Società stessa che fa l'esercizio, onde questa possa esser certa che non esistano cause di disturbi nella rete per un difetto di un qualche impianto particolare. A tal uopo le precauzioni che si usano per assicurare ed accertare il perfetto isolamento sono assai minuziose; ed oltre a ciò non si prescinde mai dall'uso larghissimo dei fili fusibili di sicurezza. Avviene così, che fra le dinamo della stazione e le singole lampade della rete ci sono al minimo cinque interruttori di sicurezza intercalati nel circuito elettrico; per cui qualunque causa, accidentale o voluta, che tendesse ad aprire alla corrente un passaggio anormale per via di contatti fra i due poli o con la terra, non può mai avere altra conseguenza che quella di spegnere la lampada o il gruppo di lampade che dipendono dall'interruttore che si è fuso, prima che si producano guasti nel circuito stesso o nelle macchine.

La lampada-tipo ordinariamente installata fino ad ora presso i consumatori di luce elettrica è la lampada Edison *A*, che dà una luce di 16 candele fotometriche all'incirca, con una corrente di $\frac{3}{4}$ di *Ampère* e una differenza di potenziale di 100 a 102 *Volt*. In realtà, la forza elettro-motrice nella rete è alquanto superiore a quest'ultima cifra, per cui l'intensità luminosa delle lampade è in via normale superiore a 16 candele. Più raramente si usano le lampade *B* di 8 candele, le quali, dovendo funzionare con metà forza elettromotrice, si mettono in serie a due a due, con che non riescono indipendenti l'una dall'altra come le lampade *A*. Una lampada assai vantaggiosa, sia per la maggior economia di forza motrice dovuta alla maggior resistenza del filamento di carbone, sia per la sua intensità luminosa che eguaglia quella di un becco ordinario da gas di 120 litri all'ora, è la lampada di tipo *C*, che dà la sua intensità luminosa normale di 10 candele con una

differenza di potenziale ai poli pari a quella richiesta dalla lampada *A*. Per tali ragioni e anche perché queste lampade sono del tutto indipendenti le une dalle altre come le *A*, cioè si possono spegnere ed accendere separatamente ad una ad una, esse andranno a poco a poco surrogandosi alle *A*; anzi nelle nuove installazioni sono preferite, come si fece appunto nell'*Hotel Continental*, illuminato intieramente, anche nelle camere dei forastieri, con 450 lampade *C*. Più raramente si fa uso di lampade di tipo *D* da 32 candele, salvo per i fanali in luoghi aperti, cioè nei cortili o lungo le vie; e quasi nessuno uso del tipo di 100 candele, la quale oltrepassa già il confine fra la luce incandescenza, coi vantaggi della sua estrema diffusione, e la luce ad arco voltaico, colla sua maggiore economia di forza motrice.

Fra le installazioni servite dalla stazione di Santa Radegonda, le più importanti sono quelle del Teatro della Scala e del Teatro Manzoni. Il Teatro Manzoni fu il primo ad essere illuminato, anzi se ne fece l'inaugurazione, come già si disse, nei primi giorni in cui la stazione cominciò a funzionare. Vennero utilizzati tutti gli apparecchi di illuminazione esistenti, benché non sempre adatti alla luce elettrica, salvo gli apparecchi speciali della scena, che furono fatti appositamente. Il teatro è illuminato con 420 lampade, in parte di 16 e in parte di 10 candele, delle quali 184 per la scena e servizi annessi, 87 nella sala, e il resto nel vestibolo, nei corridoi, nel caffè, nei locali di servizio e infine nel porticato d'ingresso e sulla fronte lungo la via. Gli effetti di scena sono ottenuti con 4 regolatori, mentre un regolatore speciale serve per la sala. Malgrado le sue piccole dimensioni, il Teatro Manzoni fu il primo esempio di un teatro illuminato da una stazione centrale di distribuzione di luce, poichè il distretto di Pearl Street di New-York non racchiude alcun teatro; e fu anche il secondo teatro illuminato in modo permanente a luce

elettrica, poiché il Savoy Théâtre di Londra, illuminato nel 1882, non aveva allora che un'installazione provvisoria, e lo stesso si può dire delle prime prove di illuminazione fatte a Monaco; cosicchè non c'era, alla metà dell'anno in corso, che il solo teatro di Brünn, il quale avesse un'installazione permanente propria, inaugurata nell'ottobre 1882.

L'installazione del Teatro della Scala, è per le sue proporzioni, superiore alle precedenti e senza dubbio a quelle che si potranno fare in altri teatri, esclusi solamente pochissimi. Infatti, per le proporzioni della platea e della scena il Teatro della Scala non è secondo a nessun altro e potrebbe al più, nei riguardi dell'illuminazione, essere superato da altri teatri, per esempio da quelli dell'Opéra di Parigi e di Vienna, in causa del piccolo sviluppo dei suoi locali di servizio in confronto a loro. I lavori di installazione della luce elettrica alla Scala furono eseguiti nel tempo relativamente breve di cinque mesi, nel qual periodo il teatro fu anche allacciato alla rete stradale di Santa Radegonda per mezzo di quattro prese principali: una esclusivamente per la scena; una per la platea, l'orchestra e i palchi, una terza per tutti i servizi della scena; e l'ultima per i locali di ingresso e servizi annessi. Dipendono dalla prima presa 1344 lampade, dalla seconda 553, dalla terza 396, dall'ultima 347. Così il numero totale di lampade installate è di 2880, tenuto conto dell'illuminazione straordinaria del palco scenico durante i veglioni; ma in fatto non possono essere accese contemporaneamente più di 2640 lampade, anzi il massimo numero di lampade contemporaneamente accese non sorpassa d'ordinario 2400, anche col teatro illuminato a giorno.

La scena è illuminata da una ribalta di 98 lampade, da nove traverse o bilance, da 30 cantinelle per le quinte oltre ad altre 10 di soccorso, e da numerosi riflettori e apparecchi di illuminazio-

ne eventuale e straordinaria, con un numero complessivo di 1091 lampade, tutte da 16 candele. La sala ha il lampadario di 344 lampade A, oltre a 253 lampade suddivise in 53 braccioli posti all'ingiro dei palchi per illuminazioni di gala. I numerosi servizi del palco scenico sono in gran parte illuminati con lampade C, salvo i saloni dei pittori che hanno lampade di 16 e 32 candele.

Tutti gli apparecchi del palco scenico sono stati costruiti espressamente, con sistemi speciali, ideati particolarmente allo scopo di facilitarne la manovra da parte del personale addetto prima all'illuminazione a gas, cioè senza variare sensibilmente la forma degli apparecchi e degli organi relativi. Un impianto importante per il suo scopo e pei suoi risultati è quello del regolatore. Questo si compone di 16 regolatori costituiti cadauno da una bobina di filo di ferro galvanizzato formante reostato, e da un quadrante di 20 tasti corrispondenti a 20 gradi diversi di intensità di luce, oltre a un interruttore per aprire o chiudere ogni singolo circuito. V'hanno otto regolatori per le traverse, due per la ribalta, tre per le cantinelle e tre per il lampadario, oltre a diversi piccoli regolatori portatili per gli apparecchi mobili di illuminazione eventuale e straordinaria. Tutti i regolatori della scena sono disposti in modo che si possano a volontà regolare separatamente i diversi apparecchi di illuminazione della scena, ed anche regolarli tutti insieme, elevando od abbassando contemporaneamente il grado di illuminazione della scena intiera. A completare poi gli effetti di scena furono adottate disposizioni speciali per produrre a volontà una luce colorata in azzurro o in rosso tanto nelle traverse come sulle cantinelle e sulla ribalta.

Il risultato di questa illuminazione dei due teatri della Scala e Manzoni è noto e torna quindi inutile il parlarne. Il servizio dell'illuminazione non è mai venuto meno, né all'assieme né nel

dettaglio, nell'uno e nell'altro teatro. Una cosa assai importante è l'opportunità che queste installazioni hanno dato di constatare la durata delle lampade elettriche per questa speciale applicazione ai teatri, poichè riusciva facile di accertare il numero delle ore d'illuminazione e quindi quello delle *lampade-ore*. Questo accertamento ha dato per risultato una durata media di circa 1100 ore per tutte le lampade di ambedue le installazioni, regolate e non regolate; ma ha mostrato anche l'influenza che ha sulla durata l'azione del regolatore, il quale permette di accendere e spegnere i gruppi di lampade, che ne dipendono, in maniera graduale: ciò che non si potrebbe fare con un interruttore ordinario. Si è verificato infatti che la vita media delle lampade regolate può elevarsi fino a 2500 e più ore. D'altra parte, queste due installazioni, e soprattutto quella della Scala, hanno permesso di fissare le idee sui sistemi e sugli apparecchi più appropriati per l'illuminazione delle grandi scene, in modo che si intravede la possibilità di raggiungere colla luce elettrica degli effetti che sarebbe stato impossibile o per lo meno assai difficile di ottenere cogli apparecchi a gas illuminante.

La stazione di Santa Radegonda, essendo l'unico grande impianto di distribuzione di luce a domicilio che esista in Europa, si presta, come è evidente, a fissare le idee anche sulla parte economica della questione dell'illuminazione elettrica. Ma su questo argomento non è possibile dir nulla di preciso se non dopo un esercizio di qualche durata, dal quale si possano dedurre con sufficiente esattezza tutti gli elementi del problema.

Premio Edoardo Kramer Rapporto della Commissione*

Il tema proposto pel concorso al premio biennale di L. 4000 istituito dalla nob. Signora Teresa Kramer-Berra in memoria del suo compianto figlio Edoardo Kramer fu, pel 1886, il seguente:

“Studiare, premesse le necessarie indagini idrometriche ed altimetriche, un progetto diretto allo scopo di fornire alla città di Milano una forza motrice proporzionata al suo sviluppo industriale e il più conveniente dal punto di vista economico”.

L'importanza del tema non può sfuggire ad alcuno soprattutto dopo il rapido sviluppo che la città di Milano accenna a prendere per le condizioni favorevoli che la sua fortunata giacitura topografica e l'apertura del Gottardo sembrano offrire al suo commercio e alle sue industrie. Non si può pretendere, e non è neppure desiderabile, che Milano si trasformi in una città industriale propriamente detta: ciò che nuocerebbe senza dubbio a quell'ambiente colto e gentile, pel quale la nostra città è generalmente apprezzata in Italia; ma si può e si deve desiderare che trovino in essa un largo sviluppo quelle industrie essenzialmente cittadine, fondate più sull'intelligenza, sul buon gusto e sull'abilità della mano, che sull'impiego esclusivo della forza motrice: quelle industrie che hanno formato per tanto tempo e formano ancora, benchè in grado minore, la prosperità e la rinomanza di Parigi. Per questa classe di industrie la forza, se non è richiesta nella misura voluta dalla grande industria, se

* “R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Rendiconti”, s. II, XX, 1887, p. 58-64. La Commissione giudicatrice era costituita da Giovanni Cantoni, Celestino Clericetti, Rinaldo Ferrini, Giovanni Schiaparelli, Colombo relatore.

non è essenziale in pari grado, è pur un elemento importante nel prezzo di costo dei prodotti. Ed ora che la soluzione quasi matura del problema della trasmissione elettrica della forza fa sperare che si possano mettere alle porte di Milano, a disposizione della sua industriale popolazione, le ingenti forze idrauliche da cui siamo circondati a poche decine di chilometri di distanza, è naturale che tutti ci preoccupiamo di una così vitale questione, che si indaghi dove e in qual misura si presentino quelle forze naturali che riuniscono le migliori condizioni per essere portate a Milano, che si esamini se e quali opportunità eventualmente si presentino di dare già fin d'ora una certa quantità di forza disponibile entro le sue mura o nel popolato territorio che lo circonda.

Questi furono appunto gli scopi del Tema proposto; e ora siamo lieti di poter dire, fin da questo momento, che l'unico lavoro presentato al Concorso, col motto "I diamanti della corona d'Italia sono le Alpi", è tale da soddisfare completamente agli intenti dell'Istituto che lo propose. L'autore del lavoro presentato all'Istituto risponde veramente in ogni punto ai quesiti che il tema colla sua forma concisa racchiudeva. Egli si è preoccupato innanzi tutto di additare quali forze idrauliche sono disponibili o si possono predisporre in un territorio di tal raggio, che risulti chiara la possibilità di utilizzarle nel centro di Milano o per lo meno in una zona attorno alla città e nei limiti della sua provincia, mediante un sistema opportuno di trasmissione. Già, ridotta la questione a tali termini, si può dire che è virtualmente risolta; poichè se i mezzi di trasmissione attualmente conosciuti, che l'autore passa in rivista non danno nella maggior parte dei casi una soluzione soddisfacente, come l'autore stesso riconosce, non è ancora tolta la possibilità che la trasmissione si faccia con altri mezzi, di cui già fin d'ora si intravede l'efficacia, come

l'elettricità. Intanto nella ricerca delle forze idrauliche utilizzabili e nello studio che l'autore ne fa, egli ci presenta una materia così magistralmente svolta con tanta abbondanza di dati e sicurezza di vedute, che la prima parte della Memoria riesce già un lavoro di grande importanza per la nostra città, poichè ci dà l'inventario delle ricchezze delle quali speriamo poter fruire in un prossimo avvenire. Ma l'autore non si è limitato a questa ricerca, che per sè stessa ha pur tanto valore, giacchè limitando a poco a poco per vie di successive eliminazioni, il suo problema, egli si è ridotto a un caso che ha potuto risolvere a fondo. E così è riuscito a presentarci un progetto di non difficile attuazione, col quale Milano potrebbe, lungo la sua stessa circonvallazione, disporre di una forza se non ingente, certo abbastanza considerevole e sufficiente per il progressivo sviluppo delle sue industrie cittadine, sino a che la scienza ci venga ad offrire un mezzo di tradurre in città delle forze di ben maggiore importanza, quali ci auguriamo tutti che la nostra città possa richiedere in avvenire.

Una rapida analisi del lavoro del concorrente vi mostrerà, onorevoli Colleghi, meglio che la nostra parola, la sua importanza.

Il lavoro consta di una memoria principale di 160 pagine, nella quale l'autore espone i risultati de' suoi studi, i suoi apprezzamenti e le sue conclusioni; e di un voluminoso atlante di rilievi, carte topografiche e progetti di massima e di dettaglio, contenente, oltre a 15 tavole, diverse sub-memorie esplicative e quadri di calcolazioni a corredo della memoria principale.

L'autore comincia nel 1° capitolo della sua memoria a passare in rivista tutti i corsi d'acqua che scendono nel territorio compreso fra l'Adda e il Ticino, e ne scarta quelli che non possono offrire importanza pel tema proposto a risolvere. Tali sono

i torrentelli dell'Alto Milanese, quali la Molgora, il Seveso, ecc., nonché il Lambro e l'Olona già completamente sfruttati.

Nel 2° capitolo ci offre una completa monografia dell'Adda e indaga le condizioni nelle quali si potrebbe trarre partito dalla forza che essa porta. Scartata, per speciali ragioni economiche, l'idea di ridurre il lago di Como a bacino regolatore, si ferma a studiare il partito offerto dalle rapide di Paderno, e lo svolge con un progetto di massima, più che sufficiente a dare un'idea dell'entità e del costo dell'opera. Sono 5280 cavalli utili che si potrebbero raccogliere al basso delle rapide, e l'autore calcola che l'opera costerebbe un canone annuo d'affitto di L. 30 per cavallo utilizzato.

Il capitolo 3° è tutto dedicato al *Ticino* e alle sue derivazioni, ed è il capitolo più importante di tutta l'opera. L'autore vi si mostra profondissimo conoscitore del fiume e delle opportunità che può offrire. Tutta la grande opera del canale Villoresi, che gli sembra familiare, è descritta e studiata dal punto di vista del tema. Molti sono i progetti, egli dice con frase pittoresca, che si possono ricamare su tanta stoffa. Di questi ne espone due: uno, che è parziale, di facile attuazione, ma piuttosto estraneo al tema: l'altro che egli stesso giudica, ed è infatti, il più grandioso di quanti si potrebbero immaginare per trarre partito della enorme forza idraulica che ora si travolge inoperosa sulla cresta dell'edificio di presa del canale Villoresi.

Il 1° progetto mira a dotare d'acqua motrice la regione industriale di Gallarate, Busto e Legnano mediante un canale a salti di 31,4 chilometri di lunghezza, che coinvolgerebbe mc. 2,90 d'acqua sollevata meccanicamente all'altezza dell'altipiano di Somma, con un salto totale di m. 77,66 e con una forza lorda disponibile di 2700 cavalli. L'acqua sarebbe elevata con turbine mosse dall'acqua tracimante dallo stramazzo alla presa del

canale Villoresi e costituente la competenza di prelazione dovuta agli utenti inferiori del Ticino. Il cavallo di forza lorda costerebbe L. 1112, e il cavallo utile si potrebbe fornire lungo il canale per un canone di L. 100 all'anno.

Il 2° progetto si propone di mettere in comunicazione il canale Villoresi col Naviglio Grande, mediante un elevatore idraulico che permetta il servizio della navigazione, liberando il Ticino da questo servizio e conducendo al Naviglio Grande i 65 mc. di sua competenza per mezzo di un tronco apposito di canale, dalla presa del canale Villoresi sino presso a Nosate sotto Tornavento. Questo progetto è indubbiamente grandioso, tanto per l'arditezza del concetto, quanto per i risultati che potrebbe dare; poichè condurrebbe a utilizzare un salto di 40 m., il quale con 65 mc. al 1" darebbe 34.000 cavalli nominali, o circa 24.000 cavalli effettivi nella località di Nosate a 36 chilometri da Milano. Il costo del cavallo sarebbe di sole L. 115 nel preventivo del progettista; ciò che permetterebbe di prendere in affitto il cavallo pel prezzo singolarmente basso di L. 12 o al massimo di L. 20 all'anno. I vantaggi del colossale progetto consisterebbero nello straordinario buon mercato della forza, e nell'opportunità che esso presenterebbe di sostituire una comunicazione comoda e sicura per via d'acqua fra Milano e il lago Maggiore lungo il Naviglio Grande e il nuovo canale progettato, alla incerta o difficile navigazione attuale obbligata al percorso del tronco di Ticino fra Sesto e Tornavento. Sarebbe questa una nuova e capace via di comunicazione fra Milano e il Gottardo pel Lago Maggiore, dalla quale i ferri e i carboni di Germania potrebbero arrivare alla nostra città a prezzi bassissimi, e che in ogni modo faciliterebbero singolarmente gli scambi per le merci voluminose e pesanti, di un valore relativamente piccolo e indifferente ai trasbordi e alla durata del percorso. Se non che dal punto di

vista della forza, che è l'oggetto del nostro tema, nè la località scarsa degli abitati e di popolazione, sarebbe adatta a utilizzare l'ingente forza ivi raccolta, poichè non gioverebbe ripetere ivi gli errori commessi a Bellegarde e a Friburgo; nè la distanza di 36 chilometri è tale, che, allo stato attuale della meccanica, si possa sperare di tradurre la forza ivi raccolta a Milano.

Nel capitolo 4° l'autore studia tutte le derivazioni possibili del Lago di Lugano, secondo i progetti Cotta, Possenti e Villorosi; indi fissa le condizioni alle quali la forza potrebbe esser fornita nella migliore ipotesi, rimettendo alla seconda parte del lavoro il discutere se e come possa servire a Milano e nelle sue vicinanze. Nel cap. 5° accenna al Naviglio Grande e alla Martesana, per mostrare le difficoltà tecniche e amministrative che si oppongono a che si possa fare su di essi un grande assegnamento per la soluzione del nostro tema. Infine nel cap. 6° esamina il partito che sarebbe possibile di trarre dal canale Villorosi.

Con ciò finisce la prima parte della memoria: quella che si potrebbe chiamare informativa. Come abbiamo accennato in principio, questa prima parte è già per sè stessa, per l'abbondanza e la precisione dei dati in essa raccolti, di un grande valore. La seconda entra più addentro nella soluzione del tema, indagando, sulla base degli studi contenuti nella prima, se e fino a qual punto la soluzione del tema è possibile, coi mezzi che l'idraulica e la meccanica possono fornire al giorno d'oggi.

A quest'oggetto l'autore fa nel cap. 7° alcune considerazioni generali sul problema della trasmissione della forza a grande distanza, passando in rivista i sistemi finora conosciuti ed applicati. Scarta, e perfettamente a ragione, le funi metalliche, atte solo, come l'esperienza l'ha provato, a trasmissioni per piccole distanze. Scarta pure, e parimenti a ragione (quantunque avreb-

be potuto confortare la sua opinione con qualche esempio) l'aria compressa, come troppo costosa e di rendita troppo piccola. Infine non fa che un cenno fugace dell'elettricità, per fissarsi sull'esame dell'impiego d'acqua come il mezzo più opportuno di trasmissione. Qui, veramente, l'autore poteva soffermarsi più lungamente sull'impiego dell'elettricità per la trasmissione della forza, dal punto che questo mezzo non solo è preconizzato, ma ha raggiunto un principio di esecuzione. Si tratta di ciò che forma l'ideale che la meccanica da tanto tempo vagheggia con ardente desiderio; già gli studi recenti, sia colla corrente diretta, sia colla corrente trasformata, hanno dimostrato che la soluzione è possibile, che è vicina; si può dire anzi che il problema è già virtualmente risolto coll'esperienza di Creil, per quanto imperfette e limitate. Era quindi desiderabile che l'autore se ne occupasse, portandovi quell'acume di giudizio che ha portato nella rapida critica di altri sistemi. Se non che è probabile che appunto perchè tutto il lavoro suo lo dimostra valente idraulico, egli non abbia voluto portare un giudizio in un campo al di fuori della sua specialità. Comunque sia, la definitiva scoperta della trasmissione elettrica della forza nonchè togliere, aggiungerà valore agli studi del concorrente, poichè non farà che estendere la sfera d'efficienza di quelle forze idrauliche delle quali egli ci ha presentato un così ricco inventario.

Il risultato della analisi che l'autore istituisce sulla trasmissione per mezzo dell'acqua, dopo aver scartato tutte le altre soluzioni, lo conduce ad esprimere l'opinione che, allo stato attuale delle cose, l'acqua ad altissima pressione sia ancora l'unico mezzo il quale presenti probabilità di successo.

Ammesso che nessun altro mezzo sia possibile, o più conveniente, in confronto dell'acqua ad altissima pressione, riesce facile all'autore di dimostrare, nel cap. 8°, che nessuna

speranza si può nutrire di trasmettere a Milano o nei dintorni, con questo mezzo, nè i 5000 cavalli delle rapide di Paderno a 30 chilometri da Milano, nè i 24.000 cavalli di Nosate, distante 36 chilometri. Non rimangono che le acque portate dal canale Villoresi, che si possono utilizzare con un salto di m. 52,50 dal punto di presa a Milano attingendole a una distanza di 12,5 chilometri dalla città; oppure quelle che si potrebbero portare con un canale derivato dal lago di Lugano, prendendole a 24,5 chilometri, dove si troverebbero a un'altezza sul piano medio di Milano, di 128 m. Giunto a questo punto, l'autore analizza il problema economico di una condotta d'acqua diretta, dall'uno all'altro punto, sia con canale scoperto, che con una condotta forzata; dimostra la possibilità della prima, l'impossibilità della seconda, e determina in via di approssimazione il costo del cavallo, che risulterebbe di 100 a 150 lire all'anno in città e nelle vicinanze, e di reddito sufficiente per capitale impiegato, più elevato però per la derivazione del canale Villoresi, che per quella del canale di Lugano. Se si considera che l'acqua distribuita in molte città per l'uso della piccola industria si paga a un prezzo assai superiore, riuscendo ancor più conveniente, per piccole forze, dell'impiego del gas o del vapore; che anche per forze grandi, il cavallo ottenuto con una macchina a vapore non costa meno di 350 a 400 lire all'anno; che infine nella stessa Milano si è fatto un recente acquisto d'acqua motrice per una somma corrispondente a L.450 per cavallo all'anno, è agevole concludere che le proposte dell'autore, se non trovassero altri ostacoli alla loro attuazione, riescirebbero di singolare vantaggio all'industria milanese.

Tali sono le conclusioni dell'autore nel cap. 9°, dove son riassunte tutte le sue considerazioni precedenti. "Tal problema, osserva egli, non senza rimpianto, non ha dunque quell'ampia

soluzione che sarebbe stata desiderabile; perchè la forza così attinta al canale Villoresi, o attingibile dal futuro canale di Lugano, non si può svolgere tutta nell'interno della città, ma in parte sulla periferia e in parte entro un raggio di 13 a 24 chilometri. Non di meno è l'unica soluzione che si presenti facile, di costo limitato e finanziariamente conveniente". Fra le due derivazioni, quella del canale Villoresi risulta più conveniente: il che torna tanto più acconcio, poichè il canale di Lugano è ancora allo stato di progetto.

Fatto così un lavoro di eliminazione, non rimaneva più all'autore che a svolgere il progetto di un canale di derivazione d'acqua motrice del canale Villoresi: ciò che forma l'argomento del 10° ed ultimo capitolo. E in questo progetto si manifesta tutto l'ingegno dell'autore nel modo con cui sormonta le difficoltà del problema. Sono parecchi metri cubi al secondo che si dovrebbero derivare dal canale Villoresi e portare a Milano; ora dove questo volume d'acqua si potrà smaltire? Ecco la proposta dell'autore; il Naviglio di Pavia ha una competenza di 6 a 7 mc. che gli vengono dal Naviglio Grande a porta Ticinese; ebbene, si mandi in tutto o in parte questo volume attinto al Ticino, non nel Naviglio Grande a Tornavento, ma nel canale Villoresi; e poi si restituiscano al Naviglio Grande, e di là al Naviglio di Pavia a Milano. La sola difficoltà all'esecuzione di quest'abile combinazione consiste nel compensare gli utenti del Naviglio Grande con opportuna regolazione delle loro bocche in causa del più basso livello che le acque del Naviglio verranno ad avere: cosa difficile, ma non impossibile, poichè quelle stesse bocche furono già regolate precisamente in senso contrario pel maggior livello che ebbe ad avere il Naviglio Grande quando, al principio del secolo per essersi costruito il canale di Pavia, si dovette farne passare la competenza nel Naviglio Grande.

Malgrado ciò, noi non ci dissimuliamo che ostacoli di indole amministrativa come questo che tocca tanti interessi, non sono così facili a superare come l'autore, trascinato dalla seduzione del suo ingegnoso progetto, sembra disposto a credere.

Un altro scaricatore possibile è il Redefossi, e così possono servire parzialmente a quest'uopo altre roggie che si dipartono al sud di Milano. Tutto il volume di acqua che si scaricherebbe nel loro letto, potrebbe essere portato in aumento di quello corrispondente alla competenza del Naviglio di Pavia; o anche potrebbe servire a diminuzione di quel tanto che si dovrebbe sottrarre al Naviglio Grande al suo incile, scemando con ciò le difficoltà della compensazione delle sue bocche di utenza. Cosicché si può contare, ammesso una favorevole soluzione di questa difficoltà, che si possono condurre, col canale progettato, almeno 7 mc. al secondo.

Il canale, derivato dal canale Villoresi presso Palazzolo sul Seveso verrebbe giù lungo la linea Milano-Erba; e alla Bovisa incontrerebbe la nuova cinta stabilita dal piano regolatore della città. Ivi il canale si biforcherebbe; 5 mc. andrebbero a ponente lungo la nuova linea di circonvallazione, e finirebbero nel Naviglio Grande fra Porta Ticinese e Porta Genova, e di là nel Naviglio di Pavia; 1 mc. andrebbe direttamente nella condotta di fognature dei nuovi quartieri; e infine 1 mc. sarebbe condotto a oriente lungo la nuova linea di circonvallazione e si getterebbe nella Martesana e di là nella Fossa interna, oppure sottopasserebbe la Martesana per scaricarsi nel Redefossi.

Se l'utenza del Redefossi permettesse di scaricare in esso 4 o 5 mc. di acqua, si potrebbe portare a Milano anche un volume superiore a 7 mc., sino a 10 mc., e più, derivando in tal caso un altro canale dal canale Villoresi presso Monza e facendolo discendere lungo la linea Milano-Monza per immetterlo nel

canale di circonvallazione presso al suo sbocco nella Martesana. L'autore crede che il Redefossi sia capace di un così forte aumento di portata e che la sua utenza vedrebbe con piacere il suo cavo arricchito con questo considerevole volume d'acqua continuo. Non di meno egli non svolge che il progetto più ristretto, facendo solamente un breve accenno all'altro.

Col progetto di derivazione di 7 mc., il tronco esterno, cioè dalla presa presso Palazzolo sul Seveso sino alla biforcazione della Bovisa, avrebbe quindici salti su una lunghezza di 11.290 m., con un dislivello totale di m. 42,23, e quindi con una forza disponibile di circa 3000 cavalli utili. Dalla biforcazione al Naviglio Grande il canale di circonvallazione lungo 5200 m., avrebbe un dislivello di 10 m. circa suddiviso in tre salti, con una forza disponibile complessiva di 500 cavalli utili; mentre il tronco diretto ad oriente verso la Martesana, lungo 3800 m., offrirebbe un dislivello di soli m. 2,35, e fornirebbe, suddiviso in 2 salti, una forza utile di 23,5 cavalli.

Questo canale di circonvallazione che fornirebbe a Milano una forza di più di 500 cavalli effettivi, offrirebbe alla nostra città tre altri vantaggi di non lieve importanza. Potrà servire un giorno come la migliore delle cinte daziarie lungo metà circa della periferia della città, quando si dovesse spostare la cinta attuale; arricchirebbe di un metro cubo al 1" la dote d'acqua della quale Milano dispone per la sua fognatura; e infine potrebbe soddisfare all'antico e vivissimo desiderio della cittadinanza milanese di sopprimere la Fossa interna, sostituendo quest'ultima, nell'ufficio di collegare la Martesana col Naviglio Grande. A quest'uopo, il nuovo canale dovrebbe essere navigabile: al quale intento l'autore propone un sistema di sottopassaggio delle barche, mediante conche inverse, nei sottopassaggi delle ferrovie Milano-Vigevano e Milano-Monza,

valendosi del Lambro e dello scaricatore del Seveso per scaricare l'acqua nelle concate.

La parte esterna del canale progettato si manterrebbe da sè coll'introito dei suoi 3000 cavalli, valutati in media a solo L.100 all'anno. I due tronchi di circonvallazione, che importerebbero un costo, in cifra tonda, di L. 1.500.000, richiederebbero, volendo tener basso, cioè a sole L. 125, il canone annuo per forza cavallo, un concorso del Comune in L. 600.000, oltre a un contributo annuo di L. 30.000 per mc. d'acqua adibito ad uso pubblico per la fognatura, secondo la tariffa del canale Villoresi. Volendo elevare maggiormente il prezzo annuo della forza motrice, ciò che certamente si può fare avuto riguardo al grande valore che essa può avere lungo la periferia della città, al limite dei nuovi quartieri industriali e in vicinanza alle ferrovie, si potrebbe diminuire proporzionalmente il contributo del Comune nel capitale di costruzione del canale di circonvallazione, o anche sopprimerlo del tutto.

Atteniamoci a questo progetto, del quale il concorrente fornisce tutti gli sviluppi di dettaglio nell'allegato 7° della sua Memoria, comprendente il profilo del canale esterno dalla presa alla biforcazione in scala 1:10.000, la corografia della stessa scala della zona superiore della città coll'andamento del canale lungo la nuova cinta del piano regolatore, e il profilo dei due tronchi di circonvallazione. Per questo progetto, oltre la suaccennata difficoltà della regolazione delle utenze del Naviglio Grande, non c'è altro da fare, perchè diventi tosto attuabile, che ottenere il consenso del Comune: consenso, che non potrebbe essere negato, se si considerano i vantaggi diretti e indiretti che il Comune verrebbe a conseguire per la sua attuazione. Quanto al progetto più vasto, che mirerebbe ad elevare a 10 mc. il volume d'acqua portato a Milano coll'aggiunta di un canale Monza-Milano,

certamente esso raddoppierebbe i vantaggi sperati del progetto ristretto, poichè si otterrebbe complessivamente, coi due canali e con una spesa totale di circa lire 2.300.000, una forza di 6000 cavalli entro una zona di soli 13 chilometri di raggio lungo due ferrovie importanti e lungo la periferia stessa della città, nella parte più popolata e più industriosa del territorio circostante a Milano. L'impresa sarebbe lucrosa, anche vendendo la forza a sole L. 100 per cavallo all'anno. Ma pur attenendosi al solo progetto più limitato, del quale il concorrente ci offre tutti i particolari, come si vide, l'utilità dell'impresa per la città di Milano, appare già manifesta, poichè essa ci darebbe 3000 cavalli utili in una zona di poco più di 11 chilometri e 500 cavalli nella stessa città.

Noi non crediamo necessario di spendere altre parole, dopo l'esteso sunto che abbiám fatto del lavoro presentato dal concorrente, per dimostrarvi, onorevoli colleghi, che il lavoro stesso è di un'importanza grandissima, e che il progetto concreto di derivazione di un canale di forza motrice dal canale Villoresi, opera facile e possibile, risolve il tema proposto nel modo migliore che le condizioni attuali del problema possano permettere. Diciamo espressamente "condizioni attuali" perchè abbiám una viva speranza che la soluzione del quesito moderno della trasmissione della forza a grande distanza possa ottenersi e forse fra breve; e allora il tema proposto dall'Istituto troverà da sè la sua completa soluzione; nè vi saranno gravi ostacoli a che i 5000 cavalli di Paderno e i 24.000 cavalli che il concorrente, con un'idea ardita, ci dimostra possibile di concentrare a Nosate, si possano tradurre a Milano e nel territorio che la circonda. Per queste considerazioni, la vostra commissione è stata unanime nel proporvi che si assegni il premio Edoardo Kramer all'autore del lavoro contrassegnato coll'epigrafe "I diamanti della corona d'Italia sono le Alpi".

La commissione si augura che l'autore, fatte alla sua Memoria le modificazioni richieste dal progresso del tempo e della pubblicità, la pubblichi col corredo di tutti i suoi allegati perchè serva di guida e di norma per le ricerche avvenire; e si vale di questo stesso rapporto per emettere il voto, che il Comune di Milano prenda in seria considerazione il progetto di derivazione del canale Villoresi presentato dal concorrente e gli presti il suo appoggio nell'interesse delle industrie cittadine.

Letto ed approvato nell'adunanza del 25 novembre 1886. Per tale approvazione il premio di L. 4000 fu conferito al Sig. Ing. Cesare Cipolletti, rappresentante della Società Italiana per condotte d'acqua.

La trasmissione elettrica della forza e il suo significato per l'avvenire dell'industria italiana*

Noi amiamo tutti il nostro paese; ma il nostro patriottismo non ci può impedire di vedere che l'Italia, se ha saputo raggiungere, coll'unità, l'ideale politico al quale mirava da secoli, è rimasta indietro di molte Nazioni civili nello sviluppo economico. Per un lungo periodo noi siamo stati alla testa del mondo non solo nell'arte, ma anche per le industrie e i commerci; ma il nostro primato è da molto tempo scaduto, nè l'unità politica, per diverse circostanze, è riuscita ad attuare ciò che nel campo economico sembrava promettere. Perciò noi dobbiamo salutare con gioia qualunque sintomo che ci possa far sperare un avvenire migliore. È per questo motivo che, essendo stato cortesemente invitato a fare una conferenza presso questo fiorente e simpatico Circolo, ho pensato di intrattenervi di una questione che ha destato da qualche anno la più grande aspettazione, e che, risolta come pare ormai che lo sia, può offrire all'Italia il mezzo di sviluppare in misura inattesa le sue industrie e di elevarsi un giorno a competere colle altre Nazioni industriali più ricche o più fortunate.

L'industria moderna, anzi, più che l'industria, la stessa trasformazione profonda che le Società civili hanno subito dal principio del secolo ad oggi nel campo economico e persino nel campo politico è dovuta in gran parte a un fatto solo: l'invenzione della macchina a vapore. Il giorno in cui il Genio di Watt trovò la soluzione pratica del problema di convertire il calore in

* "La Perseveranza", 21 aprile 1890. Conferenza tenuta al Circolo Filologico di Milano il 20 aprile 1890.

forza, si schiuse un nuovo e apparentemente sconfinato orizzonte, verso il quale l'umanità si è lanciata con ardore. Anzi vi si è slanciata con una foga così irriflessiva che oggi il pensatore ha il diritto di domandarsi se non si è battuta una falsa strada, e se l'invenzione della macchina a vapore si possa veramente dire, come si è sempre proclamata finora, un beneficio.

Sarebbe una storia grandemente interessante quella che mostrasse in qual modo e per quali insensibili progressi, il genio inventivo dell'uomo sia arrivato a quest'ultima sua manifestazione. Per quanto i documenti di una simile storia sieno difficili a rintracciare, poichè si perdono in parte nella notte dei tempi preistorici, pure è un argomento che dovrebbe offrire ai dotti quasi lo stesso interesse che ha destato la ricerca dell'origine delle lingue. A noi, famigliari ormai cogli splendidi risultati ai quali è giunta la scienza moderna, a noi che sappiamo ormai come il calore, la luce, la forza, sieno forme diverse d'una stessa causa e si possano convertire l'una nell'altra, pare strano che questo nesso sia sfuggito ai nostri predecessori; ma non v'ha dubbio che l'umanità ha dovuto impiegare un tempo incalcolabile per arrivarvi.

Il primo uomo il quale, sfregando l'uno contro l'altro due pezzi di legno, ne vide scaturire una scintilla, fu un inventore memorabile senza saperlo. Scoprendo il modo di produrre il fuoco colla forza delle sue braccia, egli ha convertito pel primo la forza in calore e in luce. Quanto grande sia stata l'impressione di questa scoperta, lo prova il mito di Prometeo che rapisce il fuoco a Giove, in cui la immaginosa fantasia degli antichi l'ha adombrata.

Ma la trasformazione inversa del calore in forza doveva ancora rimaner sconosciuta per centinaia di secoli. L'unica sorgente di forza della quale i nostri padri poterono per lungo

tempo disporre, fu la forza muscolare dell'uomo e degli animali: Plauto che gira la macina da grano è l'espressione più commovente dell'industria antica. Un primo grande progresso fu senza dubbio l'invenzione della ruota idraulica, che permise di mettere al servizio dell'uomo una potente e quasi illimitata forza naturale, quella dell'acqua. Nessuno ha potuto assegnarle una data storica precisa, come non ha potuto indicare il giorno in cui la prima vela si gonfiò sotto l'impulso della brezza marina; ma il significato di quell'invenzione non era sfuggita agli spiriti più eletti. Io non posso trattenermi dal citarvi la strofa graziosa che lo spettacolo di un molino ad acqua ispirava ad un antico poeta greco¹:

O fanciulle che girate la macina in tondo, risparmiatemi d'ora innanzi le vostre mani, e dormite tranquille. Invano la voce sonora del gallo annuncerà il mattino; voi continuate pure i vostri sonni. Cerere ha comandato alle Naiadi di lavorare per voi, vedete come esse danzano brillanti e leggere sulle pale della ruota che gira.

Tuttavia, per quanto l'invenzione della ruota idraulica sia stata feconda, per quanto essa abbia veramente inaugurata l'era delle macchine, essa non avrebbe avuto la virtù di mutar faccia all'industria moderna. Per utilizzare la forza dell'acqua bisognava andarla a cercare dove si presenta in condizioni facili per essere raccolta; in località poco accessibili, in mezzo ai monti, lontana nei luoghi ove le grasse pianure o la prossimità del mare favorivano la formazione dei centri di popolazione. Quindi se la forza idraulica ha potuto dar vita alle più semplici industrie agricole e metallurgiche e promuovere lo sviluppo delle industrie tessili, non poteva prestarsi a supplire a quel molteplice

1. Antifilo di Bisanzio, I sec. a. C. - I sec. d. C., n.d.c.

impiego di forza, senza del quale pare a noi impossibile ormai l'esistenza di qualunque consorzio civile.

Era riservato al nostro secolo di veder attuato questo ultimo e meraviglioso progresso, la conversione del calore in forza. Preconizzata da lunghi anni di tentativi, la macchina a vapore scaturisce armata di tutto punto dal cervello di un oscuro meccanico inglese. Non c'è più alcun ostacolo ad applicare all'industria una forza illimitata; poichè dovunque si trova del combustibile, o si può portarvelo, si può trasformarlo in forza meccanica. L'abbondanza della forza genera le macchine che surrogano il lavoro dell'uomo. La mano d'opera si ribella da principio, presaga dei dolori futuri; ma le macchine, anche senza i fiumi d'inchiostro versati dagli economisti per proclamarne le virtù, sono troppo potenti per non aprirsi da sè la via. La produzione manifatturiera cresce rapidamente e con essa la popolazione; ma appunto perciò riesce sempre più difficile di mantenere l'equilibrio fra la produzione e il consumo. Quindi le crisi industriali, sempre più intense e terribili; poichè ogni qualvolta la produzione eccede il consumo, bisogna che succeda un periodo di liquidazione dello stock prodotto in eccesso. E così la questione operaia sorge minacciosa e diventa il gran problema sociale dei tempi moderni.

Per questo vi ho detto da principio, quanto sia legittimo il dubbio se l'invenzione delle macchine sia stata benefica o fatale all'umanità. Per questo Pierre Lafitte lanciava pochi anni orsono nel Congresso di Lione questa frase profonda: "Produire fièvreusement pour consommer indéfiniment, voilà tout l'effort de la vie humaine et toute sa fin." Si sono innalzati tanti inni al progresso industriale moderno, che è ormai lecito di guardare se la medaglia ha un rovescio.

Ma altri fatti ci devono ancora impensierire. L'industria

moderna riposa pressochè tutta sull'impiego dei combustibili, anzi sul carbon fossile, poichè le foreste, sfruttate senza riguardo, non ci offrono più che un combustibile di lusso. Sono 450 milioni di tonnellate che rappresentano attualmente il consumo annuo del carbon fossile in tutto il mondo; la sola Italia ne importa 4 milioni di tonnellate, del valore di 120 milioni. Ogni minaccia di scioperi nelle miniere, ogni fluttuazione di prezzo prodotto dalla ricerca del mercato, mette in sussulto l'industria. Ma v'ha di più; si comincia ormai a pensare che le immense riserve di carbone seppellite sotto la terra dalla natura, per quanto apparissero inesauribili, non possono avere che una durata limitata. Si è fatto il conto di quanto posson durare, e si è riusciti a cifre spaventevoli soprattutto pei paesi, come l'Inghilterra, la cui prosperità riposa tutta sul carbone.

L'allarme fu dato in Inghilterra nel 1865. Il prof. Jevons, calcolando che la coltivazione delle miniere di carbone non si può spingere a profondità maggiori di 1200 metri e che il consumo segna una progressione rapidamente crescente, arrivò a dire che l'Inghilterra non aveva carbone per più di un secolo. Fu nominata una Commissione, presieduta dal Duca di Argyll, la quale riferì nel 1871 il risultato dei suoi studii. Essa calcolò che i giacimenti inglesi non contengono più di 146 mila milioni di tonnellate di carbone utilizzabile; e ne dedusse, che ammettendo un aumento di produzione di 3 milioni di tonnellate all'anno, come si verifica in fatto, i 146 mila milioni di tonnellate non avrebbero durato più di 276 anni. Studi più recenti, intrapresi dal Sig. Hall, ispettore delle miniere, riducono questa durata probabile a 200 anni.

È difficile di prevedere quali sarebbero per l'Inghilterra le conseguenze dell'esaurimento delle sue ricche miniere. La popolazione inglese è andata crescendo continuamente; per la cre-

sciuta prosperità, da 25 o 30 abitanti per chilometro quadrato, come era pochi secoli fa, a circa 250. L'aumento di popolazione ha prodotto la necessità di importare gran parte dei mezzi di sussistenza, il cui costo è quindi andato crescendo, fino a raggiungere la media di circa 350 lire per testa all'anno. Ora, cessando le riserve del carbone, cosa avverrà di questa grande popolazione? Non è egli probabile che cominci un'era di spopolamento, finché la densità della popolazione ritorni quella che era prima del periodo di prosperità? Non è avvenuto lo stesso per la Grecia, per Roma, per la Spagna dopo i loro brillanti periodi storici?

Neppure la Francia può essere tranquilla del suo avvenire. Le riserve Francesi di carbon fossile, valutate 18 milioni di tonnellate, non sembra che possano neppure esse durare più di 250 anni. Nè in condizioni molto migliori si trovano il Belgio e la Germania. Ma la iattura non sarebbe per nessuna di queste Nazioni, così grave come per l'Inghilterra.

Non si deve credere, però, che esauriti i giacimenti europei, il mondo rimanga privo di carbone. C'è nel sottosuolo degli Stati Uniti una estensione di giacimenti valutata a mezzo milione di chilometri quadrati, che potrebbe bastare per 11 mila anni a supplire ai bisogni dell'industria mondiale, se questa si accontentasse dei 450 milioni annui di tonnellate che consuma oggi, oppure per due a tre mila anni, se il consumo andasse crescendo. Ci sono i giacimenti ancora inesplorati della China, che alcuni valutano dell'estensione di un milione di chilometri quadrati. Ma non bisogna dimenticare che l'importazione in Europa del prodotto di queste immense riserve renderebbe il carbone, in causa dei trasporti, una merce estremamente preziosa. Certo essi assicurano agli Stati Uniti un lungo e prospero avvenire; e quanto alla China, è possibile che questo paese

e per le sue riserve di carbone e per la sua innumerevole popolazione, sia destinato un giorno a soverchiare colla sua potenza economica e militare la vecchia Europa, stremata di forze, impoverita e deserta. Ma una cosa intanto è sicura, o almeno grandemente probabile: ed è che l'Europa, fra due o tre secoli, si troverà ridotta in condizioni assai precarie per l'esaurimento delle sue miniere.

La prospettiva è poco lieta: e grande, se non ancora angosciata, è la preoccupazione dell'avvenire. Voi sapete che si è già pensato più volte a utilizzare il calore del sole. Gli specchi coi quali si dice che Archimede abbia bruciato la flotta nemica non parvero una fola. Sulle sabbie africane il sole dardeggia così forte che può elevar la temperatura dell'acqua a 60° o 70°. Concentrandone il calore con specchi anneriti e dentro campane di vetro, trasparenti pei raggi luminosi, opachi pei raggi calorifici oscuri, Mouchot è riuscito, dal 1860 al 1869, ad ottenere temperature fino a 200°, e a produrre vapore a 2 atmosfere di pressione per alimentare una macchina a vapore; con mezzi più semplici, Deliancourt mise in opera in Algeria una pompa solare nel 1865.

Può darsi che quest'idea, che non manca di grandiosità, riceva un giorno un'applicazione e un'estensione inattesa: tuttavia per ora i tentativi sono giuochi da ragazzi. Ma non si può dire lo stesso degli studi intrapresi per trasmettere a grandi distanze la forza dell'acqua.

La macchina a vapore trasforma in forza meccanica il calore sviluppato dai combustibili; ma se i combustibili venissero a mancare bisognerà tornare indietro ai processi della meccanica preistorica; non contare che sulla forza dell'acqua, e valersi di questa forza per produrre il calore e la luce. Un principio di ritorno agli antichi processi è già stato attuato e in pochissimi

anni, cinque o sei al più, ha fatto progressi da gigante. Voglio alludere all'illuminazione elettrica, che poco tempo fa sembrava destinata a non uscir mai dal rango di un processo di laboratorio, e che ora ci è già diventata così familiare come l'illuminazione a gas. Al primitivo processo della confricazione fra due pezzi di legno per produrre la fiamma, fa riscontro la macchina dinamo elettrica, la quale, messa in moto da una forza, genera una corrente che dà luce e calore. Colla luce, che se ne ottiene, sono illuminate le nostre strade; col calore si fondono e si saldano i metalli, come si vide all'Esposizione di Parigi; oppure decomponendo l'acqua nei suoi componenti, l'ossigeno e l'idrogeno per mezzo della corrente elettrica, si ottengono gli elementi costitutivi della fiamma. Appunto ora che parlo, si stanno facendo in Milano gli esperimenti per tentare l'applicazione ai forni impiegati nella ceramica e nella metallurgia.

Non dobbiamo dunque spaventarci se venissimo un giorno a difettare di combustibili. Noi potremo sempre produrre calore e luce senza bruciare nè carbone nè legna, valendoci delle forze naturali, della forza del vento, e della marea, o delle cadute d'acqua. Dovunque c'è un fluido in moto, ivi possiamo raccogliere la forza e applicarla a tutti gli usi ai quali applichiamo ora la forza della macchina a vapore.

Non occupiamoci per ora della forza del vento, la cui importanza non sarà mai grande, nè di quella delle maree, benchè queste possono rappresentare una forza formidabile, quando si troverà un modo pratico di utilizzarle. Occupiamoci soltanto della forza dell'acqua corrente e delle cadute, che la meccanica sa già raccogliere con eccellenti motori capaci di rendere il 75 o l'80%. Ma come ho già avuto l'onore di dirvelo, là dove la forza dell'acqua si trova in maggior copia, mancano il più delle volte le condizioni favorevoli per l'industria che la

deve utilizzare. Vedete i fiumi della valle del Po, così ricchi d'acqua perenne. Sul versante delle montagne, nelle gole profonde, voi trovate le più alte cadute; con lavori facili e poco costosi, voi potete raccogliere ivi delle forze ingenti, di migliaia di cavalli; ma se scendete al piano, non avete più che delle correnti, rapide bensì talvolta come nell'Adda a Paderno, ma più spesso neghittose come nel corso inferiore del Ticino, dell'Adige e del Po, per le quali il costo dell'impianto idraulico diventa tanto più grande quanto più debole è il pendio. E nella più gran parte dei centri popolari, dove maggiore è il bisogno della forza, del calore e della luce, a Milano, a Genova, a Torino, in quasi tutte le città della pianura, o non esiste forza idraulica, o esiste in misura incomparabilmente inferiore al bisogno.

La macchina a vapore si può installare dappertutto, si può applicare dovunque c'è bisogno di forza, presso le ferrovie che portano le materie prime e smaltiscono i prodotti, presso i porti dove si fanno gli scambi internazionali, in mezzo alle abitazioni, al quarto o al quinto piano della casa dove il fabbricante a domicilio esercisce la sua piccola industria. Per sostituire la forza con quella dell'acqua è dunque necessario di poter trasportare facilmente ed economicamente la forza idraulica dalle regioni montuose ove è più facile raccoglierla, in tutti i luoghi ove ora domina sovrana la macchina a vapore.

Questo è il grande problema della macchina moderna. Può darsi che il progresso delle scienze fisiche e meccaniche ci prepari delle sorprese che per ora è impossibile di prevedere; ma intanto, nello stato attuale delle cose, si può veramente dire che dalla soluzione di questo problema dipende l'avvenire non solo dell'industria europea, ma della società stessa; poichè quando fossero esauriti i combustibili fossili, se non si potesse contare sull'acqua per la produzione e la distribuzione della forza, del

calore e della luce, non resterebbe altra alternativa che tornare indietro alle condizioni delle popolazioni primitive.

Da lungo tempo questo problema turba i sonni degli inventori. Sono appunto trascorsi cinquant'anni dal giorno in cui, un uomo dotato di un ingegno audace e immaginoso, compreso per primo dell'importanza del problema, credette di averne afferrata la soluzione coll'impiego dell'aria compressa. I motori idraulici installati al piede delle cadute non farebbero che comprimere dell'aria a forte pressione; quest'aria immagazzinata in grandi serbatoi si distribuirebbe a distanza con condotte di ghisa, per alimentare i motori delle industrie, per caricarsi sulle locomotive nelle stazioni, o a bordo delle navi nei porti, per estrarre l'acqua calda dalle più profonde viscere della terra e distribuirla a domicilio, utilizzando così il calore centrale del globo. È un concetto grandioso, e non è neppure un'utopia; poichè a Parigi l'ing. Popp distribuisce ora la forza motrice delle alture di Belleville ai Boulevards mediante condotte d'aria compressa, e l'ing. Mekarski ha impiantato a Nantes il servizio dei tram coll'aria compressa in un'unica stazione centrale, e si può persino citare una piccola città americana dove tutti gli abitanti sono forniti di acqua calda e di gas combustibile scaturente dal suolo, per mezzo di una condotta pubblica. E d'altra parte questa grande idea che Andraud pubblicava nel 1839, è stata ripresa dal Milanese Piatti sino dal 1844, quando propose l'applicazione dell'aria compressa al traforo delle montagne, e fu applicata nel 1853 al traforo del Cenisio; e il successo rispose così completamente alle previsioni che l'ingegnere Sommeiller potè pronunciare alla Camera subalpina quelle parole celebri: "Les torrents des Alpes sont devenus nos esclaves; ils vont travailler pour nous."

Altri proposero l'impiego dell'acqua in pressione. Invece di aria compressa, è una rete di tubi in cui circola dell'acqua sotto

pressioni elevatissime alla quale si affida il compito di distribuire la forza attinta a lontani motori. L'idea è rimasta circoscritta alle distribuzioni a piccola distanza, ma ha avuto estese applicazioni; le gru idrauliche del nuovo porto di Genova, gli apparecchi di manovra delle grosse artiglierie sulla costa e a bordo delle navi, dove il comandante, dal suo posto di battaglia, può dirigere il servizio dei pezzi premendo un bottone, ne sono un esempio.

Le funi metalliche danno ugualmente, entro certi limiti, la soluzione del problema della trasmissione della forza a distanza. A Sciaffusa, la forza delle rapide del Reno si trasmette così da un gran numero di anni agli opifici della città; a Friburgo, a Bellegarde, si è tentato nello stesso modo di distribuire la forza raccolta sulla Sarina e sul Rodano. Non c'è si può quasi dire, nessun grande opificio che non si valga di questo semplice mezzo di trasmissione per varcare le distanze negate ai mezzi di trasmissione ordinari.

Ma con tutti questi sistemi, aria compressa, acqua in pressione, funi metalliche, non si potrà mai sperare di varcare le distanze che dividono le cadute montane dai centri di popolazione ove la forza, la luce e il calore si dovrebbero distribuire. Non basta trasmettere la forza a qualche chilometro di distanza; bisognerebbe poterla portare in condizioni ancora sufficientemente economiche, a 20, 30, 40 chilometri. È la distanza che v'ha, per esempio fra Milano e le pendici delle Alpi. Il calcolo più elementare potrebbe dimostrarvi che a distanze così grandi, la trasmissione coll'aria e coll'acqua e colle funi diventerebbe praticamente impossibile, un'utopia.

A questo punto si trovava il problema, quando inopinatamente, con una rapidità che ha del prodigio, l'elettricità, la quale pareva confinata al solo compito di trasmettere il pensiero,

non solo si dimostrò atta a distribuire la luce, ma ispirò la speranza di potersene servire per trasmettere la forza a distanze ancora insuperate.

Voi desiderate senza dubbio, di sapere in qual modo l'elettricità risolve il problema. Io non posso entrare in lunghi dettagli, nel breve tempo concesso a una Conferenza; ma cercherò di esporvene in poche parole il principio.

Una macchina dinamo elettrica, quando viene messa in moto da una forza sufficiente, produce una corrente elettrica che si fa circolare in un filo metallico. Intercalando delle lampade in questo circuito, avete la luce; intercalando dei corpi conduttori, del carbone, dei metalli di sezione conveniente, voi potete arroventarli o fonderli. Se invece intercalate un'altra macchina affatto simile alla macchina generatrice, essa si mette in moto sotto l'azione della corrente, e vi restituisce la forza impiegata sulla macchina generatrice, meno quel tanto di perdita che dipende dalle resistenze delle macchine stesse e del circuito. Questi fenomeni voi li potete produrre tanto in vicinanza alla macchina generatrice, in circuito di pochi metri, quanto in un circuito di lunghezza qualunque e quindi a qualunque distanza dalla generatrice, salvo la perdita che sarà maggiore in proporzione della distanza; ma questa perdita stessa voi potete limitarla sin che vorrete, aumentando la sezione del circuito metallico.

Si può dunque portare la luce, il calore, la forza a una distanza qualsiasi, con un rendimento che è limitato soltanto da considerazioni di spesa. Vogliate seguirmi un istante con attenzione, poichè qui sta veramente il nodo del problema. L'energia elettrica che circola nel filo metallico, e che voi potete trasformare a volontà in luce, in calore, o in forza meccanica, è proporzionale a due fattori: la intensità e la tensione della corrente. L'intensità è la quantità di elettricità che passa ad ogni

istante nel filo, come chi direbbe la quantità d'acqua che in ogni minuto secondo circola in un condotto di distribuzione d'acqua; la tensione invece è la forza colla quale la corrente tende a circolare, come chi direbbe la pressione dalla quale l'acqua sarebbe spinta in quel medesimo condotto. A parità di energia trasmessa, quanto più è elevata la tensione, tanto più piccola riesce l'intensità; cosicchè siccome la sezione del filo conduttore deve essere proporzionata all'intensità, più alta sarà la tensione, più piccola diventerà la sezione, più piccolo il peso, più piccolo il costo del filo conduttore. Quando doveste portare a grandissima distanza l'energia elettrica, voi non avreste che a dare alla corrente la più alta tensione possibile per ridurre sempre più il costo della condotta, a parità di perdita. Vedete come la questione economica, cioè a dire la distanza alla quale si può economicamente trasportare la forza, dipende unicamente dal grado di tensione che si può dare alla corrente.

Ora non si può elevare indefinitamente il limite di questa tensione. Innanzi tutto c'è la questione del pericolo connesso colle alte tensioni. Una tensione di qualche centinaio di Volt (che è l'unità colla quale la si misura) è affatto innocua; voi potete, per es., toccare senza alcun pericolo i conduttori della corrente che distribuisce la luce ai privati qui in Milano. Ma quando la tensione oltrepassa alcune centinaia di Volt, allora può diventare mortale; rammentatevi il caso recente di Torino. Pure, questo non può essere un grave ostacolo; basta isolare perfettamente i conduttori, o metterli sotto terra, per scongiurare qualunque pericolo.

Ma se la tensione è molto alta, allora la corrente tende a disperdersi con tanto maggior facilità quanto più debole è l'isolamento del conduttore. Prendete un tubo e fatevi circolare dell'acqua a una pressione assai grande; se il tubo sarà debole, o

i suoi giunti saranno mal fatti l'acqua tenderà a scappare da tutte le parti, o farà saltare il tubo.

Questo è il vero e più grande ostacolo, che presenta l'impiego di altissime tensioni. Ad Alzano, dove fu fatto recentemente un impianto per trasmissione di forza e di luce utilizzando una forza d'acqua a 3 chilometri di distanza, si è adottata una tensione di 2000 Volt, più che sufficienti in questo caso, e che non offre nessuna difficoltà di isolamento; tensioni di 1500 a 2000 Volt sono impiegate anche a Milano per l'illuminazione elettrica pubblica senza alcun inconveniente. Fra Tivoli e Roma, a 26 chilometri di distanza, si sta impiantando la trasmissione di un migliaio di cavalli, attinti alle celebri cascate, mediante una linea elettrica a 5000 Volt, e si ha sin d'ora la certezza che funzionerà perfettamente. Ma la linea elettrica fra Deptford e Londra, impiantata da Ferranti per l'illuminazione di Londra, la quale dovrebbe funzionare a 10.000 Volt, non ha dato ancora un risultato soddisfacente col sistema di conduttori adottato dapprima; nè si sa ancora se resisteranno i nuovi conduttori che si stanno apprestando.

Come vedete la questione delle altissime tensioni è ancora *sub judice*; e non è ancora ben definito se converrà adottare in avvenire piuttosto una corrente alternativa, o una corrente continua; questione nella quale non potrei entrare senza diffondermi in considerazioni tecniche troppo lunghe. Ma intanto di questo possiamo essere certi: che tensioni di 5000 Volt sono possibili, e che non è tolta la speranza di elevarle ulteriormente; e che con questo limite di tensione si può ancora trasportare economicamente l'energia elettrica, per convertirla in luce, in calore e in forza, fino a 20, 25, 30 chilometri di distanza, con una perdita non superiore al 30 o al 40% della forza impartita alla macchina generatrice all'origine della linea, e con una spesa così limitata

da permettere ancora di far concorrenza, anche a quelle distanze, alla luce e alla forza ottenute col carbone ai prezzi attuali, col gas illuminante e colla macchina a vapore.

È già un risultato enorme, che sarebbe stato assolutamente impossibile di raggiungere coi mezzi di trasmissione conosciuti finora. Quali ne possono essere le conseguenze, voi non mancate certamente di vederlo.

L'Italia, priva di combustibili, o almeno avendo solo degli scarsissimi giacimenti di lignite e di torba, che sono combustibili inferiori, e avendo devastato senza riguardo le sue foreste, si trova perciò in una grande inferiorità rispetto alle nazioni industriali, l'Inghilterra, la Francia, la Germania, che hanno ancora ricche riserve di combustibili minerali. Non è certo questa la sola causa della nostra inferiorità; poichè la Svizzera, che pur non ha carbone, ci è superiore nello sviluppo industriale. Però se bene osserviamo, è vero che la Svizzera ha attitudini industriali maggiori di quelle di una gran parte delle popolazioni italiane, ma ha anche il vantaggio di essere nel centro delle Alpi e di avere una enorme forza d'acqua a immediata disposizione.

Ora noi siamo ai piedi delle Alpi e possiamo disporre anche noi di una forza idraulica ingente. E neppure gli Appennini mancano d'acqua: la sola cascata delle Marmore porta 90 mila cavalli. Solamente a differenza della Svizzera, che ha l'acqua, si può dire, sul posto dove si deve utilizzarla, noi non potremmo trarre partito da tutte le nostre forze idrauliche senza trasportarne una gran parte a distanze considerevoli. Ma quando questo trasporto si potesse eseguire in condizioni economiche favorevoli, la forza della quale si potrebbe disporre sarebbe tale da far diventare l'Italia un paese industriale di primo ordine.

Il bacino del Po manda al mare un volume d'acqua che nelle epoche delle magre ordinarie è di circa 800 metri cubi al minuto

secondo. Quest'acqua proviene da tutte le altitudini comprese fra i ghiacciai delle Alpi e il livello del mare. Se supponiamo che di tutta la caduta che quest'acqua compie per andare al mare, soli 200 metri si possono utilizzare, si avrebbe una forza disponibile di 2 milioni di cavalli. Per avere una forza continua così ingente colle migliori macchine a vapore, bisognerebbe bruciare 15 milioni di tonnellate di carbone all'anno, del valore, ai prezzi attuali, di mezzo miliardo. Se questa forza fosse impiegata a produrre della luce elettrica, si potrebbe illuminare con essa un'estensione di 2500 chilometri quadrati di strada colla stessa intensità colla quale sono illuminate ora le principali vie di Milano.

Ma limitiamoci soltanto, per farci un'idea della ricchezza che ancora ci rimane da sfruttare, alla forza che si potrebbe immediatamente utilizzare, sia a Milano che nell'alta regione industriale lombarda, con una trasmissione elettrica. Il Ticino porta, fra Sesto Calende e l'incile del Naviglio grande una forza di 40 mila cavalli; di questa forza, 34 mila cavalli si potrebbero agevolmente raccogliere col progetto dell'ingegner Cicolletti, presso Tornavento, a 35 chilometri da Milano, e a una distanza assai minore dai numerosi opifici scaglionati lungo la valle dell'Olona.

L'Adda fornisce, alle rapide di Paderno, una forza minima, in magra, di quasi 7000 cavalli. Tenendo conto di tutte le perdite si può portarne la metà, cioè 3500 cavalli, alle porte di Milano, a 30 chilometri di distanza. Qui, convertendo l'energia elettrica in forza meccanica, si sottrarrebbe per sempre l'industria milanese dalla dipendenza del carbone straniero, mentre convertendola in luce, si potrebbe illuminare tutte le vie della città e fornire ancora da 50 a 60 mila lampade elettriche per l'illuminazione privata; nè si tratta già di un'idea vaga o di una semplice speranza per

l'avvenire, ma di un progetto concreto, che può essere attuato entro tre o quattro anni.

L'Italia importa ora 4 milioni di tonnellate di carbone dall'Inghilterra e dalla Germania. È un ben piccolo consumo, in confronto di quello della Francia, per esempio, che ne consumò nel 1889 34 milioni di tonnellate; cioè 24 delle sue miniere e 10 importati; e dimostra, meglio di qualunque altra cifra, la nostra inferiorità industriale. Ma pur rimanendo in questa modesta situazione, i 120 milioni che noi dobbiamo pagare all'Estero ora per le nostre provviste di carbone sono indubbiamente destinati a crescere, perchè non è possibile che il prezzo del carbone non si elevi continuamente, coll'aumento del consumo, colle difficoltà sempre maggiori della coltivazione, cogli scioperi, coll'elevazione dei salari, colle minacce di un non lontano esaurimento delle miniere europee. In quale situazione ci troveremo fra 10, fra 20, fra 100 anni, se non avessimo quella grande riserva di forza, che i nostri corsi d'acqua travolgono ora senza frutto dalle Alpi e dall'Appennino al mare?

O io m'inganno grandemente, o l'applicazione dell'elettricità alla trasmissione della forza a grandi distanze rappresenta per l'Italia un fatto di un'importanza così straordinaria che l'immaginazione più fervida difficilmente potrebbe prevederne tutte le conseguenze. È un fatto che può mutare completamente la faccia del paese, che può portarlo un giorno al rango delle Nazioni più favorite per ricchezza di prodotti naturali e per potenza d'industria. Quando l'eccesso del costo del combustibile avrà portato un colpo fatale alle industrie che esso alimenta, quando l'esaurimento delle riserve di carbone avrà impoverito i paesi che esse hanno arricchito sinora, allora verrà il loro turno anche per le Nazioni che hanno una grande ricchezza di acque correnti; e l'Italia che sta sotto alle Alpi, non sarà certo l'ultima a profittarne.

E ne approfitterà finchè il sole splenderà sul nostro paese; poichè è la forza del sole, che sollevando l'acqua dal mare la porta a condensarsi in neve e in pioggia intorno alle fredde vette delle nostre montagne, alimenta i nostri fiumi e genera la forza che questi riportano al mare. È ancora il sole, che scomponendo l'acido carbonico dell'atmosfera ha fornito il carbone alle foreste antidiluviane, le quali, seppellite a centinaia di metri sotto terra dalle convulsioni terrestri, si sono a poco a poco trasformate nei giacimenti carboniferi che ora sfruttiamo. Ma l'energia solare immagazzinata nelle riserve di carbone non si riproduce più, e sarà perduta del tutto e per sempre, quando quelle riserve saranno esaurite; mentre l'energia che fa compiere il suo ciclo all'acqua del mare, è continua e perenne finchè sarà continuo e perenne il calore del sole.

Pure anche il sole è destinato a oscurarsi e perire; e allora si estinguerà insieme ogni vita terrestre, in quella terribile angoscia delle tenebre che l'immaginosa fantasia di Byron ha descritto con così fieri colori:

il sole era spento, e le stelle impallidivano nello spazio eterno; e la terra gelata galleggiava cieca e nera nel vuoto ... I fiumi e l'Oceano erano diventati stagnanti ... le onde e le maree erano morte, e i venti tacevano nell'atmosfera immobile ... gli uomini brancicavano negli ultimi bagliori delle foreste incendiate ... i palazzi dei re e i tuguri del popolo si abbruciavano per diradare le tenebre, poichè le tenebre erano in tutto l'universo.

Ma noi saremo già morti da molte migliaia d'anni, e non ci toccherà più alcuna umana sventura.

I progressi della elettrotecnica in Italia*

Maestà, graziosa Regina,
Signore e Signori

Sei anni or sono, un grande scienziato del quale l'Italia ha pianto amaramente la perdita, Galileo Ferraris, svolgendo davanti a Voi il tema della trasmissione elettrica dell'energia, attribuiva l'onore di parlarvi al fatto, che essendo egli un cultore della scienza elettrica e per essa vivendo, aveva pur dovuto trovarsi, pei suoi studi stessi, a contatto colle sue applicazioni. A me, invece, è concesso oggi un eguale onore, solo perchè mi è toccata la fortuna di essere stato fra i primi a inaugurare queste applicazioni in Italia.

Una tale designazione, per la quale è conferito a me un privilegio tanto superiore al merito mio, ha pure un alto significato che oltrepassa di molto il valore delle persone; perchè prova quanto sia necessaria e riconosciuta in questa, come in tutte le altre manifestazioni dell'attività umana, l'alleanza della scienza colla pratica. E Voi, Sire, e Voi, graziosa Regina, ben dimostrate di esserne convinti, quando, mentre non cessate di incoraggiare colla Vostra augusta presenza ogni nuova affermazione dei progressi del lavoro nazionale, non mancate neppure mai di onorare queste solenni adunanze della nostra Accademia, dove la scienza va in cerca di ideali più alti del progresso materiale che essa è destinata a promuovere.

* "Nuova Antologia", 35, fasc. 686, pp. 288-304, 16 luglio 1900. Discorso pronunciato alla R. Accademia dei Lincei davanti ai Sovrani d'Italia, nella chiusura solenne dell'anno accademico.

Fra tutte le forme nelle quali l'attività dell'uomo si esplica, non ve n'è una, nella quale sia più evidente il nesso fra la pratica e la teoria, come quel complesso di applicazioni, compendiate sotto il nome di Elettrotecnica, dei cui progressi in Italia ho l'incarico di parlarvi oggi, che in trent'anni di vita è diventata gigante, e invade ora e accaparra da sè sola una parte notevole della nostra vita, provvedendo a bisogni dapprima sconosciuti, e destando infinita meraviglia e sconfinite speranze. E appunto per questo il mio illustre predecessore vi aveva tratteggiato da par suo, in una di quelle sintesi eloquenti che solo agli uomini superiori è dato di fare, i principi scientifici sui quali quelle applicazioni si fondano.

Una gran luce è venuta a rischiarare i fenomeni osservati nel periodo di 25 secoli, dall'attrazione esercitata dall'ambra strofinata, alla quale Talete attribuiva un'anima, alla corrente di Volta. Tutte le ipotesi immaginate per spiegarli hanno ceduto il posto a una teoria meravigliosa, che è un nuovo passo verso il concetto ideale dell'unità delle forze fisiche cui tende lo spirito umano. Fenomeni elettrici e fenomeni magnetici son dovuti a modificazioni che avvengono in un mezzo dal quale tutto lo spazio è riempito. E poichè Hertz, confermando nel 1887 colle sue celebri esperienze le previsioni della teoria, potrà produrre delle onde elettriche e seguirne la propagazione come si seguono le onde prodotte da un sasso caduto nell'acqua, e dimostrare che si comportano e si propagano come le onde luminose, così si presentò, come la più naturale, l'ipotesi, che il mezzo nel quale si propaga l'energia elettro-magnetica sia quello stesso etere nel quale si suppone che si propaghi la luce; anzi, che le vibrazioni luminose non sieno che vibrazioni elettro-magnetiche di una superiore rapidità di alternazioni¹. Così, quando vediamo a Ro-

ma accendersi le lampade al Corso colla corrente generata a Tivoli dalla cascata dell'Aniene, il mezzo col quale l'energia dell'acqua cadente, convertita in energia elettrica, si trasmette ai carboni delle lampade, è quello stesso col quale viene a noi tutta l'energia chimica, termica e luminosa del sole; e i fili di rame, entro i quali sembra che la corrente cammini da Tivoli a Roma, non sono, come si esprimeva Ferraris, che le ruotaie destinate a guidare l'energia elettrica, che si propaga alla loro superficie e nello spazio dielettrico circostante.

Era necessario che io chiamassi la vostra attenzione su questa grande sintesi, perchè possiate comprendere fra breve la possibilità dell'avvenire.

L'Elettrotecnica data dal giorno in cui il fisico Italiano Pacinotti pubblicò nel *Nuovo Cimento*, nel 1867, i particolari della prima macchina dinamo-elettrica che egli aveva inventato sino dal 1860. Tre anni dopo, l'idea di Pacinotti fu attuata da Gramme e divenne il punto di partenza di tutte le applicazioni future. Più tardi Edison matura, nel laboratorio di Menlo Park, il suo sistema di illuminazione e di distribuzione a corrente continua, che ebbe in Italia la prima applicazione nell'impianto di Milano del 1883, poi Gaulard dapprima, e tosto dopo Zipernowski, Déri e Bláthy fanno fare all'Elettrotecnica un passo decisivo col sistema delle correnti alternate, tosto applicato nel 1886 nell'officina dei

due costituiscono la radiazione ultravioletta, che comincia colla più breve lunghezza d'onda sinora misurata di $0,1 \mu = 1/10.000$ di millimetro; l'ottava seguente comprende tutta la radiazione luminosa; segue quindi una serie di un po' più di sei ottave, comprendenti la radiazione ultra-rossa o radiazione termica oscura, le cui più lunghe onde accertate sinora raggiungono una lunghezza di $61,1 \mu$. Al di là di queste, dopo sei ottave di radiazioni sinora conosciute, cominciano le oscillazioni hertziane, che hanno, per quanto si sa sino ad ora, lunghezze di onda da 4 millimetri a 13 metri, ma si estendono certamente molto più in là (Fleming, *The Centenary of the electric current*, 1799-1899).

1. Le radiazioni conosciute comprendono 21 ottave, delle quali la prime

Cerchi a Roma. Galileo Ferraris scopre nel 1885 il principio del campo magnetico rotante, lo pubblica nel 1888, ma lascia, come Pacinotti, che altri ne approfittino per la costruzione dei motori elettrici. Nel 1891 si eseguisce la memorabile esperienza di Lauffen per il trasporto della forza colle correnti polifasi e coi nuovi motori; e da quell'epoca questa grande applicazione dell'elettricità, destinata forse a produrre nelle condizioni del lavoro umano una trasformazione paragonabile soltanto a quella prodotta, un secolo fa, dalla macchina a vapore, è definitivamente assicurata. Ed ecco infine Marconi, col suo telegrafo senza fili, che schiude nel campo dell'Elettrotecnica orizzonti affatto nuovi.

Così, da Pacinotti a Marconi, in un periodo di 30 anni, l'Elettrotecnica nasce, cresce, giganteggia, e la scienza italiana tiene in essa il primo posto. Chi potrebbe dire se ciò che avvenne sarebbe avvenuto, o sarebbe avvenuto nello stesso modo, senza la geniale scoperta di Pacinotti? E chi potrebbe ora neppure immaginare i confini della nuova via aperta da Marconi al problema della trasmissione dell'energia?

Erano appena compiuti da Edison nel 1882 gli impianti di illuminazione elettrica di Pearl Street a New York e di Holborn Viaduct a Londra, che a Milano si erigeva nel 1883 la prima Centrale elettrica del Continente europeo, con 7000 lampade. Poco rimane ora di quel vecchio impianto; ma attorno ad esso è sorto un impianto nuovo, nel quale la forza delle rapide dell'Adda a Paderno alimenta, da 35 chilometri di distanza, quasi 100 mila lampade a incandescenza e 1400 archi, e distribuisce 6000 chilowatt per la industria privata e per le tramvie². A Milano se-

2. Al primo aprile 1900 erano installate a Milano 93.927 lampade ad incandescenza e 1338 lampade ad arco, delle quali 417 per l'illuminazione pubblica. Dell'energia proveniente da Paderno, 1800 chilowatt erano impiegati, a quell'epoca, per la illuminazione, 3800 per l'industria privata e 1500 per le tramvie

guirono nel 1886, Torino e Roma³. Ed oggi la luce elettrica contende pressochè dappertutto in Italia il terreno al gas con due milioni di lampade a incandescenza e 12 mila lampade ad arco.

Altrettanto rapidamente si estese l'applicazione dell'elettricità alla trazione. Molti anni sono passati dal 1855, quando un ufficiale d'artiglieria piemontese, Bassolo, ideava un sistema di trazione a motore elettro-magnetico, con presa di corrente a filo aereo e ritorno per le ruotaie, come si usa oggi. I tempi non erano maturi; ma c'era in quell'idea il germe del sistema inaugurato da Siemens a Berlino nel 1879, origine di quello straordinario

della città; in tutto 7100 chilowatt, che portavano, però, un carico massimo a Paderno di soli 6000 chilowatt circa, non essendo mai contemporanea nei diversi servigi la richiesta di energia. Le antiche dinamo Edison del 1883 sono scomparse; e ora tutta la rete è alimentata dalla corrente trifase, opportunamente trasformata, che arriva dall'officina di Paderno.

3. Ecco, in ordine cronologico, l'elenco dei primi impianti di illuminazione elettrica eseguiti in Italia; 1883, officina centrale di S. Radegonda a Milano con corrente continua a 110 volt; 1884, esperimento del sistema a corrente alternata con trasformatori in serie di Gaulard e Gibbs, a Lanzo; 1886, impianto di illuminazione a Torino con corrente continua a 110 volt; 1886, officina dei Cerchi a Roma col sistema di corrente alternata Zipernowski, Déri, Bláthy, con trasformatori in derivazione, corrente primaria a 2000 volt, secondaria a 110 volt; 1888, Udine, corrente continua, 110 volt; 1890, Cuneo, illuminazione pubblica in serie su circuiti a 2000 volt, illuminazione privata con corrente alternata monofase e trasformatori in derivazione. Si può avere un'idea complessiva dei progressi compiuti negli impianti elettrici, dal 1883 in poi, dalla relazione dei lavori eseguiti dagli Uffici tecnici di finanza durante l'esercizio 1898-99, dalla quale risulta che il numero delle officine di produzione elettrica fu, in quell'esercizio, di 2732, compresi i numerosi e spesso grandissimi impianti per usi industriali e privati. Agli effetti della tassa fu accertato un consumo nell'esercizio finanziario 1898-99 di 21.932.000 chilowattore per l'uso privato, e di 8.637.000 chilowattore esenti da tassa per l'illuminazione pubblica, rimanendo esclusi da questo computo gli impianti di forza motrice per applicazioni industriali diverse; ma nel successivo esercizio, tuttora in corso, 1899-1900 si verifica naturalmente un notevolissimo aumento, tanto nel numero degli impianti quanto nell'energia consumata, che non è ancora accertato.

sviluppo della trazione elettrica, cui diedero tanto impulso gli elettricisti americani, cominciando da Sprague; e fu appunto col sistema Sprague che si inaugurò quest'applicazione in Italia fra Firenze e Fiesole nel 1890. Ora, tredici città italiane hanno tramvie elettriche con uno sviluppo di linee di circa 600 chilometri⁴.

Molto più difficile è il problema della trazione sulle ferrovie di grande traffico, per diverse cause d'indole economica e tecnica, cosicchè in ben pochi casi si è tentato di risolverlo in altri paesi e non in larga scala; ma son prossime due importanti applicazioni che le Società esercenti le nostre reti continentali stanno per fare, per le quali, hanno già accaparrate ingenti forze attinte dal Ticino e dall'Adda. Se i lavori saranno spinti alacremente, saranno i primi esempi in Europa di trazione elettrica sulle grandi reti e non per brevi tronchi, e serviranno a chiarire molte incertezze che tutt'ora ingombrano il problema⁵.

4. Al primo impianto fatto in Italia fra Firenze e Fiesole nel 1890 seguì nel 1893 quello del primo tronco delle tramvie urbane di Milano, fatto col sistema Thomson-Houston, che fu completato in seguito con uno sviluppo di 80 chilometri di linee interne, da aumentarsi fra breve a 105 chilometri colle linee esterne. Vennero poi: il completamento della rete interna ed esterna di Firenze con uno sviluppo totale di 111 chilometri; la rete di Torino pure con 111 chilometri; e gli impianti di Genova con 65 chilometri; di Roma con 40, di Napoli con 43, di Palermo con 38, di Bologna con 35, di Livorno con 13, di Varese con 6, di Bergamo con 5 e di Como con 3 chilometri.

5. La locomotiva domina ora dappertutto sulle ferrovie di grande e di piccolo traffico, rimorchiando pesi enormi a velocità che si son spinte in questi ultimi anni a 100 e persino a 130 chilometri all'ora. Nondimeno si può essere ormai certi che non sarà il rimorchiatore esclusivo dell'avvenire, soprattutto per le proporzioni che va assumendo (si costruiscono ora in America locomotive di più di 100 tonnellate per rimorchiare convogli di 5 a 6000 tonnellate), cosicchè si richiedono ruotaie di un peso straordinario, che si consumano anche molto rapidamente. È facile dunque prevedere che ovunque è possibile si andrà tentando la sostituzione della elettricità al vapore, in modo da alleggerire i locomotori col sistema della distribuzione dell'energia attinta a officine di produzione installate sulla linea, surrogando anche all'esercizio con pochi e pesanti convogli quello, più conforme in generale alle esigenze del traffico, con

Le applicazioni alla metallurgia e alle industrie chimiche son venute più tardi; ma prima ancora che cominciassero ad esser note Garuti aveva già fatto a Milano i primi esperimenti sull'elettrolisi dell'acqua per la produzione dell'idrogeno e dell'ossigeno, cui sono destinate attualmente due officine a Terni e a Roma⁶. Ed ora che mercè la trasmissione elettrica l'industria può disporre di forze ingenti a condizioni di concorrenza, a

convogli frequenti e leggeri. Il sistema Heilmann, del quale si è tanto parlato, non è una soluzione, poichè non esclude il vapore e quindi aumenta ancora di più, a pari carico, il peso della locomotiva, non avendo altro vantaggio che la possibilità di raggiungere velocità maggiori in causa del moto rotativo, e di utilizzare tutto il suo peso per l'aderenza nel caso di linea a forti pendenze, in causa della indipendenza degli assi motori l'uno dall'altro. Ma come una macchina rimorchiatrice, la macchina Heilmann si trova sempre in condizioni inferiori alla locomotiva ordinaria, avendo necessariamente un peso specifico maggiore (minimo peso per cavallo 100 Kg., in confronto di 70). La soluzione vera, quindi, nel problema della trazione coll'elettricità non può essere, almeno nello stato attuale delle nostre cognizioni in argomento, che nell'applicazione del sistema già in uso per le tramvie urbane e per le ferrovie di piccolo traffico, cioè con stazioni centrali di produzione a acqua o a vapore, e con sotto-stazioni di trasformazione, prendendo la corrente da fili aerei, oppure da una terza ruotaia. L'opinione non è ancora fissata sull'avvenire di questa applicazione della trasmissione dell'energia, anzi si sostiene da parecchi tecnici eminenti, che non si possa spodestare la locomotiva dal suo principale dominio, cioè dalle grandi linee di forte traffico. Ma è qui il caso di ripetere l'acuta osservazione fatta da Galileo Ferraris nel 1894 nell'adunanza solenne dei Lincei: che le difficoltà attuali per la soluzione del problema della trazione elettrica sulle grandi reti stanno tutte nell'inerzia, non tanto degli uomini, quanto della massa di materiali e di servizi che bisognerebbe muovere e disturbare anche soltanto per un semplice esperimento. E per questo è lodevole l'iniziativa presa dalla Società per l'esercizio delle reti Mediterranea e Adriatica di procedere contemporaneamente a una grande applicazione sulle rispettive reti.

6. I primi esperimenti Garuti miravano ad ottenere la separazione dell'idrogeno e dell'ossigeno per servirsene in forni a gas ossidrico, ed anche come mezzo d'illuminazione per mezzo di un materiale refrattario da portarsi a incandescenza. Queste applicazioni sembrano contrastate o almeno limitate dal

Livorno si sta per attivare l'affinazione elettrolitica del rame, già tentata prima a Pont S.-Martin; Stassano sta installando a Darfo il suo processo di estrazione del ferro con 1500 cavalli, e la Società Volta la fabbricazione della soda caustica sul Pescara con 10.000 cavalli; e parecchie Società fabbricano già o stanno per fabbricare grandi masse di carburo di calcio per l'illuminazione a acetilene, con una forza complessiva di 25.000 cavalli⁷.

Questo slancio manifestatosi nelle industrie elettrochimiche dimostra qual vasto campo si aprirà all'industria nazionale, quando potrà trar partito dalle ingenti riserve di forza idraulica, ancora inoperose nelle nostre montagne. Circondata in gran parte dal mare, che contiene la materia prima della forza con quei grandi condensatori per precipitarne in pioggia i vapori, che sono le Alpi e gli Appennini, l'Italia è uno dei paesi del mondo più ricchi di questa energia fornita dalla natura. I nostri fiumi travolgono fra i monti e il mare una forza la cui parte utilizzabile si fa ascendere a più di tre milioni di cavalli. Di

costo elevato dei gas così ottenuti coll'elettrolisi dell'acqua; mentre rimane l'applicazione dell'idrogeno all'aerostatica, alla quale serve, nei parchi militari, l'officina di Roma.

7. L'impianto della Società elettrochimica Volta per la fabbricazione della soda mediante un impianto idraulico di 10.000 cavalli sul Pescara permetterà di ottenere, insieme alla soda, il cloro dell'elettrolisi del sal marino. Ambedue queste materie sono importate in Italia per la massima parte dall'Inghilterra; per cui è da supporre che la nuova industria avrà un successo sicuro, se si troveranno in Italia nuove vie in proporzione al consumo di soda pel digrassamento, per le vetrerie e per le fabbriche dei saponi. Il processo Stassano che sta per funzionare a Darfo sul lago d'Iseo utilizza il calore dell'arco voltaico prodotto da correnti generate colla forza idraulica in un alto forno, dove si trova il minerale di ferro insieme a una quantità di carbone esattamente dosata per ridurlo. Nessun tentativo è stato fatto sinora in Italia nè per l'estrazione dell'alluminio, che pure è fatta all'estero con costante successo, nè per la fabbricazione del carburo di silicio (carborundo) tanto applicato in sostituzione dello smeriglio.

questi solo 300.000 sono ora effettivamente impiegati. Una così enorme forza, se utilizzata tutta, notte e giorno, rappresenterebbe, ai prezzi attuali del carbon fossile, un valore annuo di almeno 800 milioni. Supponiamo pure che si surrogino colla forza dell'acqua i 250.000 cavalli che l'industria trae ora dalle macchine a vapore; supponiamo che tutte le ferrovie si trasformino in ferrovie elettriche, e con l'acqua si supplisca, in maniera quintupla, alla forza di 50.000 cavalli che ora richiedono⁸; supponiamo anche che si trovino accumulatori perfetti

8. La forza disponibile totale dei nostri corsi di acqua, non ancora utilizzata, e che si potrebbe ricavare industrialmente con impianti idraulici convenienti, si può valutare, secondo i dati raccolti negli Atti della Commissione nominata con Reale decreto 16 agosto 1898 per lo studio delle concessioni di acque pubbliche, completati e rettificati colle informazioni avute dagli Uffici tecnici di finanza e dal Genio civile, di cavalli 2.800.000 in cifra tonda. Aggiungendo la forza già ricavata dai salti esistenti, che è di 600.000 cavalli (secondo il concordato risultato della Direzione generale della Statistica e degli Uffici tecnici di Finanza), si ha un totale presumibile di cavalli 3.400.000. Bisogna però notare che la forza effettivamente utilizzata dei salti e delle derivazioni esistenti deve essere valutata a circa 50 per cento, cioè a soli 300.000 cavalli, cosicchè la forza totale sarebbe di 3.100.000, o in cifra tonda di 3.000.000 di cavalli; cifra che probabilmente rappresenta un minimo, essendo evidente che si andrà verificando un continuo progresso nel mondo di trarre partito di quei salti disponibili, che ora possono apparire di difficile utilizzazione.

Dagli Uffici tecnici di finanza provengono anche le notizie più attendibili sulla forza delle macchine a vapore fisse, la quale, non comprendendo le forze impiegate nelle bonifiche e per gli usi agricoli, ammonterebbe a circa 250.000 cavalli. È probabile che le forze non comprese in questa cifra l'aumentino sino a un totale di circa 300.000 cavalli. Per la trazione sulle ferrovie la Direzione di Statistica calcola la potenzialità totale delle locomotive a cavalli 1.064.000 per le sole Società ferroviarie principali. La potenza annua effettivamente impiegata sarebbe, secondo gli Atti della suaccennata commissione, nominata col Reale Decreto 16 agosto 1898, di cavalli 31.585. Da altri calcoli, però, dedotti dal consumo annuo di carbone, si avrebbe invece una media di cavalli 43.000 per le sole reti Mediterranea e Adriatica; quindi non si andrà molto lontano dal vero,

dell'energia, che ora non sapremmo neppure immaginare, e che si imbarchino a bordo delle navi per surrogare le macchine a vapore; qual margine di forza non resterebbe ancora per lo sviluppo economico avvenire del nostro paese?

Questo spiega come gli ingegneri italiani si sieno immediatamente rivolti all'utilizzazione delle nostre forze idrauliche non appena fu trovata la possibilità di trasportarle a grandi distanze, ancora in condizioni da far concorrenza alla macchina a vapore. Erasi appena cominciato all'estero a fare alcuni piccoli trasporti, quando a Genova si attuò nel 1890 quello di 1100 cavalli tratti dal Gorzente con corrente continua, e subito dopo vennero gli impianti di Intra e di Roma nel 1891 con corrente alternata. E poichè tutto, in questa sacra terra latina, evoca i ricordi dell'antichità, fu sulle arcate della villa Tiburtina di Mecenate, lungo le rive ombrose predilette da Orazio,

*... circa nemus uvidique
Tiburis ripas ...*

che si condusse l'acqua dell'Aniene a fornire l'energia necessaria all'illuminazione della moderna Roma. Poi, dopo una sosta, il trionfo del sistema trifase condusse all'impianto di Paderno, donde 13.000 cavalli derivati dall'Adda furono nel 1898 condotti a Milano. La spinta è data, le esitanze sono vinte; dappertutto si lavora energicamente a ingenti trasporti di forza. Ormai entro il 1900 saranno circa 80.000 cavalli, e poco più tardi altri 100.000

calcolando per tutte le reti 50.000 cavalli. Per la navigazione, la Direzione della Statistica darebbe 707.000 cavalli per la potenzialità delle macchine della marina da guerra, e 304.000 per quella della marina mercantile, alla fine del 1898. Molto minore, evidentemente, soprattutto per la marina da guerra, sarà la forza effettivamente utilizzata.

cavalli di forza idraulica nuova messa a disposizione dell'industria nazionale⁹.

L'Italia non sarà più relegata quasi in coda delle altre nazioni nelle statistiche industriali. Che importa se non abbiamo carbone? Quando si porteranno, e di ciò vedremo che non v'ha dubbio, le nostre forze idrauliche a 150 o 200 chilometri nelle stesse condizioni nelle quali si portano ora a 50 o 60, non saremo noi in misura di combattere, sui mercati dell'interno e dell'estero, i nostri più formidabili concorrenti di un tempo? L'acqua non

9. I principali impianti di trasporto di forza eseguiti finora o in corso di esecuzione in Italia sono, in ordine cronologico: nel 1890, 1100 cavalli derivanti dal Gorzente a Isoverde (Genova) con corrente continua; nel 1891, il piccolo impianto di Intra, presso la Ditta Sutermeister, che fu il primo con corrente alternata a 5000 volt. Vennero quindi diversi trasporti di medie proporzioni, fatti a Schio, a Terni, a Brescia e a Bergamo; poi, in questi ultimi anni, gli impianti di Bussoleno con 1500 cavalli trasportati a 58 chilometri mediante corrente trifase a 11.500 volt; di Lanzo, con 3250 cavalli trasportati a 35 chilometri con corrente trifase a 12.500 volt; di Castellamonte, con 1500 cavalli a 12.500 volt, corrente trifase, distanza 45 chilometri; di Paderno con 13.000 cavalli trasportati con corrente trifase a 13.500 volt; ed altri impianti minori a Spoleto, Sondrio, Vigevano, ecc. Infine sta per entrare in funzione il trasporto di Vizzola sul Ticino, di 18.000 cavalli, con corrente trifase a 10.000 volt.

In corso di esecuzione o di studio si trovano, fra gli altri, gli impianti seguenti: Boffalora sul Ticino, 4000 cavalli; Alto Aniene, 15.000 cavalli, 55 chilometri da Roma; Morbegno, 7500 cavalli, e Imbersago, 4000 cavalli, ambedue sull'Adda, per la ferrovia Milano-Lecco-Colico-Sondrio-Chiavenna; Pont-S.-Martin, 4200 cavalli per Ivrea e valli biellesi; Settimo Vittone, 6500 cavalli per le valli biellesi; Narni, 2000 cavalli per la Società dei forni elettrici; derivazione del Brembo, 6000 cavalli a 15.000 volt; derivazioni dal Naviglio Grande (Ticino). 11.500 volt per la Società Mediterranea; Stura di Viù, 4000 cavalli, 15.000 volt; Cavenago d'Adda, 4500 cavalli, 11.000 volt; Cherasco, 2000 cavalli, 11.000 volt; Cenischia, 7000 cavalli; Ala Ceres, 4000 cavalli; oltre altri minori a Osimo, Bologna, Casale, Terni, Darfo, Val d'Intelvi, ecc. Di prossima esecuzione è, fra gli altri, l'impianto sul torrente Cellina, di cui si dirà più avanti; ed è, fra gli altri, allo stadio di studio il progetto di derivazioni diverse per un totale di 40 a 50 mila cavalli a servizio delle industrie della Liguria.

subisce crisi, e quando il consumo aumentato, le guerre, la scarsità crescente dei giacimenti migliori eleveranno, come già adesso è avvenuto, il costo del carbone, noi non ce ne preoccuperemo e troveremo tanto più facilmente da collocare i nostri prodotti; perchè le nostre cadute ci daranno a prezzo costante la forza, il calore, la luce, tutte le forme sotto le quali l'energia è sfruttata per i bisogni della vita. Così, senza farci illusioni, senza iattanza e senza lirismi, possiamo dire che il trasporto elettrico dell'energia prepara all'Italia un'era di prosperità e di primato industriale, e per esso forse anche un primato politico, del quale non potremmo neppure farci un'idea.

L'ardire, l'iniziativa, l'ingegno, non ci mancano, come ho cercato dimostrarvi in questo rapido quadro delle applicazioni elettrotecniche fatte in soli 17 anni, dal 1883 ad oggi. Ma ora dobbiamo domandarci: son queste applicazioni suscettibili di perfezionamento? È possibile di ottenere gli stessi effetti industriali con un minor consumo di energia? E l'energia stessa si può essa produrre e trasportare con una spesa minore?

Nella applicazione alla metallurgia e alla chimica, ciò che si utilizza il più delle volte è l'altissima temperatura che la corrente può dare quando attraversa sostanze resistenti al suo passaggio; qui l'energia elettrica si converte tutta in calore. A questo è dovuto l'effetto dei forni elettrici per l'estrazione dell'alluminio e del ferro o per la fabbricazione dei carburi. Poco risparmio di energia si può sperare in questi casi; ma non si può dire lo stesso dell'illuminazione elettrica, quando, come si è sempre fatto finora, si ottiene la luce per mezzo del calore, cioè portando un corpo all'incandescenza. Se l'incandescenza è debole, la più gran parte dell'energia si disperde nella radiazione calorifica oscura emessa dal corpo, che è incapace di eccitare la retina dell'occhio;

così avviene che un becco da gas ordinario sia assai meno economico di un becco Auer, e una lampadina elettrica a incandescenza meno di una lampada ad arco. L'economia adunque, cresce col grado di incandescenza, ma non si potrebbero spingere a incandescenza maggiore le lampadine attuali a filamento. Bisognerebbe trovare un materiale più refrattario del carbone. È ciò appunto che Auer, il fortunato inventore del becco da gas a reticella, e il fisico Nernst stanno ora tentando coll'impiego di filamenti di osmio, magnesio, zirconio e ossidi di torio, di erbio, di ittrio, i quali possono raggiungere temperature altissime senza fondere nè volatilizzarsi. L'invenzione non è ancora entrata nella pratica, ma il successo non è dubbio; e allora la lampadina a incandescenza, così necessaria per i piccoli ambienti, sarà altrettanto economica quanto la lampada ad arco¹⁰.

Ma questa stessa lampada ad arco non utilizza che 1/10 dell'energia spesa; gli altri 9/10 rappresentano calore inutilmente prodotto. L'ideale sarebbe di eliminare la radiazione calorifica oscura, e di non far emettere al corpo luminoso che radiazioni luminose. Gli organismi che rendono fosforescenti le onde del mare, le lucciole, i microbi che racchiusi in boccali offrono in

10. Il consumo di energia delle lampade ad arco è di 1 a 1,5 watt per candela, incluso l'effetto del globo e la resistenza annessa alla lampada. Per le lampade a incandescenza il consumo di energia varia fra 2,5 e 4,5, in media 3,5 watt per candela, ma cresce tanto più quanto più lungo è il tempo durante il quale la lampada ha funzionato. La tendenza è di spingere il consumo di energia notevolmente sotto i tre watt, col risultato, però, di aver lampadine di poca durata, che perdono il loro primitivo splendore dopo poche ore di accensione. La nuova lampada elettrica a incandescenza Auer è a filamento di osmio, metallo che si considera come il più infusibile; quella di Nernst ha il filamento di magnesio o zirconio o di ossidi di torio, erbio, ittrio. Esse consumano (esperimenti fatti dal professore Mengarini nella Scuola d'applicazione di Roma) circa un watt per candela, quindi sono altrettanto e più economiche della lampada ad arco.

questo momento all'Esposizione di Parigi lo spettacolo della luce vivente, utilizzano il 100 per 100, perchè danno una luce assolutamente fredda. Possiamo noi sperare di imitare la natura? È indubitabile che se noi potessimo disporre di correnti elettriche alternanti con sufficiente rapidità, noi produrremmo un raggio di luce; ma bisognerebbe per ciò che le alternazioni fossero in ragione di centinaia di bilioni al minuto secondo, mentre finora le più rapide alternazioni elettriche ottenute sono nei limiti delle centinaia di milioni¹¹. Il celebre Tesla ha ottenuto, è vero, correnti a rapidissima alternazione e se ne è servito per rischiarare interi ambienti colla luce eccitata nei gas rarefatti, ma questa è una luce pallida, impropria all'illuminazione; e l'idea sua di portare quelle correnti a grandissima altezza nell'atmosfera, dove l'aria fosse così rarefatta da produrre gli effetti dei tubi di Geissler e di Crookes, cosicchè dal cielo piovesse, a illuminar la terra, la luce di una tranquilla aurora boreale. Anche la scienza ha la sua poesia; anzi non v'ha idealista più grande di colui, che vive dei soli ideali dell'astrazione scientifica.

Rimane l'altro lato del quesito: è possibile di aver maggior economia nella produzione e nel trasporto dell'energia?

Non v'è nulla, sembra, da desiderare per l'economia della produzione, perchè gli apparecchi destinati a produrre e trasformare l'energia elettrica sono fra quelli che hanno il più elevato rendimento. Ma molto, invece, c'è da sperare per l'economia del trasporto. Sia che si tratti di energie debolissime, come quelle ri-

11. Le onde della radiazione luminosa fra gli estremi dello spettro hanno lunghezze variabili fra 43/100.000 e 75/100.000 di millimetro, corrispondenti a parecchie centinaia di bilioni di vibrazioni al minuto secondo. Le onde hertziane, utilizzate anche negli esperimenti di Tesla, corrisponderebbero a numeri di oscillazione che raggiungerebbero, per le onde più brevi, le migliaia di milioni, ma in generale stanno nel limite delle centinaia di milioni.

chieste per la trasmissione della parola scritta o parlata, o che si richiederanno, forse fra breve, per la trasmissione delle immagini e dei colori, sia che si tratti di migliaia di cavalli, la questione della spesa dei conduttori della corrente è sempre di primaria importanza. Si pensi ai costosi cavi dei telegrafi sottomarini, si pensi che la trasmissione da Paderno a Milano, per esempio, ha richiesto l'impiego di 335.000 chilogrammi di rame. Nei trasporti di forza propriamente detti, è evidente che la distanza utile è limitata dalla condizione, che la spesa dell'impianto consenta che il costo della forza riesca più basso, sul luogo di consumo, di quello dato dal vapore. Ora in Italia non si potrebbe dire che il problema della redenzione economica dal carbone inglese sarebbe completamente risolto, se non si arrivasse a trasmettere utilmente la forza idraulica a 150 o 200 chilometri, media distanza dalle vette montane ai centri di consumo. È ciò possibile?

Certo un gran cammino si è fatto, elevando la tensione adottata nella condotta. Più alta è la tensione, minore è il costo della linea. Quando si fece il trasporto Tivoli-Roma pareva un grande ardire adottare una tensione di 5000 volt; ora abbiamo il trasporto Paderno-Milano a 13.500 volt, senza che offra pericoli maggiori. Dal momento che poche centinaia di volt sono indubbiamente mortali, non cresce il pericolo adottando tensioni più alte. La popolazione si abitua a rispettare le linee e guardarsene, come si è abituata ai treni lanciati a 100 chilometri all'ora, alle tramvie elettriche nelle vie della città, agli automobili e a tante altre necessità della vita moderna. Ma il problema va guardato soprattutto da un altro aspetto. Le esperienze fatte da Scott nel Colorado nel 1898 mostrano che a 20.000 volt i fili cominciano a stridere e a diventar luminosi, con un disperdimento di energia,

che a 50 o 60 mila volt può diventare, specialmente nei climi umidi, molto superiore alle perdite attraverso gli isolatori¹².

Questi esperimenti, nondimeno, han dimostrato che, in condizioni favorevoli, una tensione di 50.000 volt è tutt'altro che impossibile. Così nel trasporto di Provo nell'Utah fu adottata la tensione di 40.000 volt, e fra S. Bernardino e Los Angeles in California si trasporta la forza a 130 chilometri con 33.000 volt. Il

12. Gli esperimenti vennero eseguiti nel 1898 sulla linea della Telluride Power Transmission Company (Colorado, U. S. America). A 20.000 volt, i fili cominciano a stridere e a diventar visibili nel buio; crescendo la tensione, vibrano e diventano più stridenti e luminosi. Contemporaneamente si verifica un disperdimento di energia fra i fili, il quale, per le più alte tensioni, supera di molto la perdita che ha luogo attraverso gli isolatori, e che si potrebbe paragonare a quella che avrebbe luogo in un tubo di conduttura d'acqua che fosse poroso. Questa perdita si mantiene in limiti moderati fino ad una certa tensione critica, al di là della quale cresce rapidamente, verificandosi qualche cosa di simile a quello che avviene quando l'aria o un altro gas trovansi soggetti a una tensione elettrostatica, la quale dà luogo a una scarica allorchè la tensione ha raggiunto un determinato limite. La perdita dipende quindi anche dallo stato di atmosfera, secondo che questa è secca o umida, netta o carica di pulviscoli; e perciò la tensione da adottare deve variare secondo il clima e la località. Gli esperimenti furono spinti sino alla tensione di 59.000 volt; e furono abbastanza rassicuranti da indurre la Telluride Company ad adottare tensioni sino a 40.000 volt. Secondo Scott, 50.000 volt sono ancora adottabili in climi e condizioni favorevoli. A simili tensioni sono molto importanti anche le considerazioni sull'attitudine dei generatori, dei trasformatori e degli isolatori a sopportarle. Quanto ai generatori, si è formata in generale la convinzione che convenga, sino ad un certo limite, adottare addirittura la produzione diretta di corrente ad alta tensione senza trasformazione. Sino ad ora si è toccata la tensione massima di 15.000 volt; gli alternatori di Paderno funzionano a una tensione vicina a questo limite, e furono anche spinti sino a 20.000 volt per alcuni minuti senz'altro fenomeno fuorchè l'apparizione di un certo grado di fosforescenza intorno ai fili, visibile nel buio; non è adunque improbabile che si possano adottare nella pratica delle dinamo a 20.000 ed anche a 25.000 volt. Ciò sarebbe già un grande vantaggio per i trasporti di forza con alte tensioni. Quanto ai trasformatori, agli isolatori ed anche ai quadri di distribuzione, non è qui il caso di parlarne; basterà dire che si tratta di

prof. Forbes, in una lettura fatta due anni or sono alla Royal Society pareva non mettere indubbio la possibilità di portare al Cairo la forza della prima cataratta del Nilo, ancora in concorrenza colla macchina a vapore, a 650 chilometri. Questi precedenti ci devono incoraggiare a ci assicurano che potremo fra poco battere il carbone inglese in qualunque posto colla forza delle nostre cascate. Già i nuovi trasporti si fanno a 15.000 cavalli dal torrente Cellina a Venezia, a 90 chilometri con 25.000 Volt¹³.

Ma questi risultati non devono distogliere la nostra attenzione dalle nuove vie che si stanno aprendo alla trasmissione dell'energia. Il lavoro intenso degli scienziati si rivolge ora ai fenomeni che avvengono nello spazio; le oscillazioni hertziane, i raggi catodici e di Röntgen preludiano a scoperte, la cui portata non si può ancora valutare. Correnti alternate, oscillazioni hertziane, radiazioni termiche e luminose non sono che formule diverse di uno stesso fenomeno. Le correnti a piccola frequenza di alternazioni si trasmettono coi fili; quelle a frequenza più rapida si trasmettono più facilmente nel dielettrico che nel conduttore; quelle a grandissima frequenza non si trasmetterebbero che nel solo dielettrico, e non si potrebbero guidare che con mezzi analoghi a quelli usati per dirigere il calore e la luce. Così è avvenuto che Marconi, sulla via tracciata da Hertz e valendosi dei sensibili apparecchi, alla cui invenzione i nostri fisici Righi e Calzecchi hanno contribuito¹⁴ è stato condotto alla telegrafia sen-

apparecchi, che richiedono disposizioni speciali, tanto più accurate quanto più è alta la tensione alla quale funzionano.

13. Si tratta di utilizzare due salti sul torrente Cellina, di 11.000 cavalli ciascuno. Per ora si utilizzerebbe il primo dei due, avendo per obbiettivi quasi esclusivi, Mestre, Venezia e Pordenone. La distanza da Venezia è di 90 chilometri e la trasmissione si farebbe con corrente trifase a 25.000 volt.

14. Marconi non ha fatto che applicare disposizioni note, tanto nella produzione delle oscillazioni, quanto nel modo di raccoglierle; ma ha avuto per

za fili. Un altro Italiano, Guarini, sembra che miri a estendere la distanza e a determinare la direzione della radiazione trasmessa. Si trasmettono, è vero, energie piccolissime, infinitesime, anzi, rispetto alle forze che l'industria richiede; ma si tratta pur sempre di vere e proprie trasmissioni di energia. Se la telegrafia con fili fu il primo esempio della trasmissione elettrica dell'energia come è fatta oggi, perchè la telegrafia senza fili non potrebbe essere il principio di una forma nuova e più perfetta di trasmissione? Sarebbe certamente poco avvisato colui, che argomentando solo dal presente pretendesse negare a priori la possibilità dell'avvenire.

Sire, Graziosa Regina,
Signore e Signori,

Permettetemi ora di tornare al punto d'onde sono partito. Le mie disadorne parole vi avranno dimostrato, spero, quanto stra-

il primo l'idea di valersene per superare distanze assai maggiori di quelle alle quali si erano dapprima limitate le esperienze sulle onde hertziane, e per di più ha scoperto l'influenza che i fili verticali, portati a grande altezza al di sopra dell'apparecchio generatore e del ricevitore hanno sulla distanza di trasmissione; particolare importantissimo che costituisce la principale caratteristica dell'invenzione. Così, da 15 chilometri che si raggiunsero attraverso il canale di Bristol nel 1897 si è arrivati nel 1899 a una distanza di 52 chilometri sulla Manica, poi a 100 colle esperienze Pasqualini alla Spezia, poi in Inghilterra ancora, dicesi, a 120 chilometri. L'illustre fisico Righi ha fornito notoriamente i migliori tipi di eccitatori, coi quali erano state anche rese più facili le esperienze sulle onde hertziane per mezzo di onde assai più brevi. Quanto al ricevitore, o tubo sensibile per raccogliere le onde trasmesse, pare che la prima idea appartenga al prof. Hughes il quale avrebbe trovato la proprietà delle polveri metalliche che formano la base di quell'apparecchio, ma non ne pubblicò nulla fino al 1899 (Fleming, *Centenary of electric current*); ma è anche certo che fu poi chiamato coherer, quando fu oggetto di ulteriori investigazioni da parte dei professori Branley e Lodge.

ordinari sieno stati i progressi compiuti in Italia nell'elettrotecnica in meno di vent'anni, e come vi abbiano contribuito, con una meravigliosa concordia di intenti, scienziati illustri e una numerosa schiera di modesti, ma valorosi applicatori del pensiero scientifico. Del loro lavoro si è giovata la patria, che ormai si avvia ad una rigenerazione economica quasi insperata.

L'avvenire è sicuro, poichè la natura che ha dato all'Inghilterra il carbone, ha dato a noi un'altra sorgente di energia altrettanto potente, ma inesauribile; e quanto al trarne profitto, non potrebbe certo mancare al suo genio ed alle sue tradizioni un paese, dove ebbe i natali Volta, il creatore dell'elettrotecnica moderna. E in quest'anno, che compie appunto il secolo da quello in cui Volta comunicava alla Società Reale di Londra la scoperta della pila, è grato il pensiero che i nostri Sovrani e tanta cittadinanza della capitale del regno abbiano onorato quest'adunanza, dove si dovevano rammentare i benefici che il genio di quel Grande preparava cent'anni or sono alla patria sua.

Trasporto dell'energia*

I.

Preliminari storici e tecnici

La storia dell'applicazione dell'elettricità al trasporto dell'energia data dal giorno in cui il prof. Pacinotti ebbe l'idea della macchina che fu oggetto di una sua comunicazione nel "Nuovo Cimento" del 1864: idea, che, riprodotta da Gramme nel 1869, fu l'origine del meraviglioso sviluppo dell'elettrotecnica moderna.

Quando fu fatta questa invenzione, il terreno era già preparato da lungo tempo per opera di scienziati eminenti che si occuparono di perfezionare la scoperta di Volta, e sopra tutti del fisico Faraday, al quale è dovuta la scoperta delle correnti indotte, da lui annunciata nel 1831. Il 17 ottobre di quell'anno egli provò ad inserire un magnete entro un cilindro formato da un filo di rame avvolto ad elica, e notò che nel filo si induceva una corrente elettrica al momento dell'entrata, e una corrente opposta, all'uscita. Questo esperimento primordiale, fondamento delle dinamo moderne, fu da lui descritto, insieme ad altri esperimenti della stessa natura, in una Memoria celebre (*Experimental Researches in Electricity*) che fu letta il 24 novembre successivo alla Royal Society e pubblicata nel gennaio dell'anno successivo¹.

* Da *Cinquanta anni di storia italiana*. Pubblicazione fatta sotto gli auspici del governo per cura della R. Accademia dei Lincei, U. Hoepli, Milano 1911, vol. I, pp. 1-45.

1. Fu a proposito di questo esperimento che si improvvisò la seguente strofa, la quale collega la scoperta di Faraday a quella di Volta: *Around the magnet Faraday / Was sure that Volta's lightnings play: / But how to draw them from the wire? / He took a lesson from the heart: / 'Tis when we meet, 'tis when we part, / Breaks forth the electric fire.*

Fu però molto più tardi che questo principio delle correnti indotte, così fecondo nel campo scientifico, trovò applicazione nel campo industriale. Così fu solo nel 1849 che il prof. Nollet di Bruxelles propose la costruzione di una macchina nella quale le correnti indotte in un rocchetto di filo da una forte calamita si mostrarono capaci di produrre effetti luminosi pari a quelli delle più potenti pile voltaiche; e non fu che dodici anni più tardi che la Compagnie de l'Alliance ne trasse partito per l'illuminazione dei fari coll'arco elettrico, già ottenuto da Davy nel 1813, con un arco di 150 a 200 elementi Bunsen; e molti altri fari consimili figurarono all'Esposizione di Parigi del 1867. Non ostante questi risultati, le calamite inducenti della macchina Nollet non avrebbero potuto prestarsi ad effetti maggiori di quelli raggiunti, a causa della impossibilità pratica di valersi di calamite abbastanza potenti. Ma si possono formare calamite indefinitamente potenti, avvolgendo intorno a nuclei di ferro numerose spire di filo di rame percorse da una corrente elettrica; si ha così un *elettro-magnete* la cui potenza è proporzionata a quella della corrente eccitante ed è quindi praticamente indefinita. Simili elettro-calamite sarebbero dunque capaci di indurre nel rocchetto di filo effetti di indefinita potenza. Un rocchetto, il così detto *indotto*, costituito da un filo di rame opportunamente avvolto attorno a un nucleo di ferro, può girare su un asse fra i poli di un'elettro-calamita, che è l'*induttore*, nel cui filo circola una corrente prodotta con una piccola *eccitatrice*, o una frazione di quella generata dalla macchina stessa. Mettendo in moto con una forza opportuna l'indotto (o facendo girare l'induttore attorno all'indotto, ciò che è lo stesso), si genera una corrente, che è raccolta ai morsetti di un *commutatore* e di là lanciata nella *linea* come *corrente continua*, i cui elementi, cioè quantità e tensione, variano secondo la forza applicata e le disposizioni della mac-

china. Tale è in sostanza la macchina dinamo-elettrica, o semplicemente la *dinamo* a corrente continua di Pacinotti, che Gramme riprodusse nel 1869, e che fu il punto di partenza di tutte le applicazioni fatte sino ad oggi nel campo elettrotecnico.

Spettò a Gramme di mostrare quali fossero queste applicazioni; e fu questo il suo merito e la ragione del suo diritto di dividere con Pacinotti gli onori dell'invenzione. Egli infatti comprese tutta la portata del trovato, e lo utilizzò immediatamente in tutte le industrie richiedenti l'impiego di correnti elettriche, per la medicina, le miniere, la galvano-plastica e l'illuminazione. L'applicazione all'illuminazione, non solo colla dinamo Gramme, ma con altre dinamo identiche nel principio, sebbene diverse nei particolari, rimase la più importante e fece rapidamente cammino, appunto per la possibilità di produrre correnti di qualunque *intensità* con qualunque *tensione*, permessa da questo nuovo generatore².

A quell'epoca non c'era ancora che l'arco voltaico, prodotto

2. Le unità per la misura delle grandezze elettromagnetiche adottate nel Congresso di Chicago del 1893 e confermato dappoi, sono diverse; ma qui gioverà rammentare soltanto le principali. Ciò che misura una *corrente* elettrica è la sua *intensità*, ed ha per unità l'*Ampère*, che è la corrente capace di precipitare 0,001118 grammi d'argento al secondo in una soluzione di nitrato d'argento. La *quantità*, poi, è la corrente che passa al secondo quando ha l'intensità di 1 Ampère. Un conduttore offre, al passaggio della corrente, una resistenza, la cui unità, detta *Ohm*, è la resistenza che offrirebbe al passaggio della corrente una colonna di mercurio a 0°, alta 1,063 m. e di 1 mm² di sezione. La *forza elettromotrice* (corrispondente a ciò che spesso si esprime anche con la parola *tensione*) ha per unità il *Volt*, cioè la forza elettromotrice che, agendo in un conduttore di 1 Ohm di resistenza, produce la corrente di 1 Ampère. La *potenza*, infine, di una corrente, si esprime in *Watt* (*w*), che è il lavoro corrispondente al passaggio di 1 Ampère al 1° in un filo che abbia la resistenza di 1 Ohm; ed è uguale a circa 0,06136 cavalli-vapore (HP); per cui 1 HP=735w = 7,35 hw (ettowatt) = 0,735 kw (chilowatt).

da Davy nel 1813 fra due bacchette di carbone accostate per la punta, che fosse capace di fornire luce per mezzo della corrente elettrica; quindi già nel 1876 Jablochhoff tentò, colla sua lampada a carboni paralleli, di risolvere il problema dell'illuminazione pubblica, riportando brillanti ma non duraturi successi durante l'esposizione di Parigi del 1878 e nella pubblica illuminazione a Parigi, a Londra e altrove; nel 1879 se ne erano già installate circa 1500. Ma il sistema non era pratico per se stesso; e d'altronde la lampada ad arco non si prestava, come non si presta neppure oggi, alla minuta suddivisione della luce richiesta dalla illuminazione pubblica e molto più ancora dalla privata. Bisognava trovare un altro sistema di illuminazione elettrica, e fu l'incandescenza: sistema introdotto per la prima volta da T. A. Edison, e che costituisce ancora per quest'ultimo il più gran titolo di gloria, malgrado le altre singolari invenzioni del suo genio straordinario.

L'idea di ottenere la luce portando all'incandescenza un corpo senza permettergli di consumarsi, era già stata messa avanti prima dell'invenzione di Edison, fra gli altri da Lediguine a Pietroburgo nel 1877; ma spetta a Edison l'onore di aver dato, nel 1878, la prima lampada a incandescenza pratica. Fu lui che additò il materiale più adatto e i processi delicatissimi per assicurare nelle lampade un vuoto estremo e ritardarne il più possibile l'estinzione. Così, circa 25 anni sono passati, durante i quali, non ostante la concorrenza di altre lampade analoghe, come la Swan, la lampada di Edison a filamento di bambù carbonizzato rimase senza concorrenti, sinchè, per l'iniziativa di Nernst dapprima, e poi per opera di altri inventori, venne a poco a poco sostituita dalle nuove lampade a filamento metallico, altrettanto durevoli, ma due o tre volte più economiche; il tantalio, l'osmio, lo zirconio, sono ora i materiali preferibilmente

adoperati, e costituiscono il mezzo di illuminazione più economico per l'uso privato. L'arco, aperto o racchiuso o metallizzato, è riservato all'illuminazione pubblica, all'aperto e pei grandi ambienti. È a queste brillanti applicazioni della corrente fornita dalle dinamo che dobbiamo lo straordinario progresso conseguito nell'illuminazione pubblica e privata; ma altri e ben più significanti progressi si stavano maturando nell'istesso periodo di tempo in cui si assicurava l'avvenire della luce elettrica.

È noto che un felice azzardo, che si verificò nei locali dell'Esposizione di Vienna del 1873, lo sbaglio di un meccanico, il quale, invece di collegare una dinamo a un circuito da attivare, l'unì ad un circuito in cui già circolava una corrente, rese manifesta la reversibilità della macchina, cioè la possibilità di mettere in moto una dinamo mediante una corrente collegata ai suoi poli: in una parola, la possibilità di trasmettere l'energia elettrica circolante in un filo a una dinamo, diventata un motore, o a un numero qualsiasi di motori consimili distribuiti lungo il circuito del filo. Da quel momento data la grande evoluzione industriale ed economica che caratterizza la fine del secolo decimonono: la soluzione del problema, tanto vanamente cercata da più di mezzo secolo, di trasmettere a grande distanza le forze naturali delle acque cadenti dalle loro sorgenti al mare. Dovunque queste forze si possono raccogliere e concentrare, il movimento dei motori idraulici che le utilizzano si trasmette alle dinamo generatrici, nelle quali l'energia dell'acqua cadente si converte in energia; e questa, lanciata nei fili, è distribuita a grandi distanze ai motori elettrici che l'utilizzano negli opifici industriali, o agli apparecchi che l'impiegano direttamente per i processi chimici, l'illuminazione e il riscaldamento.

Dimostrata la reversibilità della dinamo, H. Fontaine ne ten-

tò subito l'applicazione alla trasmissione dell'energia a distanza; ma chi dimostrò più evidentemente la portata della scoperta, fu Marcel Deprez, dal 1881 al 1884, coi suoi celebri esperimenti e soprattutto con quello tentato nel 1884, trasmettendo una forza di alcune decine di cavalli fra Creil e La Chapelle, alla distanza di 56 chilometri. Benchè sussidiato da potenti finanzieri, il tentativo non ebbe seguito, soprattutto per la difficoltà, che allora si era incontrata, di generare e isolare sulla dinamo una corrente continua ad alta tensione. Non ostante queste difficoltà, però, Thury di Ginevra potè più tardi, nel 1889, fare il grande impianto di trasmissione di Isoverde per la Società De Ferrari-Galliera di Genova, colla corrente continua; impianto, che venne, del resto, trasformato più tardi, come si vedrà più avanti³.

Gli ostacoli all'impiego di alte tensioni nelle dinamo e anche, ma meno gravi, nelle condutture aeree, dipendono dalla

3. Le difficoltà principali degli impianti a corrente continua dipendono dalla necessità di mettere in serie le dinamo per raggiungere le alte tensioni indispensabili per la economia delle condutture, ma difficilmente applicabili alle macchine. Il trasporto, in tal caso, si fa a intensità costante di corrente e tensione variabile secondo il consumo: ciò che importa un modo speciale di regolazione dell'impianto, meno pratico di quello degli impianti a corrente alternata. Nondimeno Thury fa ancora impianti di questo tipo, con tensioni altrettanto alte quanto quelle usate per le correnti alternate; così sono quattro anni che funziona l'impianto da lui fatto pel trasporto di 4300 kw da Moutier a Lione, a 180 km. di distanza, alla tensione di 57.600 volt, con due fili di 9 mm. di diametro; ed ora si tratta di ampliarlo, elevando la tensione sino a 100.000 volt, con due nuove stazioni messe in serie coll'esistente, trasportando 10.000 kw.

Per le suesposte difficoltà si preferisce l'impiego delle correnti alternate per i grandi trasporti; ma siccome i motori a corrente continua sono i migliori che si conoscano, così può convenire di adottare la corrente continua per la distribuzione, mantenendo la corrente alternata per il trasporto e poi convertendola in continua per distribuirli, in causa della semplicità del sistema e delle eccellenti qualità dei motori. Ciò si fa normalmente negli impianti americani, e si fa anche, benchè più di rado, in Europa, come fra noi a Milano e Torino.

tendenza ai disperdimenti e alle scariche di corrente, tanto più forte e pericolosa quanto più la tensione è elevata. Ora, l'energia trasmessa è proporzionale contemporaneamente alla quantità e alla tensione della corrente, cosicchè una determinata energia può esser trasmessa con grandi intensità di corrente e piccole tensioni, o viceversa; ma è chiaro, che quanto più alta la tensione e più piccola la quantità della corrente, tanto minore diventa la sezione necessaria dei conduttori destinati a portarla, o, per meglio dire, a guidarla. C'è adunque, dal punto di vista dell'economia del peso di rame richiesto per trasmettere la energia a una data distanza, un grandissimo interesse a trasmettere le correnti alla più alta tensione possibile. Ora alle difficoltà accennate delle alte tensioni, si è andato provvedendo sempre meglio con più accurati isolamenti dei fili, tanto sulle macchine, quanto sulle linee, con opportuni rivestimenti per le prime e con isolatori più perfezionati sulle seconde; quindi le tensioni ammissibili nelle macchine e nelle condutture sono andate continuamente aumentando, sempre, però, in misura notevolmente minore per le macchine, in causa della contiguità dei fili in cui circola la corrente, che non sulle condutture aeree. Data questa diversità di condizioni fra macchine e condutture, si comprende come il problema di trasmettere a distanza una data energia in condizioni economicamente convenienti appariva di difficile soluzione usando le correnti continue, non potendo elevare la tensione nelle dinamo a quel grado al quale, per l'economia nel costo del rame e quindi in quello dell'impianto, sarebbe giovato di elevarla nella conduttura; a meno di non metterle in serie, complicando impianto ed esercizio, come si è accennato nella nota precedente.

Tale era, dopo la fortunata scoperta dell'invertibilità della dinamo, lo stato della questione della trasmissione a distanza

dell'energia, quando una nuova scoperta diede il mezzo di risolvere il problema nel modo più completo, compatibilmente coi limiti sino ai quali è stato permesso finora di elevare la tensione nelle condutture aeree.

Già sino dal 1883 si era dimostrata la possibilità di trasmettere le correnti alternate, in luogo delle continue: correnti, cioè, alternativamente positive e negative, con periodo comunque variabile; e di queste correnti, prodotte con macchine dinamo-elettriche fondate sullo stesso principio di quelle per correnti continue, e chiamate più propriamente *alternatori*, si fece uso, in quel torno di tempo, per la trasmissione, come colle correnti continue. Si aprì in quello stesso tempo l'Esposizione di Torino del 1884; e in essa apparve una mirabile invenzione, affatto paragonabile, per importanza, all'invenzione stessa della dinamo: quella, cioè, dei *trasformatori* presentati dal francese Gaulard. Il principio di questi trasformatori è il seguente: se attorno a un circuito (detto primario) in cui circola una corrente alternata, si dispone un altro circuito di filo di diverso diametro (circuito secondario), in questo si indurrà una corrente alternata equivalente, i cui fattori, cioè quantità e tensione, diversificano da quelli della corrente induttrice, nel senso che la tensione è tanto più alta, e la quantità, per conseguenza, tanto minore, quanto più il filo secondario è sottile rispetto al primario; e viceversa. Il fenomeno è analogo a quello che si verifica nel vecchio rocchetto di Ruhmkorff; ma sino al 1884, a nessuno era venuto in mente di riprodurlo per lo scopo di trasmettere a distanza una corrente elettrica.

Immediatamente si comprese l'importanza dell'invenzione. Poichè per ridurre al minimo il costo delle condutture di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica, è necessario di adottare per queste linee le più alte tensioni ammissibili, e d'al-

tra parte queste altissime tensioni non è sempre possibile nè conveniente di raggiungerle nelle dinamo generatrici della corrente, nè, sopra tutto, nei così detti quadri di distribuzione, così il problema poteva venir risolto coi trasformatori Gaulard; generando, cioè, la corrente alle tensioni permesse o convenienti per le dinamo, poi trasformandola alla più alta tensione compatibile colla sicurezza e coll'economia, e lanciandola nella linea⁴. Tale è il sistema adottato nella generalità dei grandi impianti moderni per trasmettere a distanza l'energia elettrica: una stazione centrale generatrice con motori, idraulici o termici, e alternatori, con trasformatori, ove occorrono, dalla tensione delle macchine a quella della linea, e una linea ad alta tensione; salvo ritrasformare l'alta tensione della linea in una tensione più bassa per le linee di distribuzione nelle strade e nei fabbricati.

Quanto l'invenzione valesse, fu subito dimostrato durante la stessa Esposizione colla memorabile trasmissione fra Torino e Lanzo, fatta e controllata col concorso dei più celebri elettricisti del tempo. Una prima applicazione ne fu fatta da Gaulard stesso a Tivoli nell'anno successivo; ma il vero e grande svolgimento pratico del principio di Gaulard cominciò a manifestarsi dalla data dell'Esposizione di Buda-Pest del 1885, dove per opera della nota ditta Ganz fu fatta la prova dei nuovi trasformatori dovuti a Zipernosky, Dery e Blathy, che al sistema di trasformazione ideato da Gaulard diedero un tipo pratico e definitivo.

4. Ci sono impianti, nei quali non si trasforma la tensione, ma si adotta per la linea la stessa tensione alla quale la corrente è generata; in questo caso non si può oltrepassare un certo limite di tensione. Da noi, per esempio, ci sono impianti senza trasformazione, da 20.000 sino a 30.000 volt (a 30.000 volt funzionano dal 1906 gli alternatori trifasi dell'impianto di Subiaco della Società anglo-romana di Roma, cosicchè la corrente si trasmette con questa elevata tensione da Subiaco a Roma, senza trasformatori; eguale sistema fu seguito nell'impianto successivo di Arci del 1910).

Questi trasformatori servono, come si disse, solamente per le correnti alternate, tanto per elevare quanto per abbassare la tensione della corrente primaria in essi introdotta. La loro teoria fu svolta in un classico lavoro di Galileo Ferraris.

Ormai lo schema della trasmissione a distanza dell'energia elettrica trovavasi nettamente disegnato. I diversi particolari che si vennero mano mano svolgendo, non fecero che perfezionarlo ed estenderne la portata. Agli alternatori a corrente alternata semplice si sono sostituiti gli alternatori polifasi: vale a dire alternatori nei quali due o tre correnti alternate monofasi si sovrappongono a intervalli regolari in un medesimo periodo. Gli alternatori trifasi sono quelli generalmente usati oggi, e forniscono una corrente che viene portata a distanza e distribuita per mezzo di tre fili conduttori, trasformata, ove occorra, da bassa ad alta tensione, mediante trasformatori corrispondenti⁵. La prova definitiva di questo tipo di alternatori fu fatta nel celebre esperimento fra Lauffen e Francoforte del 1891, quando con tre fili di 4 mm. di diametro si trasmisero, fra le due stazioni, 300 cavalli di forza a 175 chilometri di distanza, con un rendimento di 72 a 75%. Fu in quella circostanza che si dimostrò la grande utilità pratica dei motori così detti asincroni (che ancora oggi costituiscono da noi la grande maggioranza dei motori in uso nei trasporti di forza), basati sul principio del campo magnetico rotante, detto campo Ferraris dal nome del nostro illustre scienziato che ne aveva trovato e dimostrato il principio qualche anno prima, nel 1885. È quindi dal 1891, si può dire, che data il tipo più generalmente adottato per la trasmissione elettrica dell'energia nei grandi impianti moderni.

5. Il sistema bifase fu provato da Ferraris nel 1886; quanto al sistema trifase, non si sa con certezza se fosse proposto prima da Dubrowolsky, come generalmente si ritiene, oppure dall'americano Tesla.

Esso possiede quasi tutti i requisiti che l'industria può richiedere; ma dove non soddisfa, si può sempre ricorrere all'eccellente motore a corrente continua. A tal uopo, basta trasformare la corrente alternata in corrente continua: ciò che si fa per mezzo di macchine convertitrici (convertitori) dell'una nell'altra corrente. Questo metodo è adottato in parecchi casi anche in Italia, e trova un largo impiego specialmente negli impianti americani⁶.

La regolazione delle reti di distribuzione di correnti alternate, si fa mantenendo costante la tensione della corrente distribuita e variando opportunamente l'intensità della medesima secondo il consumo. Dalla così detta Centrale, che è l'officina generatrice della corrente distribuita, si sorveglia tutto l'andamento della rete mediante i quadri, contenenti gli strumenti indicatori e gli organi di regolazione a seconda delle indicazioni che dai punti principali della rete vengono trasmesse alla Centrale. La rete stessa è in generale alimentata dalla Centrale per mezzo di conduttori o fili alimentatori che portano la corrente in punti opportunamente scelti della rete, sulle indicazioni dei quali è regolata la distribuzione. I sistemi di distribuzione e regolazione possono del resto modificarsi secondo i casi.

Siccome il così detto carico della rete varia ordinariamente più o meno secondo le ore della giornata, così, per utilizzare più che è possibile l'energia disponibile, la quale deve provvedere anche ai massimi carichi della giornata, talvolta molto superiori al carico medio, giova qualche volta introdurre nella rete una o più batterie di accumulatori. Questi, come è noto, constano di

6. Non ostante la generale diffusione del sistema trifase, esistono ancora impianti a corrente alternata semplice o monofase. I primi impianti di trasmissione in Italia furono fatti con correnti monofasi a Roma, a Milano, a Venezia, a Palermo e altrove; ma furono bentosto surrogati da impianti trifasi dappertutto, salvo in qualche caso speciale, come a Palermo per la Società sicula di Imprese elettriche.

pile secondarie a base di lastre di piombo, le quali sono veri serbatoi d'elettricità, immagazzinandola quando la fornitura di corrente è in eccesso sul consumo, e versandola nella rete quando il consumo diventa superiore alla quantità fornita dalla Centrale.

Infiniti piccoli perfezionamenti contribuirono a facilitare sempre più le applicazioni della trasmissione elettrica dell'energia; ma fu soprattutto l'elevazione progressiva della tensione sulle dinamo e sulle linee, quella che permise di trasmettere l'energia a distanze dapprima ritenute irraggiungibili, in condizioni economiche sempre migliori. Nei primi tempi di queste applicazioni, 3000 a 4000 volt sulle dinamo e 5000 a 6000 sulle linee sembravano i massimi limiti possibili.

L'installazione di Tivoli, aperta all'esercizio nel 1892, funzionava a 5000 volt; in quella di Paderno, del 1898, che fu la più grande installazione del tempo, la tensione sulle macchine e sulla linea veniva stabilita a 14.000 volt, e parve un grande ardimento; in California si tentarono dappoi le prime linee a tensioni maggiori, sino a 30 o 40 mila volt⁷, e si descrissero i fenomeni impressionanti (stridore, visibilità notturna dei fili nella linea di Telluride a 59 mila volt) che si manifestavano per le fughe di corrente dai fili aerei alla terra; oggi, grazie soprattutto al perfezionamento degli isolatori sostenenti i fili, si può andare normalmente a 65-75 mila volt (impianto dell'Adamello) e anche a 80.000 (nuovo impianto sul Pescara), e persino a 135.000 volt (Cook Falls, Michigan).

Corrispondentemente all'aumento del voltaggio, le distanze alle quali si può economicamente trasmettere l'energia elettrica sono andate aumentando, dai primi 35 o 40 chilometri che

7. Si assicura però che la tensione di 30.000 volt sia stata adottata per la prima volta in Italia sulla linea elettrica Cenisio-Torino nel 1902.

apparivano un ardimento all'epoca dell'impianto di Paderno, ai 150 chilometri dell'impianto comunale milanese, ai 160 chilometri di quello del Toce, ai 180 km. del trasporto di Brusio della Società lombarda, e alle 300 miglia della linea americana dell'Ontario, con tesate dapprima di 50 e 60 m., poi sino a 180 e 280 m. come da noi sulle linee dell'Adamello e del Brembo⁸. Ed è probabile che questi limiti saranno superati.

II.

Forze idrauliche italiane

L'Italia, circondata dalle Alpi e percorsa nella sua lunghezza dall'Appennino, è uno dei paesi più ricchi d'acqua e di alte cadute. La regione più ricca è la valle del Po, i cui confluenti provenienti dalle Alpi hanno una abbondanza d'acqua e una regolarità di regime assai maggiori di quelli provenienti dal-

8. Potrà riuscire interessante di conoscere i dati più importanti nel riguardo della distanza di trasmissione, degli alti voltaggi adottati e delle proporzioni delle dinamo usate nei più recenti impianti per trasporto di energia. La più alta tensione adottata sinora è quella del trasporto d'energia dalle Cook Falls (Michigan) a Battle Creek: si trasportano 9000 kw. alla tensione di 135.000 volt su una linea di 190 miglia (più di 300 km.) - A 110.000 volt funzionano le linee dell'Ontario River (30.000 kw. trasportati a 300 miglia), della Grand Rapids Muskegon Power Co. (10.000 kw. a 50 miglia), delle De Moines Rapids of Mississippi River a S.t Louis (75.000 kw. a 140 miglia) e dell'Ohio Brass Co. A 100.000 volt sono le linee della Southern Power Co. (65.000 kw.) e della Central Colorado Co. (10.000 kw. a 153 miglia). Tutte queste linee di altissima tensione sono fornite di potenti isolatori a sospensione, di nuovo modello, con alti pali e lunghe tesate da 160 sino a 370 m. Questi impianti trovansi nel Nord-America. La potenza delle così dette unità, ossia dei singoli alternatori colle rispettive turbine motrici, è anche andata sempre aumentando, sino a più di 10.000 e anche sino a 15.000 HP (Centrale di Rjukan, Svezia), con cadute che vanno fino a 500 m. e anche molto di più (impianto italiano dell'Adamello, 900 e 470 m.).

l'Appennino; ma non mancano d'importanza anche i corsi d'acqua che scendono dall'Appennino verso l'Adriatico da una parte e il Tirreno dall'altra: Il Reno, il Pescara, l'Ofanto, l'Arno, il Volturno. Meno importanti sono i corsi d'acqua delle isole, salvo quelli della regione Etna e pochi altri corsi minori.

L'ammontare totale della forza praticamente ricavabile da questi corsi d'acqua, è stato diversamente valutato.

Tenendo conto soltanto delle cadute effettivamente utilizzabili, l'autore di queste note lo ha calcolato e lo calcola tuttora nella misura approssimata di 3 milioni di cavalli; questa valutazione non si discosta molto da quelle ottenute con diversi criteri da altri. Infatti risulta dagli studi fatti da una Commissione nominata nel 1898 presso il Ministero delle Finanze, che la totale forza idraulica italiana si riteneva ammontasse a 2,642,000 cavalli, tenendo conto delle sole cadute montane; e che tenendo conto anche delle altre cadute possibili, si arriva ad oltre 5 milioni di cavalli. Alla cifra di 2,642,000 HP contribuirebbero il Piemonte e la Liguria per il 24%, il Lombardo-Veneto per circa il 15%, l'Italia centrale per il 25%. L'Italia meridionale e le isole per il resto; ma su questa ripartizione si possono fare delle riserve. Un'altra valutazione fu annunciata nel 1900 nella Esposizione finanziaria dal ministro del Tesoro, on. Rubini; essa dà un totale di 2,162,764 cavalli disponibili, tenendo conto dei salti che si possono utilizzare, mentre la forza effettivamente utilizzata fino a quell'anno ammonterebbe soltanto a 491,203 cavalli. Vi contribuirebbero, in cifre tonde, l'Italia settentrionale per il 37,1% della forza utilizzata e per il 38½% della forza utilizzabile, l'Italia centrale rispettivamente per il 42,3 e 22,5%, l'Italia meridionale per il 19,1 e 32,5%, le isole per il 1,5 e 6,5%. Cifre degne di osservazione sono pur quelle pubblicate dell'ing. Perdoni nel 1902, che son frutto di una diligente indagine. Esse si riferiscono solo all'Italia continentale,

e comprendono 744 corsi d'acqua colle loro portate in magra ordinaria e massima, e le loro cadute utilizzabili. L'elenco dà una portata complessiva di 3300 m³ al 1" in magra ordinaria, e 750 m³ in massima magra; e una forza complessiva disponibile, in cifre tonde, nel primo caso di 19,700,000 HP e di 4,650,000 HP nel secondo, ritenendo che le cadute utilizzabili, assegnate per cadaun corso d'acqua, sieno fra 200 e 900 m. Questa valutazione pècca probabilmente in eccesso, soprattutto nell'apprezzamento delle cadute disponibili, cosicchè essa può valere come un limite massimo, mentre gli apprezzamenti ufficiali del 1898 e del 1900 possono rappresentare un limite minimo. Chi scrive è quindi tanto più proclive a ritenere attendibile la cifra di 3 milioni di cavalli disponibili per tutto l'anno, determinata con criteri più ristretti di quelli adottati dall'ing. Perdoni quanto alle cadute disponibili. In questo apprezzamento concorda anche l'on. Nitti nel suo rimarchevole lavoro su *Le forze idrauliche dell'Italia*. Quanto ad altri apprezzamenti sommari, che farebbero salire la forza disponibile in Italia a 6 e persino a 10 milioni di cavalli, non pare di prenderli in considerazione, a meno che non includano anche le forze di problematica utilizzazione.

Se calcolazioni di questa natura sono incerte fra noi, non lo sono meno presso le nazioni vicine. Così in Francia, per esempio, che ha nella regione alpina grandi riserve di forza idraulica, regnano dispareri sull'apprezzamento delle forze disponibili; l'ing. René Tavernier le valuta a 5 milioni di cavalli per la regione alpina, e a 10 milioni per tutta la Francia; ma questa ultima cifra è stata contestata e ridotta a 6 milioni e anche meno. Nella Svizzera la forza disponibile fu valutata a circa 580.000 HP in acque medie e a circa 250.000 in magra, e non è improbabile che la valutazione sia piuttosto inferiore che superiore al vero.

Quando le magre minime hanno un periodo breve di durata

nell'anno, è evidente che converrà sempre contare sulle magre ordinarie ed anche su un regime superiore alla magra ordinaria, salvo supplire alle deficienze con un motore sussidiario termico, a vapore o ad essenza; e ciò tanto più in quanto in parecchi casi, come per esempio negli impianti di illuminazione pubblica, una Centrale è di regola provveduta di una o più macchine termiche di scorta. Il motore termico serve così da integratore della forza idraulica, specialmente quando il consumo di forza è molto variabile durante la giornata. Conviene figurarsi il diagramma del consumo, ed eliminare le punte, cioè i periodi di eccesso di consumo in confronto alla media normale, coll'introduzione della forza motrice sussidiaria termica e anche, se occorre, di batterie di accumulatori. Questa forza sussidiaria può quindi permettere di basarsi su un regime superiore a quello delle massime magre. Ma v'ha di più. Se le condizioni delle valli dove fluisce il corso d'acqua lo permettono, si possono utilizzare come serbatoj i laghi montani esistenti nella località della presa d'acqua, oppure sbarrare e convertire in serbatoio o lago artificiale un tratto della valle, per accumulare le acque eccedenti l'erogazione in tempi di morbida e di piena, e lasciarle effluire nei periodi di magra.

Così, secondo la capacità del serbatoio, il regime del fiume, e il regime della Centrale, può essere possibile di utilizzare un corso d'acqua con una portata costante, più o meno superiore alla minima. Di questi serbatoj gli impianti elettrici italiani hanno, come si vedrà in seguito, interessanti esempi. Naturalmente, la creazione di simili serbatoj non si fa, se non quando le ingenti spese che essa esige trovino un compenso adeguato nella maggior energia idraulica continua, della quale si può, grazie a loro, disporre. È certo dunque, che, tenendo conto delle suesposte circostanze, l'industria nazionale potrà trarre dai corsi

d'acqua un'energia notevolmente maggiore dei tre milioni di cavalli che probabilmente rappresentano la forza disponibile nel regime di magra.

Coll'abbondanza di forze idrauliche che il nostro paese possiede, è naturale che gli impianti di trasmissione d'energia mossi dal vapore, o in generale da motori termici, debbano formare minoranza; e infatti, mentre il primo impianto elettrico fatto in Italia nel 1882 a Milano fu a vapore, alla fine del 1898, sopra 2264 impianti, ce n'erano 1121 a vapore o a gas, e 1143 idraulici o misti, con 65.000 cavalli idraulici e 52.000 termici; e alla fine del 1908 si riteneva che sopra un totale di circa 760.000 cavalli, ce ne fossero 610.000 idraulici contro 150.000 termici⁹. Per quanto si dirà in seguito, questa proporzione dovrebbe essere alquanto modificata; ma in ogni modo, tenendo conto della circostanza che oggi i motori termici si usano nella maggior parte dei casi come riserva, o come complemento alla deficienza eventuale dell'acqua, si vede l'aumento continuo dell'utilizzazione delle forze idrauliche disponibili, in confronto all'impiego diretto dei motori termici¹⁰.

In queste circostanze, la migliore utilizzazione dell'acqua per animare i generatori elettrici doveva apparire, come apparve, una questione di primaria importanza. Ora, al principio di

9. Queste cifre della fine del 1908 sono state date dall'ing. Semenza in una rimarchevole lettura fatta al Congresso degli ingegneri e architetti italiani a Firenze nel 1899.

10. I motori termici applicati agli impianti elettrici, sono per ora, in maggioranza, motori a vapore: a cilindro sino ad alcuni anni fa, poi a turbina dopo il successo di questi nuovi motori, che si prestano mirabilmente all'applicazione alle macchine dinamo-elettriche; tanto che, dall'unione sullo stesso asse di una turbina a vapore e di un alternatore, è nato il turbo-alternatore, ormai esclusivamente adottato nei grandi impianti, costituendo un'unità che può raggiungere parecchie migliaia di cavalli. Per gli impianti minori si usano frequentemente i

questo fecondo periodo 1883-1909, erano in uso eccellenti motori idraulici che utilizzavano le moderate cadute, dalle quali bastava trarre partito, poiché, non essendoci mezzi pratici per portare e distribuire l'energia a distanza, ogni opificio doveva avere il proprio motore. Ma, risolto il problema di trasportare l'energia a considerevoli distanze, la questione tecnica cambiò radicalmente d'aspetto; non più singoli impianti disseminati lungo un corso d'acqua, cadauno utilizzando la massima forza disponibile dell'acqua lungo il suo corso o lungo la parte più importante del suo corso, e quindi con la più grande caduta possibile, per distribuirli su una intera regione.

Dell'antica ruota idraulica, il primo motore ad acqua conosciuto, cantato da Antiparo non si parla ormai più; e i motori più moderni, le turbine Fontaine e Jonval e le stesse turbine Girard, non essendo più adatti alle nuove condizioni del problema, sono pressochè caduti in disuso; e il loro posto è stato preso dalle turbine Francis e dalle ruote Pelton, atte a smaltire grandi volumi d'acqua, con cadute comunque elevate (sino a 900 m. nel primo salto dell'Adamello). La ditta Riva di Milano si è fatta una distinta specialità di questi nuovi motori¹¹. Così la meccanica idraulica ha seguito di pari passo il progresso dell'elettrotecnica. E anche la scienza delle costruzioni, messa a fronte dei nuovi problemi che esigono grandi sbarramenti, canali e condotti di

motori a combustione interna, tipo Langen-Wolf; ma ora, in seguito al successo dei motori Diesel, che, per il buon mercato degli idrocarburi impiegati, danno il cavallo a un prezzo molto ridotto, non è improbabile che questi motori trovino larga applicazione anche in impianti di assai maggiore potenza di quelli cui si applicavano i motori Langen-Wolf.

11. Questa ditta, già Riva e Monneret, ha costruito, sino ad oggi, circa 1700 motori, fra turbine e ruote Pelton, per una forza complessiva di 600 mila cavalli (con diversa potenza, sino ai 12.000 cavalli di cadauna delle ruote Pelton per la Centrale di Grossotto del municipio di Milano). Essa ha fornito due turbine di 3000 cavalli l'una, anche per un impianto sul Niagara.

dimensioni più che ordinarie¹², e disposizioni speciali per convogliare e regolare l'acqua motrice, ha sviluppato nuove e poderose risorse; fra queste bisogna annoverare l'impiego dei serbatoi naturali e artificiali, ai quali si è accennato poc'anzi, che ha avuto, in molti casi in cui era possibile, ingegnose applicazioni con risultati economici considerevoli¹³.

III.

Primi impianti italiani

Prima di conoscere lo stato attuale delle applicazioni elettriche in Italia, può apparire interessante di seguirne i primi passi in ordine storico.

Fu nel 1882 che Edison attivò la prima Centrale elettrica a New York nella Pearl Street, dopo una prima prova di Centrale installata provvisoriamente per breve tempo all'Holborn Viaduct di Londra. In quell'anno si era costituito a Milano un Comitato promotore, per incarico del quale, chi scrive, poté studiare sul luogo l'impianto di New York e riprodurlo poi in più larga scala a Milano nell'area dell'antico teatro di S. Radegonda. Quell'impianto, primo in Italia ed anche in Europa, non essendo stato quello dell'Holborn Viaduct che una piccola installazione d'esperimento, cominciò a funzionare nel 1883 e inaugurò la sua attività coll'illuminazione elettrica del centro della città e, subito dopo, coll'illuminazione del teatro Manzoni, e più tardi con

12. Il nuovo impianto sul Pescara ha tubi di 2100 e 2300 mm. di diametro; quello già Crespi, a Verona, tubi di 2400 e di 2500 quello della Società bergamasca.

13. Vedansi più avanti, a questo proposito, i serbatoi degli impianti dell'Acquedotto De Ferrari-Galliera, dell'Adamello, di Brusio, dell'Idro-elettrica ligure e di altri. Quello dell'Idro-elettrica ligure si distingue dagli altri, se non per le proporzioni, per l'ingegnosità delle sue disposizioni.

quella del teatro della Scala. Esso aveva nove dinamo Edison a corrente continua, dello stesso tipo *Jumbo* che contemporaneamente funzionava a New York, e restò in attività per alcuni anni con caldaie americane Babcock-Wilcox e motrici a vapore Armington-Sims e Porter-Allen, direttamente accoppiate alle dinamo.

Il Comitato promotore milanese si trasformò più tardi nell'attuale Società Edison, ma di quel primitivo impianto non c'è ora traccia; il nuovo impianto fu fatto a Porta Volta, e S. Radegonda non accoglie più che i convertitori e le batterie di accumulatori. Prima ancora della costruzione della Centrale di S. Radegonda colle macchine *Jumbo*, un minuscolo servizio d'illuminazione era stato fatto nel vecchio locale del teatro con una piccola dinamo Edison, che la Società tuttora conserva come ricordo storico¹⁴.

Dopo questa prima applicazione in Italia della trasmissione di energia a scopo d'illuminazione col mezzo di una corrente continua, e in seguito all'Esposizione di Torino del 1884, come fu detto avanti, comparvero i primi trasformatori Gaulard. Una prima applicazione di questi fu fatta in un piccolo impianto d'illuminazione elettrica a Tivoli nel 1885. Un anno più tardi, nel 1886, fu inaugurata a Roma l'illuminazione elettrica con corrente alternata e trasformatori Ganz all'officina dei Cerchi della Società anglo-romana d'illuminazione. Nel 1887 un simile impianto fu fatto a Palermo, a Treviso e a Terni; nel 1888 e nel 1889 a Livorno, Torino ed altre città minori, e si cominciò anche a trasformare in parte l'antica Centrale Edison di Milano con la corrente alternata e coi trasformatori. Nel 1890, per iniziativa di

14. Fu in quel tóno di tempo che la Società Edison fece le prime applicazioni della luce elettrica a bordo di tre grandi piroscafi della Società Raggio: il Sirio, l'Orione e il Perseo.

una Società locale, fu attivata la Centrale a corrente alternata per l'illuminazione elettrica del centro di Venezia, che riuscì a meraviglia anche dal punto di vista finanziario e durò sino a che fu assorbita dalla Società del Cellina nel 1905. In quel tóno di tempo, anche Napoli ebbe un impianto d'illuminazione elettrica. Tutti questi impianti, fatti dopo il 1885, furono a corrente alternata, e quindi fu e rimase un'eccezione la rimarchevolissima installazione fatta a Isoverde presso Genova, nel 1889, dal ginevrino Thury, con corrente continua, della quale già fu tenuta parola, per la Società De Ferrari-Galliera.

Fino al 1891 le applicazioni dell'elettricità si erano limitate alla pubblica e privata illuminazione; quanto al trasporto di energia con corrente alternata, questo non fu inaugurato in Italia che nel 1892, nel quale anno cominciò a funzionare il trasporto da Tivoli a Roma, a 25 chilometri di distanza, di 2000 cavalli derivati da quelle celebri cascate, coll'impiego della corrente alternata semplice, sistema Ganz, per opera della Società anglo-romana per l'illuminazione di Roma. Fu il primo trasporto di energia a notevole distanza fatto colla corrente alternata; cosicchè quest'impianto e quello a corrente continua di Isoverde, del 1889, furono le prime grandi manifestazioni nel mondo, dopo gli esperimenti più scientifici che pratici di Creil e di Lauffen, del nuovo progresso, che doveva cambiare radicalmente indirizzo all'industria moderna. Non è un piccolo merito dello spirito d'intrapresa dell'industria italiana.

Dopo questi impianti, un altro venne a completare la serie dei progressi compiuti in Italia nel trasporto dell'energia: e fu quello di Paderno, aperto all'esercizio dalla Società Edison di Milano nel 1898, con corrente trifase alla tensione di 14.000 volt, trasportando a Milano, a 35 chilometri di distanza, 13.000 cavalli di forza idraulica attinti alle rapide dell'Adda in quella località.

Fu e rimase per qualche tempo il più importante trasporto di energia in Italia e fuori. Così, con questo e coi due trasporti di Isoverde e di Tivoli, si compì in Italia il ciclo delle applicazioni delle meravigliose scoperte fatte in questo campo da Pacinotti, da Ferraris e da tanti altri illustri inventori stranieri.

Dopo l'applicazione di Paderno, la corrente trifase dominò esclusivamente negli impianti che successivamente si fecero in Italia; anzi, gli stessi impianti di Isoverde e di Tivoli, furono, pochi anni dopo la loro attuazione, interamente trasformati a corrente trifase.

È venuto quindi il momento di esporre coi necessari particolari le principali installazioni elettriche italiane. Esse consistono, per la maggior parte, in trasporti di energia per distribuzione di forza agli stabilimenti industriali e per servizi cittadini di illuminazione a tramvie; per una parte minore, ma pur notevole, per la locomozione sulle ferrovie e sulle linee tramviarie e suburbane; e infine, per una parte molto più ristretta, alle industrie chimiche e metallurgiche che l'utilizzano direttamente senza intermediari di motori. È di queste diverse categorie di applicazioni che tratteranno i seguenti capitoli, nei quali, piuttosto che seguire l'ordine d'importanza dei relativi impianti, si è creduto più opportuno seguire l'ordine per regioni: ciò che corrisponde anche a un concetto geografico in quanto riguarda la ripartizione naturale delle forze idrauliche utilizzate dalla maggior parte degli impianti italiani¹⁵.

15. Nella seguente rassegna degli impianti elettrici italiani, furono consultati con frutto: innanzi tutto, la prima *Statistica degli impianti elettrici in Italia alla fine del 1898*, pubblicata dal Ministero di agricoltura industria e commercio; poi le *Notizie sugli impianti elettrici autorizzati nel 1906, 1907, 1908, 1909*, pubblicate dallo stesso Ministero per cura dell'Ispettorato generale dell'industria e del commercio; e infine numerose pubblicazioni private, e, prima fra tutte, le quasi complete e interessantissime *Notizie sui principali impianti*

IV.

Principali impianti attuali

Gli impianti elettrici attuali si dividono in diverse categorie. I più grandi sono quelli che hanno per scopo la distribuzione dell'energia nelle città principali e in regioni più o meno estese; essi rappresentano probabilmente i quattro quinti circa della totalità dell'energia elettrica prodotta in Italia. Poi vengono, in ordine di importanza, le installazioni elettriche annesse agli opifici industriali, i quali hanno per iscopo principale il servizio degli opifici stessi, e, in via di eccezione, quelle della distribuzione nelle località immediatamente contigue; e infine le installazioni municipali, fatte per servire alla distribuzione dell'energia per l'illuminazione in servizio dell'industria nei centri minori, per opera dei Comuni o di privati intraprenditori.

Dei primi non è difficile di fare una statistica approssimata; degli altri non è possibile, essendovi una lacuna di sette anni, nelle statistiche ufficiali, sopra un periodo di 28 anni. Perciò nelle note che seguono si terrà conto soltanto della prima categoria, limitandoci a pochi cenni sulle altre due, salvo valutarne l'importanza complessiva nel riassunto del Capo VIII.

1. Alta Italia

Il più importante gruppo degli impianti idro-elettrici italiani appartiene naturalmente alla valle del Po. A questa regione conviene anettere anche la Liguria, benchè idrograficamente non abbia rapporti con essa; perchè non solo le Alpi liguri lungo la Riviera di Ponente si connettono al sistema alpino d'onde la

elettrici d'Italia, pubblicate nel 1910 dall'Associazione fra esercenti imprese elettriche in Italia, e le recenti monografie della Direzione generale delle Ferrovie dello Stato sulla *Trazione elettrica* sopra le ferrovie italiane.

valle del Po trae le sue principali risorse, ma alcuni dei principali impianti liguri utilizzano le acque appartenenti al versante settentrionale dell'Appennino e quindi tributarie del Po. Per ragioni d'indole diversa dalle ragioni idrografiche, la valle del Po e la Liguria sono anche le regioni italiane dove l'industria è più attiva; per cui esse rappresentano pure in Italia la parte più importante anche negli impianti termoelettrici.

Il Piemonte, circondato come è dalle più elevate cime delle Alpi, è evidentemente una delle regioni italiane più ricche d'acqua; e difatti dalle Alpi Graie, Cozie e Pennine trae le forze motrici dei suoi principali impianti, utilizzando le acque del Po, della Dora, della Stura, del Tanaro e di altri corsi minori.

La *Società anonima Elettricità Alta Italia*, fondata nel 1896, ha attualmente sei Centrali idro-elettriche: una sul torrente Chiusella (Ivrea), una sulla Dora Riparia a Bussoleno, due a Pian Funghera in Valle di Lanzo e tre a Ceres sulla Stura. In totale, l'energia prodotta da queste Centrali ammonta a circa 15,000 HP (11,000 kw). Ha due impianti termoelettrici a Torino, per circa 10,000 HP, con batterie di accumulatori; e un altro piccolo impianto termoelettrico a Biella. La Società prende anche 4800 HP dalla *Società per le forze idrauliche del Moncenisio*, della quale si dirà in appresso. Tutta questa energia è distribuita nel Biellese, nel Canavese e a Torino, dove una parte della corrente trifase fornita dalle Centrali è convertita in corrente continua per l'illuminazione e per le tramvie municipali e delle Società belga e torinese. L'*Azienda Elettrica municipale della città di Torino* ha iniziato in Italia la municipalizzazione del servizio elettrico nelle grandi città: impresa che fu vivamente dibattuta, ma che, in omaggio alle tendenze municipalizzatrici moderne e non ostante la poco felice esperienza fatta in altri paesi pur meglio adatti del

nostro a simili esperienze, come gli Stati Uniti e l'Inghilterra, fu accolta dalla maggioranza e diede la spinta a simili iniziative in altri grandi Comuni. La Centrale dell'impianto è a Chiomonte sulla strada del Cenisio, e utilizzerà per circa 14,000 HP l'acqua della Doria Riparia. La corrente sarà prodotta a 8000 volt ed elevata a 50,000 per mandarla a Torino a 55 km. di distanza; a Torino sarà ritrasformata a 6600 volt. Nella Centrale di Torino è installato un impianto a vapore di circa 10,000 HP con turbo-alternatori; è questo l'impianto ora in esercizio, mentre quello idraulico è ancora in costruzione¹⁶. Da questa Centrale partono due condutture, una per la forza ed una per la luce con una rete di 160 km., dalla quale la corrente è attinta dai consumatori con linee aeree dopo ritrasformazione da 6600 volt a tensioni più basse.

Un importante impianto è quello della *Società delle forze idrauliche del Moncenisio*, che ha due Centrali idro-elettriche, a Saluraglio (messa in opera nel 1906) e a Novalesa (1902) nella valle della Cenischia, raccogliendo l'acqua del bacino del Moncenisio, con una forza di circa 9000 HP alle turbine, pari a 7300 utilizzati. La caratteristica di questo impianto è l'utilizzazione dei due laghi del Moncenisio, riuniti in un solo serbatoio di 6 milioni di m³, alla quota media di 1910 m. La corrente è trasformata da 3000 a 30,000 volt, e portata, con una linea di 60 km., a Torino, dove è ritrasformata a 3200 volt per la distribuzione. L'energia di questo impianto è distribuita in piccola parte a Susa, e nel resto a Torino.

La *Società per le forze motrici dell'Anza* ha una Centrale idro-elettrica a Piedimulera in Valle Anzasca, messa in esercizio nel

16. È bene tener presente che i dati statistici riportati nei Capi IV, V e VI, si riferiscono alla data alla quale furono scritte queste note, cioè alla fine del 1910.

1907, con circa 11,000 HP attinti dall'Anza, e una Centrale termica a Novara per integrare le magre dell'impianto idraulico. La Società distribuisce, oltre alle sue, altre forze prese da altre Società. La linea principale misura 81 km., è a 45,000 volt e porta la più gran parte della corrente a Novara, dove è distribuita dalla società Conti; il resto è distribuito sul lago Maggiore.

La *Società per le forze idrauliche dell'Alto Po* (1903) trae l'acqua motrice dal Po con due Centrali in provincia di Cuneo e di Saluzzo, rinforzate da due Centrali termiche a Pinerolo e Carignano. Dispone, in tutto, di circa 4000 HP idraulici e 2000 termici, distribuiti nei territori di Saluzzo e Pinerolo.

Notevoli sono pure le due installazioni sul torrente Avesa in Val d'Ossola, e sul Tanaro a Cherasco. La prima appartiene alla *Società Ossolana*, e distribuisce fra Domodossola, a Pallanza ed a Intra da una parte, e Gravellona, Borgomanero e Arona dall'altra, una forza di 3300 HP. La seconda appartiene alla *Società per lo sviluppo delle imprese elettriche in Italia*, la quale ha la Centrale a Cherasco, in parte idro-elettrica e in parte a vapore per 8000 HP circa, che distribuisce nella regione fra Cherasco, Fossano, Saluzzo ed Asti.

Altre imprese di minori proporzioni sono sparse in Piemonte, come quelle della *Società Casalese*, della *Dora*, che ha un impianto sulla Dora Riparia, della *Società elettrica del Pellino*, che utilizza l'acqua del torrente Pellino con due Centrali; e altre che si limitano a prender la corrente da altre Società, come la *Società delle Imprese elettriche del Piemonte orientale* e l'*Anonima di elettricità del Ticino*, che prendono energia dalla rete della società Conti, della quale si dirà fra breve, e la distribuzione nelle rispettive regioni.

Tutti i summenzionati impianti sono di vera e propria distribuzione di energia in regioni più o meno estese e nelle città

più importanti. Ma bisogna ricordare, senza la possibilità di entrare in maggiori particolari, le numerose installazioni municipali, prima fra le quali, in ordine di data, quella di Cuneo, fatta e gestita sino a questi ultimi anni dalla società Edison, e moltissimi impianti per uso esclusivo di opifici, specialmente di quelli destinati alle industrie del cotone e della lana, così largamente coltivata in Piemonte.

La Lombardia è, di tutte le regioni italiane, la più ricca di impianti idro-elettrici; e ciò si comprende facilmente, dato il numero e la portata ragguardevole dei corsi d'acqua che la limitano e la percorrono da nord a sud: il Ticino, l'Adda, il Brembo, l'Oglio. Non solo furono utilizzate le acque scorrenti sul territorio, ma se ne importarono anche da territori limitrofi, come avvenne per le derivazioni alla destra del Ticino, e perfino dall'estero, come si è fatto colla presa in territorio svizzero dell'acqua motrice dell'impianto detto di Brusio. Il primo grande impianto di Paderno del 1898 fu quello che promosse l'iniziativa di altre imprese; queste imprese stesse dettero luogo ad altre imprese secondarie, che si incaricano di prendere e distribuire in determinate regioni o zone l'energia prodotta dalle società maggiori, con una specie di suddivisione di lavoro grandemente favorevole alla più rapida estensione delle reti elettriche; cosicchè oggi la pianura lombarda è attraversata da numerose linee che si incrociano in tutti i sensi, dando al monotono paesaggio un insolito movimento e un carattere industriale singolarmente suggestivo.

La *Società Edison*, che inaugurò nel 1898 la trasmissione con correnti trifasi fra Paderno e Milano, ha allargato con nuovi impianti proprii e con opportuni accordi con altre Società la propria attività, cosicchè è oggi una delle più grandi aziende

elettriche italiane, mentre fu la prima, che coll'impianto di Milano del 1882-83 iniziò l'era delle applicazioni elettriche in Italia. Il primitivo impianto di illuminazione elettrica di Milano si è esteso dalle 700 lampade che alimentava la sua prima installazione del 1882, alle 460,000 lampade di oggi. Venendo subito dopo il primo tentativo di trazione elettrica di Firenze, la Edison iniziò nel novembre 1893 il servizio tramviario elettrico, poi esteso anche a tre linee esterne, che oggi (nel 1910) conta 185 chilometri di binario in esercizio, con 551 vetture motrici e 298 rimorciate. Infine, coll'impianto di Paderno, ampliato ora con quello superiore di Robbiate sull'Adda, e colle installazioni sussidiarie termo-elettriche in Milano, dispone di più di 55,000 HP propri e di 13,500 HP provenienti da altri impianti (Adamello e Conti) per il servizio delle tramvie e la distribuzione di energia alle industrie della città e della zona suburbana per mezzo di 500 chilometri di cavi sotterranei e 790 di fili aerei. La Centrale di Paderno sull'Adda ha la potenza di 14,000 HP; ma ora, col nuovo impianto di Robbiate più a monte di Paderno, si ottengono altri 24,000 HP, che si aggiungeranno in parallelo ai 14,000 di Paderno, in modo da utilizzare per la maggior parte dell'anno una portata media del fiume più che doppia di quella utilizzata da Paderno. Tutta questa forza idraulica è integrata da una forza termica di 21,000 HP per mezzo di turbo-alternatori alla Centrale di Porta Volta in Milano. Delle sottostazioni in diversi punti, dentro e fuori Milano, ricevono l'energia presa dalla Società dell'Adamello e dalla Società Conti, trasformano una parte della corrente trifase in corrente continua pel servizio tramviario e per l'illuminazione di parte del centro di Milano, che ancora si fa colle primitive condutture Edison, e contengono batterie di accumulatori per assicurare la continuità del servizio d'illuminazione e tramviario. L'energia è distribuita in Milano con due reti,

una a corrente continua e l'altra a corrente trifase, e fuori Milano con una rete trifase suburbana che alimenta i quartieri industriali al nord della città e fornisce la corrente a tre società le quali la distribuiscono per loro conto, con reti proprie, da Sesto S. Giovanni e da Paderno nelle zone circostanti.

La *Società lombarda per distribuzione di energia elettrica*, la cui iniziativa è dovuta alla Società italiana di condutture d'acqua, ha attuato un concetto enunciato nel 1886, prima ancora che si avesse un'idea concreta dell'applicazione dell'elettricità al trasporto d'energia, dal compianto ingegnere Cipolletti. Nel 1886 l'Istituto lombardo di scienze lettere ed arti di Milano aveva proposto come tema, pel concorso Kramer, un progetto per fornire Milano di una forza motrice proporzionale al suo sviluppo industriale. L'ing. Cipolletti, nella Memoria che presentò e che fu premiata, studiò le derivazioni possibili ed ebbe la visione completa del profitto che poteva trarsi dal Ticino e dall'Adda in quelle località appunto, nelle quali furono fatti i grandi impianti di Vizzola e di Paderno¹⁷. Lo studio dell'impianto di Paderno fu ripreso, per la parte idraulica, dall'ing. Carli, che sventuratamente non poté vedere il compimento dell'opera, e fu attuato dalla Società Edison; quello sul Ticino fu studiato dall'ing. Cipolletti per la Società delle condutture e fu attuato dalla Società lombarda nel 1900. Questo della Società lombarda è un impianto

17. Nella sua Memoria: *Sulle forze idrauliche che possono crearsi nell'alto Milanese e condursi a Milano*, l'ing. Cipolletti calcolava disponibili 5000 cavalli a Paderno sull'Adda e 24,000 a Nosate presso il Ticino. Chi scrive, propose il tema e fu relatore della Commissione, la quale concludeva col voto che il Comune di Milano prendesse in considerazione lo studio Cipolletti nell'interesse delle industrie cittadine. Questo prova la gran fede che il premiato e la Commissione giudicatrice avevano nel successo del trasporto dell'energia a distanza, malgrado che nel 1886 non fosse ancora provata in modo assoluto la possibilità di ottenerlo per mezzo dell'elettricità.

grandioso, il quale deriva da 55 a 75 m³ d'acqua del Ticino presso la presa del Canale Villoresi, e ne trae una forza di 20,000 HP nella Centrale di Vizzola. Un'altra Centrale utilizza a Turbigio la forza disponibile di altri 8500 HP sulla prima tratta del Naviglio grande. Una Centrale termica di circa 25,000 HP, a Castellanza, serve di scorta.

La stessa Società lombarda ha fatto anche nel 1905 l'impianto di Brusio nel Cantone svizzero dei Grigioni. Questo impianto utilizza l'acqua del torrente Poschiavino, emissario del lago di Poschiavo, il quale funziona da serbatoio con una capacità di 20 milioni di metri cubi; e insieme con altri due impianti in corso di esecuzione, utilizzanti i due laghi engadinesi Bianco e Nero come serbatoj, avrà una potenzialità complessiva di più di 40,000 HP. In previsione di un maggior sviluppo della propria azienda, la Società ha anche acquistato altri 16,000 HP dalla *Società idro-elettrica italiana*, della quale si dirà qui appresso.

Tutta questa energia idraulica e a vapore, posseduta o acquistata dalla Società lombarda e ammontante a 77.000 kw, pari a circa 100.000 HP, viene distribuita in tutta la regione intensamente industriale, compresa fra Gallarate, Varese, Busto Arsizio, Legnano, Saronno e Como, dell'estensione di 1500 km², dando l'energia a circa 600 opifici industriali, con una rete di 600 km. La Società distribuisce l'energia anche a molte Società rivenditrici nei diversi centri di distribuzione.

La *Società idro-elettrica italiana*, alla quale si è accennato testè, ha per scopo di utilizzare le acque provenienti dal gruppo alpino del monte Disgrazia in Valtellina, con quattro impianti sui torrenti Masino e Mallerio. Questi impianti, che darebbero insieme 40,000 HP, non sono ancora completi e si ritiene lo saranno fra qualche anno. Una notevole parte di questa energia è impegnata, come si è visto, colla Società lombarda; l'altra è

destinata alla regione industriale bergamasca. In Valtellina, e precisamente a Morbegno, trovasi anche la Centrale idroelettrica dello Stato per la trazione sulle linee valtelinesi; ma di questa si parlerà nel Capo V.

Fra tutte le imprese elettriche italiane, una delle più notevoli per numero d'impianti e altresì per l'ammirabile organizzazione dell'azienda tecnica e amministrativa, è la *Società per le imprese elettriche Conti*. È una società che lavora parallelamente e d'accordo con la Società Edison, con mutui allacciamenti di impianti, in guisa che ambedue servono quasi interamente tutta la regione compresa fra la riva destra del Ticino sino a Novara, Asti e Vercelli, e la riva destra dell'Adda, scendendo da Paderno sino a Pavia e all'Oltrepò, con Voghera e Novi. La Società Conti ha eretto fra il 1900 e il 1910 sei impianti idro-elettrici, cinque dei quali sulla destra del Ticino, a Cerano e a Trecate colle acque del Naviglio sforzesco, a Vigevano con una derivazione dal Ticino presso Boffalora, a Foppiano con una derivazione dal fiume Toce in Val Formazza, a Goglio nel Novarese con acqua del torrente Devero; tutti questi impianti sono in territorio piemontese, ma fanno parte di una rete che comprende le due rive del Ticino, e specialmente la sinistra. Essi hanno la potenzialità complessiva di circa 37,000 HP. Il sesto impianto è a Zegno sul fiume Brembo con 7700 HP. Un altro impianto idro-elettrico per 20,000 HP è in costruzione a Verampio sul Devero, sotto la presa di quello di Goglio; esso si varrà del lago di Codello come serbatoio, capace di 10 milioni di mc., alla quota di 1850 m., il quale servirà a compensare le deficienze delle magre del fiume per ambedue le Centrali sovrapposte di Goglio e di Verampio. Finalmente, a Magenta, a Novara e a Monza trovansi tre Centrali termoelettriche con circa 12,000 HP di potenza, a sussidio degli impianti idroelettrici.

Colla corrente delle Centrali situate alla destra del Ticino, opportunamente trasformata a Novara per quella proveniente dal Toce, e coll'energia presa, come già si è detto, dalla Società piemontese dell'Anza, la Società Conti alimenta di forza motrice una vasta regione sulla riva destra del Ticino fra Novara, Mortara, Vigevano, Vercelli, Casale, Valenza, Alessandria, e sulla riva sinistra fra Pavia e Magenta; con la stazione di trasformazione al Molinetto presso Monza e colle Centrali del Brembo e di Monza, distribuisce con una rete di circa 400 km., in una vasta zona attorno a Monza, non solo l'energia di queste Centrali, ma anche quella acquistata dalla Società di Trezzo e dell'Adamello.

Tutta questa energia, ad eccezione di quella di Boffalora, integralmente ceduta alla Edison, è distribuita ai consumatori coll'intermediario di numerose Società di distribuzione, ciascuna delle quali ha un proprio circondario speciale da servire. Questo è il sistema adottato da simili grandi aziende, come già si vede per la Edison e per la Lombarda, ed è mirabilmente adatto a diffondere l'impiego dell'energia, senza caricare di soverchi dettagli l'amministrazione delle società madri e interessando nel medesimo tempo le iniziative e le energie locali.

Benchè non sia ancora in regolare esercizio all'epoca della compilazione di queste note (fine 1910), è qui il luogo di menzionare il grandioso impianto idro-elettrico del municipio di Milano, il quale, del resto, già da alcuni anni ha costruito ed esercita, come il municipio di Torino, un impianto elettrico a vapore in città per distribuzione di luce e di energia nel Comune, che può distribuire ora 16,000 HP e si intende possa salire a più di 30,000. L'impianto idro-elettrico, ora quasi compiuto, è stato progettato in proporzioni assai vaste, che comprenderebbero cinque Centrali con una potenzialità di 32,000 HP; però per

ora si limita alla più importante che è quella di Grossotto con 16,000 HP. L'acqua per questi impianti è derivata dall'alta Adda in Valtellina e da un suo affluente, il Roasco. La corrente è prodotta a Grossotto a 10,000 volt, e verrà elevata, con trasformatori, a 65,000 volt-tensione sulla linea; la quale, a impianto finito, avrà la lunghezza di 150 km., percorrendo la Valcamonica per finire alla stazione ricevente a Milano. La distribuzione si fa ora con una rete sotterranea di 80 km., con 120 stazioni di trasformazione della tensione già ridotta a 8650 volt, a quella di 160 volt necessaria per la distribuzione. Con un'officina speciale si fa a corrente continua l'illuminazione pubblica ad arco con 1200 lampade.

L'impianto più recente in Lombardia è quello detto dell'*Adamello*, che rappresenterà, a lavoro compiuto, circa 35,000 HP, ottenuti con due Centrali. La prima, a Isola nell'alta Valle Camonica, si vale dell'acqua del Pogia, che discende dai ghiacciaj dell'Adamello, su una caduta di 900 m., che sarà la più alta utilizzata sinora da ruote Pelton¹⁸. Il lago d'Arno, situato a 1800 m. sul livello del mare, serve da serbatoio e permette di disporre normalmente di un volume d'acqua superiore a quello disponibile in magra. La seconda, a Cedegolo, è posta immediatamente al disotto, e fu la prima ad entrare in funzione nel 1909. L'altra sarà aperta all'esercizio fra breve.

Un altro impianto non ancora attuato, ma in corso avanzato di esecuzione, è quello della Società *Dinamo*, costituita nel 1907, la quale si è proposta di utilizzare le acque del torrente Diveria, proveniente dal Sempione, fra Balmalonesca e l'imbocco infe

18. Una caduta di poco minore è stata applicata per la prima volta in Svizzera nell'impianto di Vouvry, Lac de Tanay (Vallese). È ai nuovi tipi di motori idraulici e allo studio accurato delle forme e dei materiali che si deve questo straordinario aumento delle cadute utilizzabili.

riore della galleria di Varzo, e quelle del torrente Cairasca. Sono dunque due impianti con una sola Centrale a Varzo: il primo è un rifacimento dell'antico impianto della Società Mediterranea per la galleria di Varzo; il secondo è un impianto nuovo, con un serbatoio regolatore (lago d'Avino). Essi avranno la potenza complessiva di circa 25,000 HP, e saranno in parte destinati, quando l'impianto sarà compiuto, a surrogare la trazione ferroviaria sulle linee varesine e sulla linea del Sempione, della quale si dirà nel capitolo seguente.

Al di sotto della presa della Società Edison sull'Adda, è sorto, pochi anni dopo l'impianto di Paderno, quello attuato nel 1906 dalla *Società per le forze idrauliche di Trezzo sull'Adda*, con una grande Centrale, capace di utilizzare una forza idraulica variabile secondo lo stato del fiume, e con un impianto sussidiario a vapore, in guisa da poter disporre di una potenza complessiva di più di 9000 HP. Una sottostazione a Pandino (Cremona), raccoglie altri 1600 HP acquistati dall'impianto dell'Adamello. Ambedue servono parte delle provincie di Bergamo e di Cremona, e, legandosi alla rete Conti, si spingono fino alle vicinanze di Milano. Una società succursale, la *Martesana*, distribuisce l'energia di Trezzo in altre provincie limitrofe.

Molte altre società, con impianti di parecchie migliaia di cavalli, contribuiscono colle precedenti a fornire energia all'intensa industria della regione lombarda. Tali sono:

La *Società elettrica Bresciana*, la quale utilizzò dapprima l'acqua del fiume Chiese per un impianto, fatto nel 1902, che poi cedette al Comune di Brescia per la sua municipalizzazione, poi installò o acquistò, tra il 1902 e il 1908, numerose Centrali sul Chiese, sull'Oglio e sui loro affluenti, per una forza complessiva di 22,500 HP dalla Società del Caffaro, e sta per assicurarsi altri 50,000 HP con derivazioni in Valsabbia e Valcamonica. Serve la

regione bresciana, con diramazioni verso Cremona e Mantova, per uno sviluppo di linee di circa 800 km., ed ha anche una rete tramviaria, iniziata nel 1906, in parte già elettrificata, e in parte in via di elettrificazione.

L'impianto detto del *Caffaro*, colla Centrale a Ponte Caffaro, utilizza l'acqua di questo fiume, che nasce nel gruppo montano dell'Adamello, e dispone di circa 10,000 HP, che sono ricevuti e distribuiti a Brescia e nei dintorni.

La *Società Orobica* distribuisce la forza nel territorio di Lecco e nella Brianza con quattro Centrali idrauliche a S. Pellegrino, Roncaglia, Serrati e Forcola (1902-1908), animate dal Brembo, dall'Enna e dal Forcola, e capaci di una forza massima di 8000 HP; oltre a una Centrale termica a Lecco, di 2600 HP. Riceve energia anche dalla Società Edison e da altre società minori, e spinge le sue linee sin quasi a Monza e Como, sulla destra dell'Adda, e sino a Zogno nella Valle Brembana.

La *Società Bergamasca* utilizza l'acqua del Brembo nella Centrale di Clavezzo e distribuisce circa 3500 HP proprii, e altrettanti presi dalla Società di Trezzo e dell'Adamello nella città di Bergamo e nella maggior parte della sua provincia. La *Società Varesina* distribuisce luce e forza al circondario di Varese, e dà l'energia per una estesa rete di ferrovie e di tramvie locali, con due Centrali idroelettriche a Cunardo e Maccagno (1902-1908), capaci di circa 3000 HP, e una Centrale termo-elettrica di 1000 HP presso Varese. Essa sta preparando a Maccagno un nuovo e più grande impianto idroelettrico, sbarrando il lago di Delio. La *Società Comense A. Volta*, alimenta Como, il suo lago e i suoi dintorni, colla Centrale di Corrido in Val Cavargna e coll'acqua del torrente Cuccio che vi scorre. La forza disponibile alla Centrale è di 2800 HP, ai quali si aggiungono altri 2000 HP a vapore nella Centrale termica di Como. La tensione di 20,000

volt adottata per la linea, era ancora, a quell'epoca (1900-1902), la più alta che si tentasse in Italia. La Società distribuisce, oltre alla propria forza, altra forza presa dalla Società Lombarda, e serve non solo le industrie locali, ma anche alcune importanti linee tramviarie partenti da Como. Pure sul lago di Como, a Taceno, la *Società idroelettrica Briantea* attinge la forza dal torrente Pioverna, circa 3000 HP, che distribuisce nel territorio di Lecco. Altre imprese minori, l'*Agognetta* in Lomellina, la Società di *Cerro sul Lambro*, la *Società Pavese A. Volta*, e parecchie altre, distribuiscono energia nelle rispettive zone d'influenza.

C'è anche una Società che ha sede a Milano, la *Unione esercizi elettrici*, la quale non si è localizzata in una data regione, ma eseguisce impianti in tutta Italia. Essa ne conta ormai 17, dei quali, due piccoli in Piemonte (a Ceva sul Tanaro, e a Stresa sull'Airola), parecchi nell'Italia centrale e molti in Liguria e nell'Italia meridionale. Di questi si parlerà a suo tempo.

Infine, numerose società minori, alcune delle quali di notevole importanza (come quelle dell'Oltrepò Pavese; dell'Alto Milanese; dell'Isola; la Banti; la Suburbana Milanese; l'Anonima luce e forza; la Ragazzoni, ed altre), prendono dalle Società maggiori, e specialmente dalla Edison e dalla Conti, l'energia, che trasformano secondo i bisogni e distribuiscono nei rispettivi circondari: divisione di lavoro, della quale si è già notata l'importanza.

Venendo ora agli impianti municipale e privati, si può dire, quanto ai primi, che salvo qualche caso, in generale il servizio di illuminazione e anche di distribuzione di energia nei centri abitati è fatto dalle società intraprenditrici delle quali si è parlato sinora, o da piccole imprese locali; e quanto ai secondi, non è facile farsene un'idea precisa, essendo numerosissimi e di varia importanza. Certo rappresentano molte migliaia di cavalli, an-

che solo contando gli opifici di notevole importanza. Basterà citare, senza tentare di includerli tutti e neppure i più notevoli, gli opifici del gruppo siderurgico: *Ferriera Gregorini*, Lovere, 3700 HP con Centrale a Poltragno; *Siderurgica Glisenti*, Carcina, 800 HP; *Ferriera D'Amico*, Vobarno, 450 HP; quelli del gruppo cotoniero: *Cotonificio* di Ponte di Nossola, 1800 HP; *Crespi*, Nembo, 1500; *Hefti*, Roè, 1300; Schiannini, Ponte S. Marco, 850, e molti altri; le *Cartiere Maffizzoli*, Toscolano, 2150 HP; il *Consorzio del Dezzo*, Barzesto, con più di 6000 HP; la *Società calce e cemento*, Palazzolo, 560 HP; ecc. ecc.

Nella regione veneta, il più grande impianto è quello del Cellina, dovuto alla *Società Italiana per l'utilizzazione delle forze idrauliche del Veneto*. Esso è anche uno dei principali impianti italiani. Seguono, in ordine d'importanza, quelli della Società Milani e del Cismon, che col precedente suppliscono nella massima parte alle richieste d'energia dell'intera regione.

L'impianto fatto sul torrente Cellina funziona dal 1905. È un'ardita opera idraulica, che raccoglie l'acqua delle Prealpi friulane per alimentare per ora due grandi Centrali: la prima capace di 7000 HP; la seconda di 4300 HP; la terza darà 2000 HP, con una Centrale non ancora installata. La corrente, prodotta a 4000 volt ed elevata a 30,000 sulla linea, è portata a Venezia, dopo un percorso di 87 km., per esservi trasformata a più bassa tensione e poi, col sussidio dato da una potente riserva a vapore, distribuita in città, dove si è sostituita a quella ottenuta dall'antica Centrale a vapore impiantata dalla Edison. Altre tre Centrali sono in progetto, con derivazione dal Piave e dal lago di Santa Croce, capaci di circa 12,000 HP, ed una di 9000 HP a Perarolo, sopra un affluente del Piave.

La *Società elettrica Milani* ha messo in esercizio nel 1907 una

Centrale sull'Adige presso Verona, della forza di circa 8000 HP. A compensare le eventuali deficienze dell'Adige, fu installata l'anno successivo una Centrale termo-elettrica a vapore, di 3000 HP. Altri impianti, pure sull'Adige, sono in progetto. La forza è e sarà distribuita nella regione, fra Verona, Legnago e Ostiglia; e in seguito si intende portarla sulla direzione Mantova-Modena-Bologna.

Più recente ancora è l'impianto della *Società forze motrici Cismon Brenta*. Essa deriva l'acqua dal Cismon, affluente del Brenta, con un ardito sbarramento. La Centrale è a Pedesalto, e fornisce circa 10,000 HP alla Società Adriatica di elettricità, che ne fa la distribuzione nella Venezia centrale, da Schio a Vicenza fino a Padova, Rovigo e Adria, e persino a Ferrara. L'impianto fu inaugurato nel 1910.

Molte Società minori: *Società elettrica del Barman* (Alto Friuli); *Società elettrica Barnabò-Giacobbi*, con Centrale a Vallesella (Pieve di Cadore) sul torrente Molina; *Società Friulana*, con Centrale a Vedronza sul torrente Torre, nel Friuli; *Società elettrica provinciale*, con due Centrali, idraulica e termica, in territorio di Verona, fanno distribuzioni locali di energia. La *Società Veronese* non produce energia, ma prende una parte di quella della Società Milani, per distribuirla, dopo trasformata, a Verona e nei dintorni, come fanno le società distributrici nella regione lombarda.

Nel Veneto funziona pure la *Società Adriatica di elettricità*, testè menzionata, la quale, pur avendo per principale obbiettivo il collocamento dell'energia dell'impianto del Cismon, utilizza anche delle riserve termiche proprie di 4000 HP e due impianti idraulici di 900 HP; e nel medesimo tempo lavora nell'Emilia con un proprio impianto idro-elettrico sul Lamona a Faenza, e in Puglia con impianti termo-elettrici. Giova anche rammentare che

qui, come in Lombardia, sono numerosi gli impianti industriali privati, spesso molto importanti, come quelli degli stabilimenti lanieri di Schio, e dei cotonificii di Verona.

Molto interessanti e importanti sono gli impianti liguri, i quali derivano la forza, in parte dal versante meridionale, e in parte dal versante settentrionale della catena di monti che separa la Liguria dal Piemonte e dalla Valle del Po.

Primo, per data, fra tutti gli impianti, non solo italiani, ma del mondo, di trasmissione d'energia, come già fu detto precedentemente, è quello della *Società Acquedotto De Ferrari-Galliera*. Bisogna ritornare col pensiero all'epoca in cui non si aveva ancora un'idea delle correnti alternate e della loro trasformazione da una tensione all'altra; quando non si conoscevano che i geniali tentativi di Marcel Deprez del 1884, e il celebre trasporto di Creil faceva intravedere, ma non dava ancora la soluzione del problema di trasmettere a distanza l'energia. Fu allora che il ginevrino Thury intraprese per il primo un trasporto di energia, quello per la Società De Ferrari-Galliera, compiuto nel 1889. La forza era attinta dal torrente Gorzente sul versante nord dell'Appennino; l'acqua traversava l'Appennino in galleria, e a Isoverde, sul versante genovese, metteva in moto le dinamo a corrente continua, che servivano a trasportare l'energia in Val Polcevera sino a Sampierdarena e Genova.

Quel primo impianto, per le difficoltà delle quali si è fatto cenno nella prima parte di questo scritto, relative all'impiego della corrente continua, fu poi sostituito, da qualche tempo, da una installazione a corrente alternata trifase. Due laghi artificiali, sul versante nord della montagna, ai quali si sta per aggiungere un terzo, servono contemporaneamente da serbatoio per la distribuzione di acqua potabile a Genova e dintorni, e per la

distribuzione di energia. L'acqua, dopo aver lavorato sulle turbine a Isoverde, si raccoglie in un cisternone per l'alimentazione delle condutture d'acqua potabile. L'energia distribuita è di circa 2700 HP.

Dopo questo impianto, il quale ha ora più importanza storica che tecnica, conviene citare tra le più interessanti installazioni elettriche italiane, quelle della Società Negri e della Idroelettrica Ligure.

La *Società elettrica Riviera di Ponente* (Società Negri), costituita nel 1905, ha tre Centrali idrauliche e una termo-elettrica, installate nella Riviera di Ponente. Le prime utilizzano l'acqua del fiume Roia presso Ventimiglia, e del fiume Argentina presso Taggia: la termo-elettrica trovasi a Savona; e tutte insieme hanno una potenza di circa 22,000 HP, che si distribuisce con linee a 25,000 e 74,000 volt su tutta la Riviera di Ponente, da Vallauria di Tenda sino a Genova. Due nuove Centrali sono in progetto: una di 40,000 HP a S. Dalmazzo di Tenda, e una di 20,000 sull'alto Roia.

La *Società idroelettrica ligure* trae l'acqua dall'alto Appennino parmense sul versante nord, per distribuirne la forza in parte sul versante stesso e nella parte maggiore sul versante sud sino al Golfo di Spezia. Essa ha utilizzato l'acqua di un piccolo bacino idrografico al Lagastrello presso la cresta dell'Appennino fra Parma e Spezia, con un ingegnoso sistema di serbatoi, in parte artificiali fatti con alte dighe, in parte traendo profitto di piccoli laghi naturali, in guisa da cavarne tutta la potenza disponibile, la cui media è di 4750 HP; ma il macchinario è tale da permettere, quando occorra, di utilizzarne al massimo sino a 12,000. Le Centrali sono due: una a Isola, che è in azione dal 1907; l'altra a Rimagna, non ancora aperta. Le linee alimentano di energia la regione Emiliana, fra Parma e Borgo S. Donnino, coll'interme-

diario della Società emiliana di servizi elettrici, e sull'altro versante l'Arsenale di Spezia e, per mezzo della Società apuana di distribuzione, la regione Carrarese.

A Genova sono installate le *Officine elettriche genovesi*, le quali fanno dal 1897 il servizio d'illuminazione e poi il servizio tramviario, con una Centrale di circa 10,000 HP, e un'altra a Sampierdarena di 1500 HP, tutte con motrici a vapore. La Società serve Genova, Sampierdarena e le due Riviere sino a Voltri e a S. Margherita, distribuendo luce (circa 260,000 lampade), energia (sino a circa 8000 HP), e facendo il servizio tramviario in Genova e fuori, con circa 300 vetture motrici e 150 rimorchiate. Un'altra Società (*Unione italiana tramways elettrici*) esercita a Genova altre linee urbane e suburbane con corrente fornita dalla Società precedente. A Spezia ha sede una Società consimile, per illuminazione, tramvie e distribuzione d'energia: la *Società tramvie elettriche della Spezia*, con circa 1000 HP di forza a vapore. Essa farà anche il servizio di distribuzione, nella regione circostante alla Spezia, dell'energia prodotta dalla *Società idro-elettrica ligure*.

2. Italia Centrale

Nell'Emilia, la sola impresa elettrica di qualche importanza è quella della *Società bolognese di elettricità*, che ha due officine sul Reno e un impianto termo-elettrico, per una forza complessiva di circa 2500 HP. Questa forza è utilizzata a Bologna e nei dintorni. Si ha in vista un nuovo impianto idro-elettrico di 4000 HP a Castiglione dei Pepoli. Altre imprese minori fanno piccole distribuzioni, anche prendendo l'energia da impianti veneti; fra queste, la più importante è la *Società Adriatica di elettricità*, già menzionata, che distribuisce 1500 HP idraulici e termici a Ravenna e Faenza.

In Toscana si trovano parecchie Centrali termo-elettriche: a

Livorno, quella della *Società ligure-toscana*, la quale Società però sta preparandosi a impiantare due Centrali idro-elettriche sul Serchio e sulla Lima, per circa 8000 HP, destinate a distribuire energia nella zona compresa fra Pistoia, Viareggio e il Tirreno; a Castelnuovo di Valdarno la Centrale termica della *Società del Valdarno*, con 10,000 HP, per distribuzione a Firenze, Prato e nel Valdarno; ad Arezzo l'impianto Reinacher; a Firenze le due Centrali della *Società toscana*, pure termica, con 6500 HP; a Pescia le *Officine elettriche Sainati*. Un piccolo impianto idro-elettrico ha la *Società delle miniere di mercurio di Monte Amiata*. L'Unione esercizi elettrici, della quale si è già parlato a proposito degli impianti nell'Alta Italia, ha una Centrale termica Pontedera, di circa 1000 HP, e una termica e due idrauliche per quasi altrettanta forza, fra Viareggio e Serravezza.

Le risorse idrauliche di queste due regioni non sono ancora, come si vede, convenientemente sfruttate; forse la vicinanza degli impianti veneti e liguri, che vanno estendendo sempre più le loro linee verso Bologna, la Spezia e Carrara (dove la *Società apuana* distribuisce, come si vide, l'energia dell'*Idro-elettrica ligure*), può spiegare questa deficienza d'iniziativa locale.

Maggiore iniziativa hanno finora dimostrato le Marche e l'Umbria. Nell'Umbria, la *Società marchigiana* ha una Centrale idro-elettrica sul fiume Esino in territorio di Serra Sanquirico, di 1500 HP, che distribuisce energia a Jesi, Falconara e Ancona; a Mozzano, la *Società elettrica del Tronto* utilizza 1800 HP attinti al Tronto, e sta preparando un secondo impianto sullo stesso fiume; più piccoli impianti sono quelli di S. Severino Marche e di Montelupone.

Nell'Umbria sono notevoli gli impianti municipali di Spoleto, che ha una Centrale idro-elettrica di 2300 HP con acqua derivata dal Velino a monte della celebre cascata delle Marmore,

e di Narni, con due Centrali animate da sorgenti a poca distanza dalla città; e altrettanto notevoli quelli dell'ing. Netti, a Orvieto, Todi, Viterbo, Acquapendente, Vetralla e Civitavecchia, con un totale di 2 a 3 mila HP, attinti a diversi corsi d'acqua. Ma gli impianti più grandiosi dell'Umbria sono quelli che utilizzano le acque del Velino e del Nera a Terni.

A Terni, la *Società italiana pel carburo di calcio* deriva 25.000 HP dal Velino per la fabbricazione del carburo; e si sta per derivarne altrettanti e aggiungervi altri 16,000 HP presi dal Nera. Tutta questa forza futura servirà in parte pel carburo e per la calcio-cianamide, e pel resto si trasporterà a Roma con una linea a 75,000 volt, e a Perugia con 40,000 volt, servendo con ambedue le linee anche i Comuni interposti.

La *Società valnerina* ha derivato 12,000 HP dal Nera, sotto la cascata delle Marmore, per la Centrale della Cervara, d'onde sono trasportati a Narni. Questi due impianti sul Velino e sul Nera sono fra i più importanti d'Italia, e restano d'ora innanzi concentrati in una sola azienda, cioè nella Società pel carburo di calcio.

Roma è stata fra le prime città italiane ad applicare la corrente elettrica, e la prima a fare un trasporto di forza con correnti alternate, colle acque delle celebri cascate dell'Aniene a Tivoli, come si disse nel Capo III. Il primitivo impianto portava a Roma 2000 HP, dapprima con corrente alternata semplice, poi con corrente trifase e con maggiore potenza. Nel 1906 si aggiunse la nuova Centrale di Subiaco, e nel 1910 quella di Arci, ambedue ancora sull'Aniene. La forza minima utilizzata è di 16,000 HP, dei quali 8000 a Tivoli, 4000 a Subiaco, e 4000 ad Arci: alla qual forza la *Società anglo-romana* proprietaria degli impianti, aggiungerà altri 30,000 HP, acquistati dalla *Società del carburo di calcio* di Terni.

In Roma c'è una Centrale termo-elettrica di sussidio, come in tutti i grandi impianti, capace di 26,500 HP.

Quest'azienda, che è senza dubbio una delle più grandi in Italia, poichè dispone, tra forze proprie e acquistate, di più di 70,000 HP, provvede a tutti i servizi elettrici e distribuisce energia in Roma e nelle adiacenze.

Il servizio elettrico nella regione dei Castelli romani è fatto dalla *Società laziale*, che ha una Centrale a Bagni, utilizzando la forza delle rinomate Acque albule, un'altra a Tivoli sull'Aniene e una terza a Vallepietra presso Subiaco: in tutto un'energia di più di 1000 HP, alla quale la Società ne aggiunge dell'altra, presa dall'Anglo-romana, per distribuirli ai Castelli per ora, e in tutti i paesi fra Monterotondo, Palestrina, Zagarolo e Velletri poi.

Due *Società per imprese elettriche* fanno il servizio, la prima dei paesi tra Frosinone e Roccasecca, col proposito di spingersi sino a Gaeta, per ora colle due Centrali idro-elettriche di Auitrella in provincia di Roma, e Isola Liri in provincia di Caserta, della potenza di circa 2000 HP; una terza Centrale, di altri 1000 HP, è in preparazione a S. Giovanni Incarico (Caserta).

La seconda ha una Centrale termo-elettrica a Tor di Quinto, della forza di 2500 a 3000 HP, da potersi in seguito raddoppiare; essa serve i dintorni di Roma ed è collegata coll'Anglo-romana per l'uso reciproco della rispettive forze.

La *Società per industrie elettriche nel Lazio*, ha quattro Centrali idro-elettriche, a S. Agnello, Bracciano, Guarcino e Subiaco, sopra piccoli corsi d'acqua locali, con una forza complessiva di circa 500 HP, pel servizio dei Comuni adiacenti; e così fa l'Impresa Frigo con una Centrale idro-elettrica di poco minore potenza, pei Comuni di Toscanella e Montefiascone e i Comuni adiacenti.

3. Italia meridionale

Il Mezzogiorno continentale italiano possiede, per ora, soltanto due grandi Società idro-elettriche, paragonabili a quelle dell'Alta Italia e del Lazio: la prima cogli impianti sul Pescara e sul Tirino nell'Abruzzo, la seconda con quelli del Tusciano e del Lete nelle provincie di Salerno e di Caserta.

La *Società italiana di elettrochimica* fu la promotrice dell'impianto abruzzese, che possiede due Centrali presso Popoli (una sul Tirino, l'altra sul Pescara), e ha una seconda Centrale sul Pescara, in costruzione. La Centrale sul Tirino ha una potenza di 6300 HP, e quella sul Pescara di 8400; il secondo salto sul Pescara ne darà 24,000, trasportati alla tensione di 80,000 a 88,000 volt, la più alta in Italia, finora. L'energia è ora intieramente impiegata per la fabbricazione dell'alluminio a Bussi, per quella dei prodotti azotati a Piano d'Orte, e per fornitura di energia alla *Società imprese elettriche abruzzesi* e all'*Unione esercizi elettrici* ad Aquila. La prima di queste due Società distribuisce l'energia della Società di elettrochimica alle città di Chieti, Pescara, Castellamare e Francavilla, e ad altri Comuni minori; la seconda è quella stessa della quale si è già parlato a proposito degli impianti nell'Alta e nella Media Italia. Essa ha, nell'Italia meridionale, un impianto idraulico e termico sul fiume Aterno ad Aquila, un altro a Campobasso sul fiume Biferno, uno termico a Manduria (Taranto) e un altro a Matera (Potenza), uno idraulico a Solmona sui fiumi Aterno e Sagittario, e uno a Valle di Diano (Salerno) sul fiume Tanagro, con un totale di quasi 2000 HP.

L'altra grande installazione idro-elettrica nel Mezzogiorno è quella della *Società meridionale di elettricità*, di Napoli, che ha per scopo di fornire energia specialmente nelle provincie di Napoli e Salerno. Gli impianti sono due: uno sul Tusciano (Salerno), capace di 7200 HP; l'altro sul Lete (Caserta), di circa 4800 HP,

con una caduta 580 m. e un lago artificiale di un milione di metri cubi per supplire all'estrema variabilità del corso d'acqua. Questo impianto fu concepito, insieme con quello del Volturmo del quale si parla più avanti, per venire in aiuto all'industria napoletana. Una parte dell'energia è distribuita a Torre Annunziata da una Società speciale di distribuzione.

Un impianto napoletano notevole è pure quello, interamente termico, della *Società generale per l'illuminazione*. Ha una Centrale di 6550 HP, che fa il servizio di illuminazione con cinque sottostazioni provviste di batterie di accumulatori nei diversi quartieri della città. È anche importante quello della *Società napoletana per imprese elettriche*, egualmente termico, con macchine a vapore della forza complessiva di circa 10,000 HP; esso distribuisce luce ed energia a Napoli e nei Comuni circostanti.

Aziende minori nel Mezzogiorno continentale sono: la *Società Adriatica di elettricità*, già menzionata più di una volta, che distribuisce in Puglia circa 1750 HP con motori a gas; la *Società idro-elettrica del medio Calore*, che distribuisce 400 HP derivati dal Calore fra Luogosano e Ariano; le *Società riunite di Reggio Calabria*, con Centrale idro-elettrica di 500 HP; la *Società elettrica di Benevento*, con Centrale di 200 HP sul fiume Sabàto; la *Società elettrotecnica*, con due piccole Centrali idro-elettriche di 350 HP a Sulmona e Pratola; l'*Impresa Zehender*, che distribuisce energia idro-elettrica a Bagnara, Palmi e Scilla.

Altri due impianti di assai maggiori proporzioni si stanno preparando, e sarebbero pronti nel 1911 e nel 1912: quello della *Società elettrica della Campania*, con due derivazioni dal Lete, per servire la zona fra Capua e Napoli, e il grande impianto dell'*Ente autonomo Volturmo*, a Rocchetta Volturmo in provincia di Campobasso, che dovrà trasportare a Napoli da 12.000 a 14.000

HP con una linea di 90 km., e che fu deliberato per formar parte dei provvedimenti a favore di Napoli.

La Sicilia è stata una delle prime regioni a profittare del progresso dell'elettrotecnica. Fu infatti a Palermo che nel 1900 la Società sicula di imprese elettriche cominciò e distribuire luce ed energia nelle città e nei dintorni, e poi costruì la funicolare Palermo-Monreale e le tramvie cittadine, tutte a trazione elettrica. La Centrale è termica, con 4650 HP. Impianti simili, benchè in minori proporzioni, furono fatti a Messina e Catania, con 1000 HP cadauno. Ma l'impresa più importante è quella della *Società elettrica della Sicilia orientale*, perchè, oltre a un impianto termico, analogo ai due precedenti, a Siracusa, ha saputo utilizzare le risorse idrauliche offerte dai corsi d'acqua della costa orientale della Sicilia. Gli impianti idro-elettrici della Società sono due: quello sul fiume Cassibile in provincia di Siracusa, che ha una portata di magra di 800 litri e permette quindi di utilizzare con 275 m. di caduta la forza minima di 2300 HP e, con un serbatoio di 11.000 m³, una forza notevolmente maggiore; e quella sul fiume Alcantara scendente dall'Etna, con forza di 7000 HP in magra. Attualmente non si utilizzano sull'Alcantara che 300 HP, con un serbatoio che permetterà di elevare, in caso di necessità, la potenza, sino a 4000 HP. Questo impianto, affatto recente e non ancora completo, fornirà energia a le città della costa orientale; e su questo si basano ulteriori studi per l'utilizzazione delle forze idrauliche della Sicilia, che permetterebbero di contare su circa 50,000 HP ottenuti in diversi punti dell'isola, distribuibili, con una rete di 880 km., nei principali centri di consumo.

In tutta l'esposizione di questo Capo IV, giova ripeterlo, non si è fatto che dare un'idea dei più importanti impianti di trasmissione di energia in Italia, omettendo gli impianti minori e quelli

fatti dalle aziende industriali per i propri opifici; è certo però che quelli dei quali si è fatta menzione, rappresentano la parte maggiore dell'energia elettrica consumata in Italia, o almeno di quella attinta ai corsi d'acqua. Più tardi, nel Capo VIII, si riassumeranno le cifre dei Capi IV, V e VI per darne un'idea complessiva, tenendo un conto approssimato di quanto si è dovuto omettere.

V.

Ferrovie e tramvie elettriche

Ferrovie e tramvie elettriche diversificano fra loro per i diversi scopi cui mirano e per differenze di proporzione e di organizzazione; ma dal punto di vista meccanico ed elettrico si possono considerare come eguali; e infatti la loro storia è comune. Furono primi i noti costruttori berlinesi Siemens e Halske a fare dei tentativi di trazione elettrica nel 1879 nel recinto di una esposizione a Berlino e sulla linea Zossen-Berlino, poi nel 1881 sulla linea di Grosslichterfeld e con una linea interna nell'Esposizione di Parigi dove si cominciò ad usare un filo aereo per trasmettere la corrente ai veicoli. In quell'anno fu fatto anche il primo esperimento di trazione con accumulatori. Nel 1884 comparve a Kansas City il primo *trolley*, che è l'organo raccoglitore della corrente generalmente in uso sulle tramvie¹⁹.

Da quell'epoca al 1888, specialmente per opera di Sprague, la trazione elettrica si diffonde rapidamente in America; ed è appunto col sistema Sprague che si fece per la prima volta l'introduzione della trazione elettrica in Italia nel 1890, tra Firenze e Fiesole, funestata, poco dopo la sua attuazione, da un

19. A Budapest fu fatta su larga scala anche l'applicazione del conduttore sotterraneo, ma con poco successo.

grave disastro. Tre anni dopo cominciò l'esercizio della prima linea tramviaria genovese, e la Edison inaugurava a Milano la sua rete tramviaria cittadina. Nel 1895 si inaugurava la rete di Roma, alla quale seguirono tosto quelle di altre città, estendendosi temporaneamente nei suburbi, e oltre i suburbi.

Il passaggio dal servizio tramviario urbano e suburbano a un vero e proprio servizio ferroviario, non poteva che tener dietro al successo delle tramvie. Infatti, le due Società che a quei tempi esercitavano le linee ferroviarie dello Stato, ebbero quest'ardita iniziativa, dapprima in piccola scala e con sistemi differenti: la Mediterranea coll'esperimento Milano-Monza (1899), con carrozze caricate di accumulatori, poi sulla linea Milano-Gallarate col sistema della terza rotaia; la Adriatica, prima con una linea ad accumulatori (Bologna-San Felice), poi, sulle ferrovie valtelinesi, con una linea aerea. Fallito l'esperimento cogli accumulatori (sistema che si era tentato, senza buon esito, anche sulle tramvie di Roma), il successo degli altri due sistemi fu completo, tanto che esse costituiscono due esempi classici di ferrovie elettriche. Lo Stato le esercita ora, e sta per aprire il servizio elettrico anche sull'aggravatissima linea dei Giovi per aumentarne la potenzialità. Le due linee della Mediterranea e dell'Adriatica hanno anche avuto questo merito, di aver messo in rilievo i pregi e i difetti di due sistemi diversi di trazione. Infatti, abbandonati gli accumulatori, abbandonato il conduttore sotterraneo, non resta ora, sanzionato dall'esperienza, che il sistema di prendere la corrente da un conduttore esterno, posto lungo la linea, che la riceve da opportune stazioni e sottostazioni elettriche per mandarla nei motori collocati sia sulle carrozze stesse (*carrozze auto-motrici*), sia sopra locomotori che servono, come le locomotive, per rimorchiare i treni. Ma questa presa di corrente si può fare in due modi: da un filo o da fili

aerei, come si usa generalmente sulle tramvie, mediante una pertica chiamata *trolley*; oppure da una *terza rotaia* laterale, mediante strisciatoj. Nell'uno e nell'altro caso la corrente ritorna lungo le rotaie del binario, metallicamente congiunte tra loro. Diversa può essere anche la natura della corrente utilizzata: corrente continua, come è generalmente adoperata nelle tramvie e sulla linea Milano-Varese; corrente trifase, come sulle linee valtelinesi. Si è proposta anche la corrente alternata monofase, la quale trovasi però applicata in Italia, almeno sino ad oggi, soltanto sulla Roma-Civita Castellana-Viterbo, sulla Padova-Fusina, e sulla Bergamo-San Pellegrino.

La linea varesina Milano-Varese-Porto Ceresio (sul lago di Lugano), lunga 73 km., fu aperta nel 1901 sino a Varese e nel 1902 da Varese a Porto Ceresio. La Centrale è a Tornavento, con una forza disponibile di 4000-6000 HP con macchine a vapore (fu però già impegnata l'energia idroelettrica della Società Dinamo appena sarà disponibile, come fu già accennato al Capo IV). La linea di distribuzione funziona a 1200-1300 volt e viene convertita, nelle sotto-stazioni di trasformazione, in corrente continua a 650 volt, per mandarla alla terza rotaia. Le sotto-stazioni hanno anche batterie di accumulatori. Il materiale mobile si compone di carrozze automotrici e di locomotive²⁰.

Le linee della Valtellina (Lecco-Colico, Colico-Sondrio, Colico-Chiavenna) hanno la lunghezza complessiva di 105 km. e sono esercitate con corrente trifase²¹. La corrente è prodotta da

20. Vedansi, a proposito di queste linee, le interessantissime notizie date dall'Amministrazione delle Ferrovie dello Stato: *Cenni intorno all'applicazione della trazione elettrica sulle ferrovie italiane; La trazione elettrica sulla linea Milano-Varese-Porto Ceresio; La trazione elettrica sulla vecchia linea dei Giovi, 1909-1910*.

21. Le prime prove dell'applicazione della corrente trifase alla trazione furono fatte nel 1896 da Brown Boveri a Lugano, e da Ganz (che poi fece l'impianto della Valtellina) a Evian.

alternatori a 20,000 volt ed è trasmessa a 11 sotto-stazioni lungo la linea, nelle quali è ridotta a 8000 volt e mandata ai motori del treno. L'energia è presa dall'alta Adda in Valtellina, donde si traggono 5300 HP per l'esercizio della linea; la Centrale è a Morbegno, ed è fatta per utilizzare per ora, 18 m³ d'acqua al 1", con una caduta di 30 m. L'esercizio fu aperto nel 1902.

Ai Giovi, presso Genova, l'esercizio della ferrovia Genova-Novi è pesantissimo in causa della forte pendenza (35 per 1000) e del cresciuto traffico, non ostante la linea succursale di Mignone. Si pensò dunque di elettrificarla in quel tronco fra Genova e Busalla, risolvendo questo problema: rimorchiare treni di 380 tonn. che si susseguano di 15 in 15, e anche, occorrendo, di 10 in 10 minuti, in un periodo di 18-20 ore al giorno, unico modo di dare al passaggio la voluta potenzialità di 1000 a 1700 carri al giorno. Il problema fu risolto con lo stesso sistema delle linee valtelinesi. La Centrale è alla Chiappella presso Genova, ed ha ora una potenza elettrica di 13,500 a 16,000 HP, ottenuta con turbo-alternatori a vapore, salvo raddoppiarla se sarà necessario. L'energia è prodotta a 13,000 volt, ridotta a 3000 nelle stazioni di trasformazione. Il servizio si fa con locomotori di 60 tonnellate. In territorio italiano fu chiesta pure la concessione di un impianto elettrico dalle *Ferrovie federali svizzere*, dipartimento di Losanna, per la trazione fra Iselle e Briga, con la Centrale a Iselle, utilizzando una forza idraulica di 3000 HP, per fare l'esercizio con corrente alternata trifase nella gran galleria del Sempione.

A tutte queste linee bisogna aggiungere quelle concesse sino alla fine del 1909 come linee propriamente ferroviarie, appartenenti a società private. Tali sono la Varese-Luino, la Bergamo-S. Giovanni Bianco, la Napoli-Valle Pompei-Scafati, la Castel Raimondo-Camerino, la Chieti città-Stazione, la Vesuviana, e tutte

le Funicolari (Genova, Capri, Lanzo d'Intelvi, S. Pellegrino, S. Vincent, Biella); tutte queste linee danno un totale di poco più di 118 km. Fra breve, altre nuove linee si aggiungeranno alle precedenti, e fra le altre la Roma-Ostia-Mare, la Roma-Anzio-Nettuno, la Roma-Frosinone.

Riassumendo, le linee ferroviarie propriamente dette, esercitate colla trazione elettrica, rappresentavano alla fine del 1909 un percorso totale di 300 km. in cifra tonda; e potranno elevarsi, in un prossimo avvenire, a circa 400 km.

Le tramvie urbane e interurbane, hanno avuto un grande sviluppo dal 1890 in poi. Il sistema generalmente seguito è quello della corrente continua attinta da conduttori aerei colla peritica (*trolley*), salvo i casi, già citati, di impiego della corrente alternata monofase. In ordine d'importanza conviene menzionare anzitutto, benchè cronologicamente siano venute più tardi, le tramvie interurbane, cioè quelle che collegano due o più centri e non sono semplici diramazioni suburbane.

Queste linee interurbane rappresentavano in tutto, alla fine del 1909, circa 570 chilometri di percorso. Fra le linee più lunghe, sono le tramvie fiorentine, quelle delle riviere di Napoli e di Genova, quella dei Castelli romani, la Roma-Civita Castellana-Viterbo. La più recente (fu aperta nel 1910), ed anche una delle più interessanti, perchè segue per 36 km. il Canale di Brenta sulla strada dove i patrizi veneziani avevano le loro ville (quella di Strà è monumento nazionale), è la linea fra Padova e Fusina sulla Laguna, donde un servizio speciale di vapori la riunisce a Venezia. Essa è fra le poche col sistema della corrente alternata monofase, che però accenna a diffondersi. La linea di alimentazione è ad alta tensione, e da essa la corrente passa a quella a bassa tensione per la linea. La Centrale è termica, presso Padova, e dispone di 1250 HP, senza però impiegarli tutti, per ora.

Un'altra linea, egualmente a sistema monofase, è stata inaugurata nell'ottobre 1910 e serve a collegare Fondo Toce con Pallanza ed Intra sul Lago Maggiore.

Quanto alle tramvie urbane e suburbane, esse hanno raggiunto una notevole estensione, essendo ormai applicate in 28 città. Alla fine del 1909 la lunghezza del percorso di queste linee era di 510 km. in cifra tonda, mentre la lunghezza dei binari installati è di poco minore del doppio del percorso, essendo d'ordinario queste linee, salvo in tratti specialmente ristretti, a doppio binario.

Fra gli impianti più grandi si contano quelli di Milano, Torino, Roma, Napoli, Palermo, Bologna e Genova. A Milano, per esempio, sono installati in città 80 km. di linee a doppio binario, che son percorse da 800 vetture e hanno trasportato, nel 1909, circa 134 milioni di passeggeri, raggiungendo in un giorno il massimo di 520,000; e a questi 80 km. di linee interne bisogna aggiungere altri 28 di diramazioni suburbane, che dovranno fra breve arrivare a 75.

In complesso, adunque, le tramvie elettriche italiane, urbane, suburbane e interurbane, avevano, a tutto l'anno 1909, uno sviluppo di 1080 km. di linee, sia a semplice che a doppio binario²². E siccome le ferrovie elettriche propriamente dette rappresentavano, alla fine del 1909, un percorso di 300 km., come si è visto, e ne rappresenteranno fra breve 400 coll'elettrificazione della linea dei Giovi e altre linee di prossima costruzione²³, così si può ritenere che, nel 1911, la lunghezza totale di

22. Questi dati sono stati comunicati all'autore dal Ministero dei lavori pubblici. L'ing. Semenza, riferendosi alla fine del 1908, calcolava che a quell'epoca esistessero più di 1500 km. di binario semplice (non di linee): il che, tenendo conto del fatto che le tramvie urbane sono per lo più a doppio binario, corrisponde assai bene, in ragione d'epoca, ai dati su riferiti.

23. Già nel corso del 1910 le reti tramviarie suburbane sono aumentate di parecchie decine di chilometri.

percorso delle linee elettriche ferroviarie e tramviarie italiane sarà di circa 1500 km.

Quanto all'energia elettrica che queste linee consumano, essa è in gran parte compenetrata in quelle degli impianti elettrici dei quali si è parlato nel Capo IV (linee genovesi, napoletane, milanesi, romane, palermitane, torinesi, bresciane, comensi, varesine, ecc.). Le ferrovie elettriche dello Stato, in esercizio, e quella dei Giovi prossima ad aprirsi, rappresentano un'energia totale, installata se non interamente utilizzata, di 15,000 a 20,000 HP a vapore (linee varesine e linea dei Giovi) e 5000 HP idraulici (linee valtelinesi). Per gli altri esercizi di linee elettriche non compresi negli impianti del Capo IV (come, per citarne una, la Padova-Fusina) sarebbe difficile di esporre dati precisi e neppure approssimati; probabilmente però l'energia che consumano non sorpasserà 3 a 4 migliaia di cavalli.

Non sono ancora grandi cifre quelle che rappresentano le applicazioni dell'energia elettrica alla trazione in Italia; ma è bene notare che, salvo forse in America, ciò si verifica anche altrove; anzi, per quanto riguarda l'applicazione alle ferrovie presso altre nazioni, l'Italia non è certo fra le ultime. Bisogna però riflettere, che è bensì vero che da molte parti si preconizza l'estensione del servizio elettrico alle grandi linee ferroviarie; ma il problema è tutt'altro che facile a risolversi. L'esercizio elettrico fa di tuttata la linea, si può dire, un impianto elettrico unico, una macchina sola, cosicchè la continuità dell'esercizio dipende dall'impianto centrale; coll'esercizio a vapore e le locomotive, invece, ciascun treno è indipendente. Non v'ha dunque dubbio che, da questo punto di vista, la trazione a vapore sia ancora preferibile per le grandi linee nazionali, che richiedono l'impiego di grossi treni da passeggeri o da merci, a intervalli più o meno lunghi. Ma se si tratta di linee brevi di traffico intenso, tali che i

treni grandi o piccoli si succedano a brevi intervalli (come ai Giovi, dove i pesanti treni merci possono succedersi persino con 10 minuti d'intervallo; o come sulla linea Milano-Varese, sulla quale i treni merci e viaggiatori si succedono a pochi minuti d'intervallo, con circa 50 treni di andata e altrettanti di ritorno nella giornata e più ancora nei giorni festivi), allora si raggiunge il massimo utile colla trazione elettrica. Perciò è possibile che la frequenza del movimento e del traffico, soprattutto in vicinanza ai grandi centri, promuova l'elettrificazione di talune linee o tronchi di linea, almeno parzialmente, come appunto avviene sulla Milano-Varese, la quale nel tronco Milano-Gallarate è anche aperta al passaggio dei treni internazionali del Sempione, trainati da locomotive. Così è probabile che avvenga a poco a poco da sè lo smistamento dei sistemi di trazione secondo l'entità e la natura del traffico, ammettendo la trazione elettrica ove si verificano le condizioni più favorevoli per questo sistema, come è avvenuto per le summenzionate tre linee dello Stato.

VI.

Applicazioni elettro-chimiche ed elettro-metallurgiche

L'energia elettrica può essere applicata alla produzione industriale direttamente, senza passare attraverso ad un motore; la galvanoplastica ne è il più antico e volgare esempio. Queste applicazioni dirette dell'energia elettrica sono numerose, ma ancora non hanno preso nell'industria italiana quel largo posto che sembrava spettar loro. L'elettrolisi dell'acqua, più volte preconizzata per la produzione dell'ossigeno e dell'idrogeno: la fabbricazione della soda caustica, dei clorati e degli ipocloriti: l'estrazione del ferro, del rame e dell'alluminio dai loro com-

posti: la fabbricazione del carburo di silicio e del carburo di calcio, sono tutte operazioni che si possono fare con l'applicazione diretta della corrente.

In fatto, però, le applicazioni riuscite in Italia sono assai scarse. Una certa quantità di energia elettrica è utilizzata, più che per l'affinamento del rame, per operazioni galvaniche, nichelatura, argentatura, doratura (secondo le pubblicazioni del Ministero di agricoltura industria e commercio, vi sarebbe stata già adibita, alla data del 1899, un'energia di 900 HP); ma, in ogni modo, non si tratta di una grande industria, o almeno è raramente trattata in Italia come tale.

L'elettrolisi dell'acqua ha dato risultati industriali di poca importanza, e non serve, al più, che alla produzione industriale dell'idrogeno per l'aerostatica. Più avanzata invece è la fabbricazione della soda, che è prodotta specialmente a Bussi dalla *Società italiana di elettrodinamica*, traendo profitto dalle forze del Tirino e del Pescara. Colle stesse forza lavora a Bussi la *Società italiana per l'estrazione dell'alluminio*; questo viene estratto dalla bauxite ricavata dai giacimenti della montagna di Lecce dei Marsi presso il lago Fucino, coll'impiego di un'energia di 5000 HP, trasformando la corrente alternata in corrente continua a bassa tensione. Un'altra parte di queste forze è adoperata dalla *Società italiana di prodotti azotati*, creata per la fabbricazione dei prodotti destinati all'industria dei concimi artificiali, cioè della calciocianamide e dell'azoto combinato per via elettrica coll'ossigeno dell'atmosfera; la fabbrica è impiantata a Piano d'Orte e deriva la sua forza, come la Società precedente, dal primo salto del Pescara²⁴.

La fabbricazione del carburo di calcio ha avuto un periodo di grande prosperità ed è stata intrapresa su di una scala larghis-

sima, sin troppo larga, perchè il prezzo di questo prodotto è andato via via scemando, talchè vi fu un momento in cui qualche fabbrica di carburo si è dovuta chiudere. Al presente, la maggior produzione è fatta dalla fabbrica di Terni (*Società italiana pel carburo di calcio*), che vi adibisce la forza considerevole derivata dal Velino e dal Nera, producendo anche la calciocianamide e prodotti secondarî. Si fabbrica pure carburo a Narni dalla *Società della Valnerina*, che prende l'energia dal Nera alla cascata delle Marmore e che ora ha cessato il suo esercizio, il quale è passato alla Società del carburo, essendo la "Valnerina" in liquidazione²⁵. Se ne fabbricava in minori proporzioni anche a Darfo (Val Camonica), a Pont S. Marcel e a Pont S. Martin (Val d'Aosta) dove la *Società elettro-chimica* dispone di 4000 a 5000 HP.

La metallurgia del ferro ha tentato di servirsi dell'energia elettrica sino ai primordi delle sue applicazioni in Italia; e il primo impianto col sistema Stassano, eretto a Darfo in Val Camonica, rimane, colle sue varie e non sempre prospere vicende, l'unico che si possa menzionare. La riduzione del minerale da convertirsi in acciaio si ottiene direttamente nel forno elettrico sotto l'azione di un potente arco voltaico, impegnandovi un'energia di qualche migliaio di cavalli.

La metallurgia del rame, per l'estrazione del metallo dal minerale e la sua affinazione, è stata oggetto di studi a Livorno e a Pont S. Martin, ma sinora non costituisce un'impresa industrialmente avviata.

Su piccola scala la *Società elettrotecnica monzese*, prendendo energia elettrica dalle reti esistenti, ha tentato da alcuni anni di utilizzarla per la fabbricazione di alcuni prodotti chimici, con mediocre successo.

24. A questi impianti si è già accennato al Capo IV, 3.

25. Vedasi ancora al Capo IV, 2.

In complesso, le applicazioni dirette dell'energia elettrica alle operazioni chimiche e metallurgiche, nè sono numerose, nè, malgrado l'abbondanza della forza idraulica e gli ingenti capitali consacràtivi in Italia, sono molto promettenti. Le sole industrie che realmente meritino questo nome per la scala nella quale sono esercitate, sono quelle animate dalle forze del Pescara e del Tirino, per le quali non sono ancora scomparse tutte le difficoltà che vi si opposero, e la fabbricazione del carburo di calcio. Si sono nutrite forse in proposito troppe illusioni. Certo è che questa scarsità di attività nel campo elettrochimico ed elettrometallurgico segue ed eguaglia quella, che da tanti anni si va inutilmente deplorando in Italia nel campo chimico-industriale.

Le ragioni di questo fenomeno sono varie e complesse; ma non è questa la sede opportuna per discorrerne.

VII.

Industrie accessorie

Le applicazioni dell'elettricità al trasporto e all'impiego dell'energia in diverse industrie, hanno favorito la creazione di nuove fabbricazioni per fornire tutto il materiale necessario.

Queste fabbricazioni si sono andate estendendo, al punto che oggidì noi non abbiamo più alcuna necessità di ricorrere all'estero nè pei motori idraulici e termici, nè per il materiale delle condutture idrauliche ed elettriche, nè per quasi tutti gli apparecchi necessari agli impianti elettrici di qualsiasi natura. Sventuratamente, in una cosa sola, che pure sarebbe tra le più importanti, l'industria italiana non ha fatto nessun cammino: la fabbricazione, infatti, dei potenti alternatori necessari ai grandi

impianti moderni, e in generale anche di tutto quanto è grosso macchinario elettrico propriamente detto, macchine dinamo-elettriche, trasformatori, convertitori e simili apparecchi, non si può dire che manchi del tutto in Italia; ma certo è intrapresa su di una scala notevolmente piccola rispetto ai bisogni, talchè in tutti i grandi impianti italiani, con poche eccezioni²⁶, il grosso materiale elettrico è fornito da case estere, e specialmente svizzere, tedesche e americane²⁷.

È una deficienza penosa, della quale è difficile dare una ragione; poichè la stessa attitudine dimostrata in tante altre costruzioni elettriche da ditte italiane che hanno saputo assicurarsi il mercato nazionale, poteva essere impiegata anche nella costruzione dei grandi alternatori e delle altre grosse macchine per le Centrali elettriche. Si tratterebbe di una produzione di ingente valore, la cui ricerca, almeno sino ad oggi, è ancora assai grande. Non potendo ammettere la mancanza di attitudine, bisogna cercare le ragioni di questo fatto in cause di ordine finanziario; per cui è permesso di esprimere l'augurio che fra breve i nostri costruttori possano tentare con successo anche la fornitura di questo materiale.

Nelle altre costruzioni per impianti elettrici, in parte l'emancipazione è già avvenuta, in parte possiamo dire di competere in

26. Fra queste eccezioni si devono citare gli impianti fatti dalla ditta Gadda e C. ora in liquidazione, per la Società elettrochimica sul Pescara, per la Società idroelettrica ligure, per quella del Moncenisio e della Riviera di Ponente, e per le Imprese elettriche in Roma, dove sono anche installati due turbo-alternatori di 2000 kw. con turbine a vapore del tipo ideato dall'ing. Belluzzo.

27. Le principali ditte estere costruttrici di questo materiale, sono parecchie. Una fra queste, la ditta Brown Boveri di Baden (Svizzera), ha impiantato la fabbricazione anche a Milano nei locali delle cessate fabbriche Gadda e Tecnomasio, e, sotto, la ditta Tecnomasio italiano Brown Boveri, fornisce ora molta parte del grosso materiale elettrico delle Centrali italiane.

buone condizioni con l'estero. Così nei motori idraulici, come già si è detto al Capo II, la fabbrica A. Riva e C. di Milano ha saputo non solo conquistarsi il mercato italiano, ma mettersi in misura di concorrere, in qualche caso, con l'estero. La sua produzione si può veramente dire perfetta. Un buon nome, per costruzioni di minore importanza, ha pure la ditta Calzoni di Bologna.

Nei motori a vapore, o, per dire più preciso, nelle turbine a vapore da accoppiare cogli alternatori, sono generalmente i tipi stranieri che prevalgono, poichè la turbina a vapore non è nata in Italia; ma la loro costruzione è già avviata da noi, specialmente per opera della nota ditta Tosi di Legnano. Conviene anche aggiungere che un tipo italiano di turbine a vapore, il tipo Belluzzo, comincia non solo a farsi conoscere favorevolmente, per l'applicazione ai turbo-alternatori, ma lascia anche sperar possibile l'applicazione diretta alle locomotive²⁸. Quanto ai motori a essenza e ad olii pesanti, se ne son fatta una specialità la ditta Tosi di Legnano e la Langen e Wolf di Milano.

Nella costruzione delle macchine dinamo-elettriche di minore portata, ci sono valenti costruttori in Italia, come la *Società officine di Savigliano*, la ditta *Ansaldo* e poche altre fabbriche minori. La costruzione dei motori elettrici è anche fatta dai costruttori stessi delle macchine dinamo-elettriche; ma ci sono anche fabbricanti speciali di motori, come la ditta *Marelli* di Sesto S. Giovanni.

Molti eccellenti costruttori abbiamo in Italia per il materiale accessorio delle Centrali e degli impianti elettrici in genere, misuratori, interruttori, scaricatori di corrente, strumenti di precisione e altri apparecchi consimili. L'ingegnere Magrini a Berga-

28. Esperimenti su questa nuova applicazione delle turbine a vapore sono stati fatti dalle *Officine meccaniche* di Milano, sotto la direzione dell'ing. Alzona.

mo, le ditte Grimaldi e C. e Olivetti e C. di Milano, provvedono una gran parte delle officine elettriche italiane. Le fabbriche di apparecchi per servire alla illuminazione elettrica sono pure numerose.

Le linee elettriche pel trasporto e la distribuzione della corrente dalle Centrali di produzione dell'energia ai consumatori, hanno ormai in Italia uno sviluppo di molte migliaia di chilometri, e costituiscono una delle parti più importanti di un impianto, molto più coll'adozione di tensioni sempre più alte, che richiedono isolamenti perfetti. Oggetto di studi continui sono quindi la costruzione dei pali (che ormai, dall'epoca dell'impianto di Paderno in poi, si fanno metallici) e quella degli isolatori. Per questi ultimi l'Italia ha fortunatamente un'antica e rinomata ditta nazionale, anzi la riunione di due ditte, la *Società ceramica Richard-Ginori* di Milano e Doccia (Firenze), che non solo fornisce tutto il paese, ma esporta pure all'estero, in Francia e in America, i suoi isolatori, il cui tipo principale è quello intitolato tipo Paderno, perchè è nell'impianto di Paderno che fu per la prima volta applicato. Essa ha fabbricato isolatori per tensioni fino a 72.000 volt per la linea municipale milanese, e sta per fornire alla Società del carburo per la tensione di 80.000 volt. E per le linee sotterranee, una sola ditta serve la maggior parte delle installazioni elettriche italiane, e molte installazioni all'estero: la nota ditta Pirelli e C. di Milano e Sesto, una delle più grandi ditte fabbricatrici di cavi e conduttori elettrici di qualsiasi tipo.

Le Centrali elettriche hanno bisogno di tubi metallici di grande diametro per le altissime cadute che ora si tratta di utilizzare. Si è già citato al Capo II il caso di tubi fino a m. 2,50 di diametro. Essi son tutti fabbricati in Italia, e i più grandi specialmente dalla fabbrica dell'ingegnere Forlanini di Forlì, e dalle Officine Togni di Brescia.

Lampade a incandescenza e ad arco son fabbricate pure in Italia. Le nuove lampade a filamento metallico sono prodotte dalla *Società italiana per le lampade elettriche Z* (a filamento metallico) che riunisce due antiche fabbriche di lampade a incandescenza, la Edison di Milano e la Cruto di Alpignano (Torino).

Se si aggiunge che gli accumulatori, i quadri e tutto il corredo metallico delle Centrali elettriche si fabbricano in paese, e anche le carrozze per le tramvie e in generale quanto occorre per le installazioni elettriche, si vedrà qual somma di attività abbia creato in Italia il trasporto elettrico dell'energia.

VIII. Conclusione

È giunto ora il momento di raccogliere i dati sparsi nei Capi IV a VI, per farsi un'idea la più approssimata possibile dello stato attuale delle applicazioni dell'energia elettrica in Italia.

Una statistica è per ora sventuratamente impossibile; perchè, mentre l'importante monografia del Ministero di agricoltura, industria e commercio, pubblicata nel 1901, sugli impianti elettrici esistenti in Italia alla fine del 1898²⁹, dà la loro statistica completa sino a tutto il 1898, da quest'epoca sino al 1905 non si pubblicò nulla; e la pubblicazione, rimasta così sospesa per sette anni, non fu ripresa che nel 1906, e pubblicò annualmente, a cura dell'Ispettorato generale dell'industria e del commercio, diretto dall'ing. Belloc, per tutti i quattro anni dal 1906 al 1909, per

29. Questa eccellente pubblicazione è dovuta a una Commissione della quale fu relatore competentissimo e diligente l'ing. Mengarini. Un'appendice della medesima, che la completa e la estende in parte a tutto il 1900, è dovuta all'ing. Belloc del Ministero di agricoltura, industria e commercio.

essere proseguita regolarmente ogni anno. È dunque solamente in modo approssimativo che si può dare un'idea del numero e delle proporzioni degli attuali impianti elettrici in Italia.

Sino a tutto il 1898, secondo l'accennata pubblicazione, si erano fatti 2264 impianti elettrici per un totale di 86,175 kw (circa 117,000 HP), dei quali, 1143 erano idraulici e 1121 termici (a vapore o a gas); le così dette Centrali erano, allora, soltanto qualche centinaio, con una potenza totale di 9000 kw circa: gli altri erano impianti privati.

Dalle notizie statistiche pubblicate dal Ministero per gli anni 1896, 1897, 1898 e 1899, si rileva che la media degli impianti nuovi (cioè esclusi gli aumenti dei già esistenti) fu rispettivamente di 125, 88, 94 e 74 nei quattro anni, quindi con una media di 95 all'anno. La media dalla fine del 1882 (che si può ritenere come l'epoca in cui cominciarono a introdursi le nuove applicazioni elettriche in Italia) alla fine del 1898, è di 140 impianti all'anno.

Ora si può supporre che, nei sette anni privi di statistiche, la creazione di nuovi impianti sia fatta in ragione di una media annuale fra i 140 impianti annui del periodo 1882-1898 e i 125 del primo anno del periodo 1906-1909, cioè in ragione di 132 all'anno. Ciò darebbe la cifra di 3567, o, in numero tondo, 3600 impianti esistenti, o almeno autorizzati dal Ministero, alla fine del 1909.

Ma ora non è tanto il numero degli impianti, quanto la potenza totale utilizzata che importerebbe di conoscere, almeno approssimativamente. Ora, tenendo conto di tutti gli impianti registrati nella già citata pubblicazione della *Associazione fra esercenti imprese elettriche in Italia*, che non solo dà lo stato presente, ma dà anche notizia dei progetti, e sono parecchi e considerevoli, in corso di esecuzione così che potrebbero esser

pronti entro la fine del 1910 e la fine del 1911³⁰, e desumendo dalla statistica del Ministero di agricoltura, industria e commercio la nota degli impianti nuovi dei quali fu chiesta la concessione nel 1909, si rileva che alla fine del 1911 si avrebbero, installati e in esercizio, impianti per un totale approssimato di 820,000 cavalli, o circa 150,000 kw termici, comprendendo in queste cifre non solo tutte le installazioni fisse, ma anche quelle per le ferrovie e le tramvie. Volendo poi farsi un'idea degli impianti progettati per maggior utilizzazione di corsi d'acqua già in parte sfruttati, o di nuovi corsi, si potrebbe fare assegnamento, oltre il 1911, su una probabile creazione di altri 250,000 cavalli o, in cifra tonda, di altri 180,000 kw idraulici.

L'ing. Semenza, nella Memoria già citata³¹, ha ritenuto che gli impianti minori, non compresi nel suo computo, i quali sono piccoli bensì, ma assai numerosi, ammontassero a 60,000 kw. Ora, dalle poche notizie date sugli impianti minori, privati o municipali, nel Capo IV, e da altre relative a quelli delle amministrazioni dello Stato, si può arguire che probabilmente la loro potenza complessiva oltrepassi la cifra supposta dall'ing. Semenza, e si possa valutare a circa 90,000 kw. Ciò premesso, si avrebbe, a tutto il 1911, un totale approssimativo di 540,000 kw degli impianti termici, poichè la scorta termica di taluni grossi impianti prossimi ad essere aperti è generalmente già in esercizio, per fruirne durante la costruzione delle opere idrauliche, come avviene, per esempio, per gli impianti municipali di Milano e

30. Si osservi, a questo proposito, che molti grossi impianti, fra gli altri quelli dei municipii di Milano e Torino, non entreranno in attività se non nel 1911.

31. L'ing. Semenza ha valutato, alla fine del 1908, un'energia installata di 500,000 kw; aggiungendo, a questi, 60,000 kw pei piccoli impianti non contemplati, si ha un totale di 560,000 kw installati. Di questi, egli ritiene che circa 450,000 siano idraulici, e 110,000 termici, con un rapporto di 80% fra i primi e il totale.

Torino. Questo apprezzamento corrisponde abbastanza bene a quello dell'*Associazione Esercenti imprese elettriche in Italia*, la quale calcola nel 1910 un'energia idro-elettrica complessiva di 700,000 HP. In confronto alla statistica dell'ing. Semenza, si avrebbe un aumento, dal 1908 al 1911, da 560,000 a 690,000 kw fra idraulici e termici: ciò che non deve affatto sorprendere. Può sorprendere invece la circostanza che nella cifra dei 690,000 kw a fine 1911 entrino 150,000 kw termici, vale a dire che gli impianti termici rappresentino quasi il 22% del totale, mentre nella statistica Semenza non rappresenterebbero che il 20%. Ma questa differenza si spiega facilmente. Non si fa un grande impianto senza una corrispondente riserva termica; e spesso la riserva è più potente di quella che a rigore sarebbe necessaria, prima di tutto per poter superare le punte dei diagrammi di erogazione (massimi di consumo nella giornata), in guisa di avere per la maggior parte del servizio una disponibilità di forza, maggiore di quella consentita dall'acqua disponibile; e poi anche perchè in parecchi casi la riserva termica, il cui impianto è assai più facile e più breve di quello idraulico, essendo pronta prima, si può avere interesse ad esagerarla per soddisfare al crescente consumo durante la costruzione dell'impianto idraulico, come è avvenuto appunto per gli impianti municipali di Milano e Torino.

Ritenuto, come si disse al Capo II, che la forza idraulica disponibile in Italia ammonti a 3 milioni di cavalli, ossia a circa 2,200,000 kw, le forze utilizzate sarebbero al disotto di un quarto di questa cifra; ma non bisogna farsi troppe illusioni sulla possibilità di sfruttare in breve tempo tutta la grande riserva ancora disponibile. Innanzi tutto è d'uopo osservare che le cadute sinora utilizzate sono quelle che si presentavano più facili, e che per utilizzare le altre bisognerebbe cercarle in loca-

lità meno adatte per distanza o per altitudine, e quindi tali da rendere più costosa l'energia con esse ottenuta. Ora bisogna ricordarsi che attualmente si può ritenere che il kw installato e distribuito con un impianto idraulico costi in media, tutto compreso, da L.1000 a L. 1200 secondo i casi, e che calcolando 14 a 15% la spesa d'esercizio, compresi interessi e ammortamento del capitale, si arriva al costo annuo di 140 a 180 lire per kw, ossia da 100 a 130 lire per cavallo. Ora, colle macchine termiche e col carbone o coll'olio pesante ai prezzi odierni, la forza di un cavallo si può avere, per macchine grandi, di almeno 500 HP, press'a poco allo stesso prezzo o poco più, sempre ritenuto che tanto colla forza idraulica, quanto colle macchine termiche, si lavori 10 ore al giorno. Evidentemente, crescendo le ore di lavoro al giorno, la forza idraulico-elettrica diventa sempre più conveniente della forza ottenuta coi combustibili; questo si verifica, in fatto, nelle applicazioni all'illuminazione: ma nelle industrie, la legge sul lavoro notturno non permette di tenerne alcun conto.

Bisogna poi considerare lo stato delle nostre industrie, la scarsità del capitale italiano e la fiscalità del nostro sistema tributario, che colpisce in tanti modi, colla ricchezza mobile, colla imposta fabbricati e con numerosi altri aggravii minori, l'industria nazionale, sino a tassare come reddito il capitale che si mette in riserva col sovrapprezzo delle azioni quando la prosperità di un'azienda elettrica permette di far pagare un premio agli azionisti nuovi, e a tassare come un immobile l'acqua motrice degli impianti industriali; che non vede neppure il tornaconto stesso della finanza, nè si informa delle vere condizioni dell'industria elettrica, come quando continua ad esigere sull'energia elettrica impiegata nel riscaldamento degli ambienti una tassa che supera il valore dell'energia stessa, cosicchè la tassa diventa proibitiva e rende affatto impossibile una delle più facili

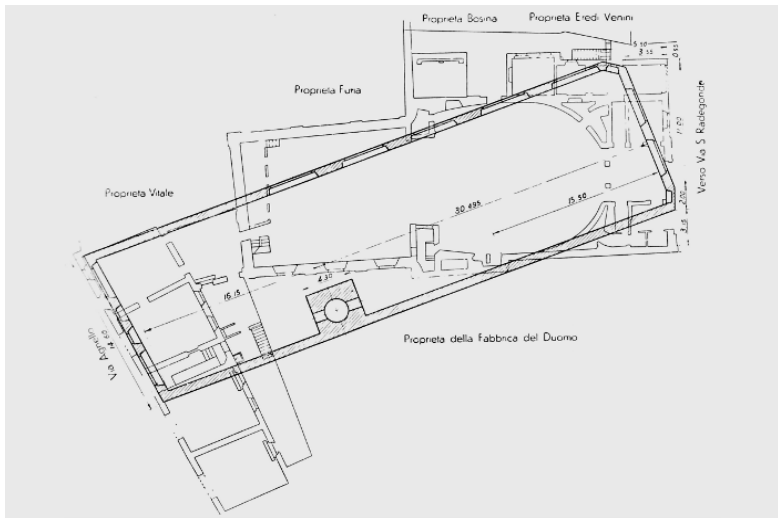
e lucrose applicazioni dell'elettricità, cioè quella del riscaldamento domestico, pel quale diventa inevitabile di continuare a servirsi del coke e del carbon fossile; o come quando colpisce l'elettricità a scopo di illuminazione, ottenuta colla forza delle nostre cadute, più di quanto non colpisca il gas illuminante ottenuto col carbone inglese. Simili appunti sono stati fatti e rifatti, ma senza alcun risultato. È adunque naturale che, ostando il fisco a queste nuove applicazioni dell'energia elettrica che ne allargherebbero il campo d'azione e incoraggerebbero il capitale a tentare nuovi impianti elettrici o ad ingrandire gli esistenti, l'industria elettrica cominci a temere, se non esaurita, certo prossima ad esaurirsi la ricerca d'energia, e stia attualmente studiando per vedere sino a quali limiti possa spingere la ricerca di nuove forze idrauliche senza compromettere l'ingente capitale già impiegato in queste imprese.

Sono considerazioni piuttosto dolorose, dato lo slancio col quale l'industria nazionale aveva saputo, fra le prime al mondo, valersi delle nuove scoperte alle quali hanno contribuito gli scienziati italiani; ma giova sperare che il Governo, meglio informato delle vere condizioni dell'industria, e più persuaso che la prosperità della nostra finanza sia connessa soprattutto colla prosperità e col progresso delle industrie, sappia temperare con maggiore saggezza le esigenze del fisco con quelle dei più vitali interessi della produzione nazionale.

Milano, dicembre 1910



1



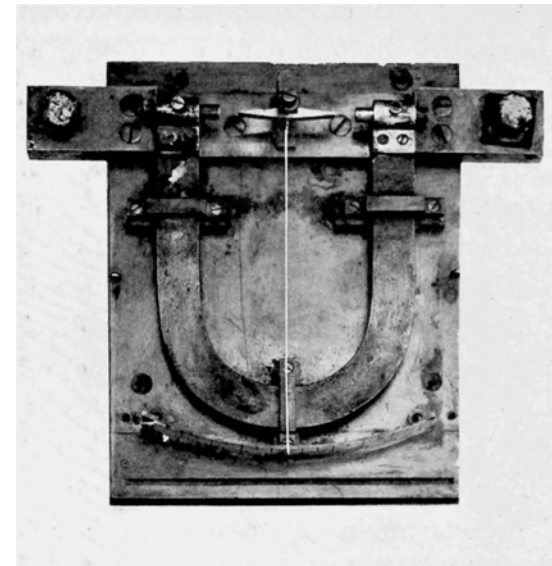
2

1. Teatro di Santa Radegonda, da *Teatri di Milano*, dis. e inc. L. Cherubini, Astaria e F., Milano 1860. Civica Raccolta delle Stampe A. Bertarelli, Milano.

2. Planimetria della centrale di Santa Radegonda tratteggiata, sovrapposta a quella del teatro, da G. Damiani, *Un glorioso cimelio che non è più*, "L'Energia elettrica", IV, 10, 1927. Biblioteca Nazionale Braidense, Milano.



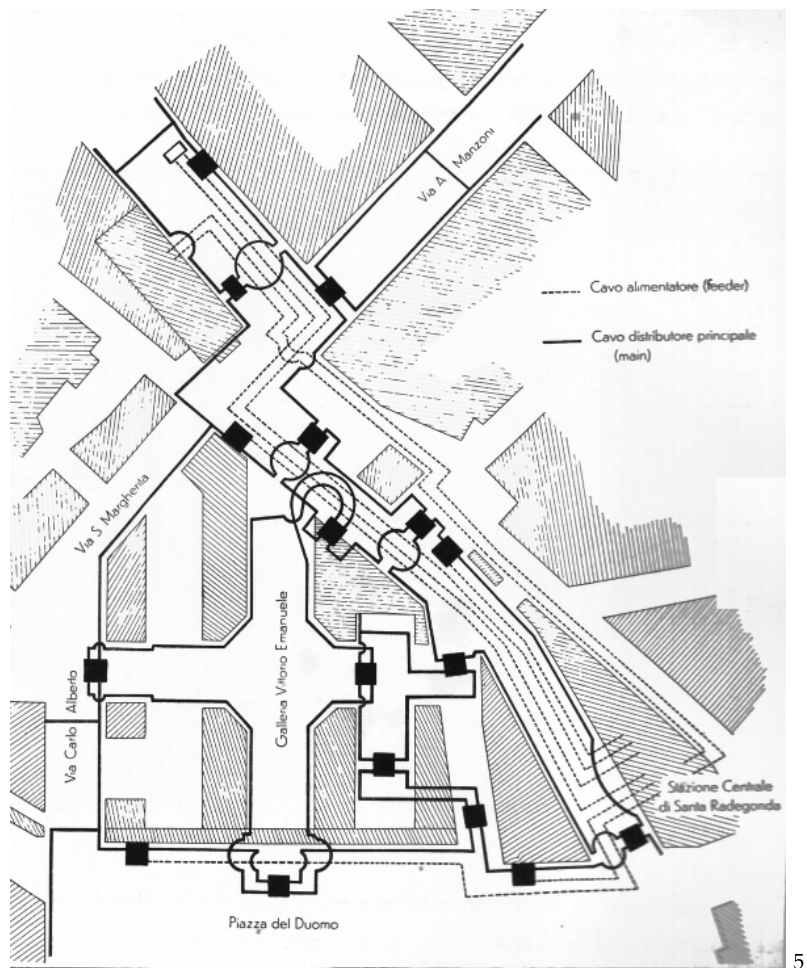
3



4

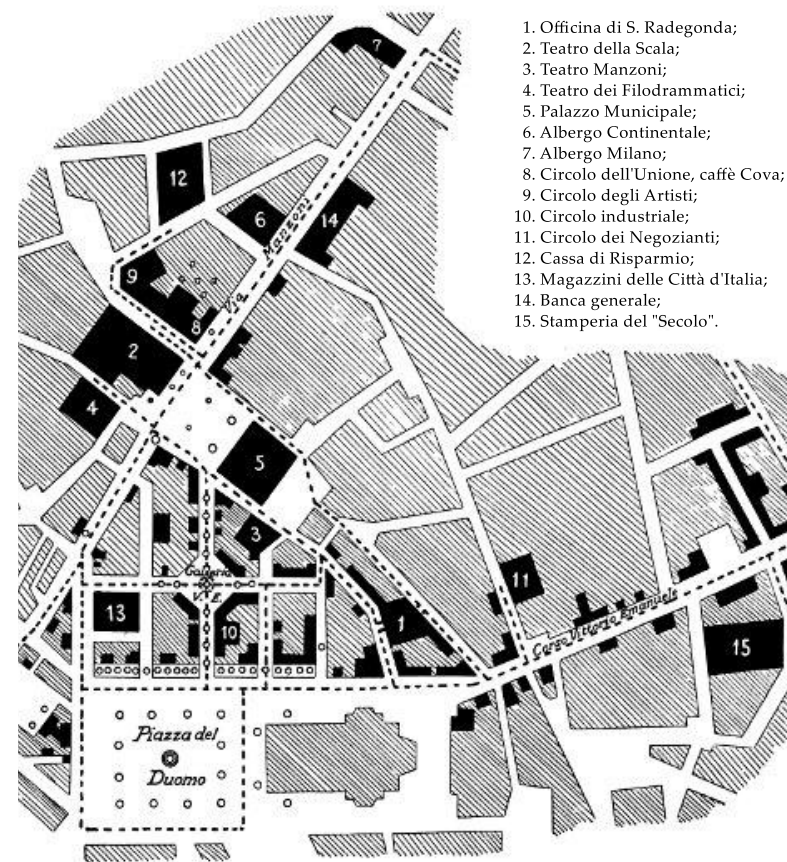
3. Il "caminone" della stazione di Santa Radegonda. Archivio Edison, Milano.

4. Amperometro realizzato su schizzo di Th. Edison, da *Nel Cinquantenario della Società Edison, 1884-1934*, vol. IV, Società Edison, Milano 1934.



5

5. La prima rete di distribuzione della Edison, 1883, da *Nel Cinquantenario ...*, cit.

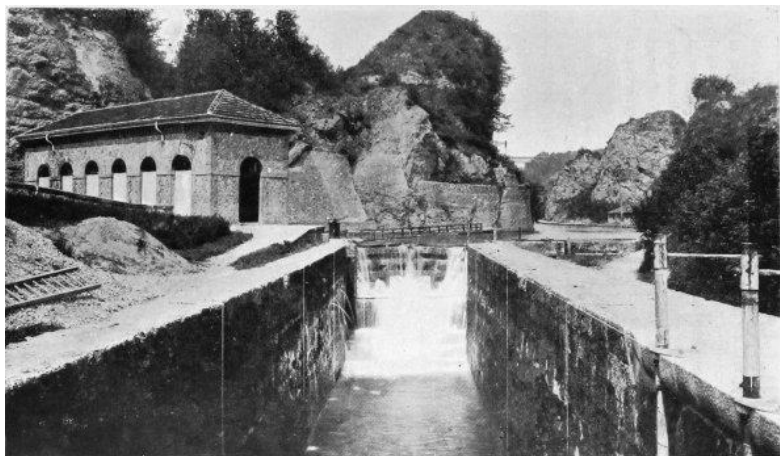


6

6. Impianti di luce elettrica alimentati dalla centrale di Santa Radegonda, da *Nel Cinquantenario ...*, cit.



7



8

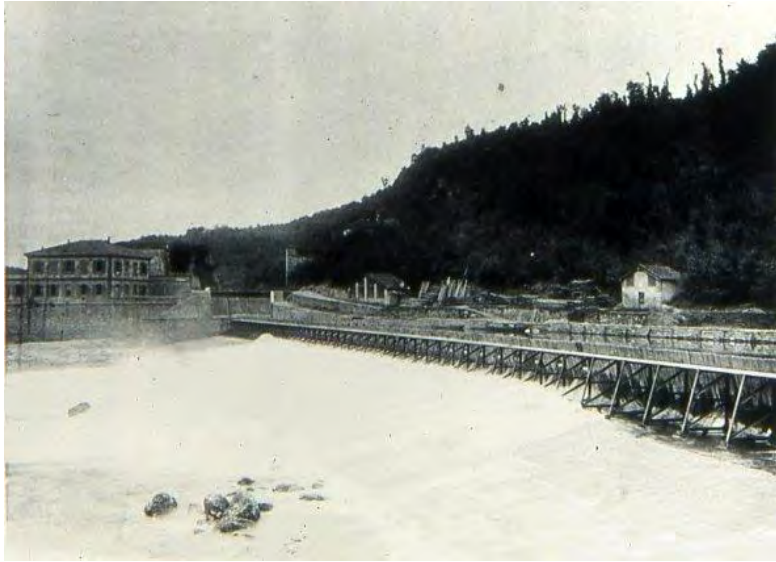
7. Canale di Péderno. Canale derivatore. Lavori di allargamento. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale Italiana Edison di Elettività Milano, Impianti Paderno-Milano*, s.l.n.d. [Bassani, Milano 1899]. Biblioteca Nazionale Braidense, Milano.

8. Conchetta del Naviglio di Paderno e presa del canale industriale della Edison, da G. Semenza, *Impianti Idroelettrici della Società Edison a Paderno*, in *L'Adda*, Tip. Figli della Provvidenza, Milano, 1911. Biblioteca Nazionale Braidense Milano.

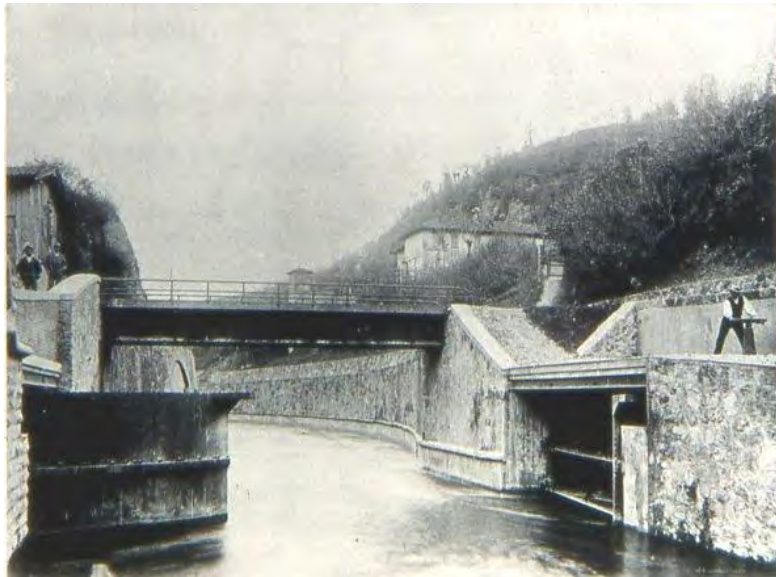


9

9. Sbocco della prima galleria durante i lavori. Montacarichi elettrico per sollevamento e trasporto delle materie d'escavo. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.



10



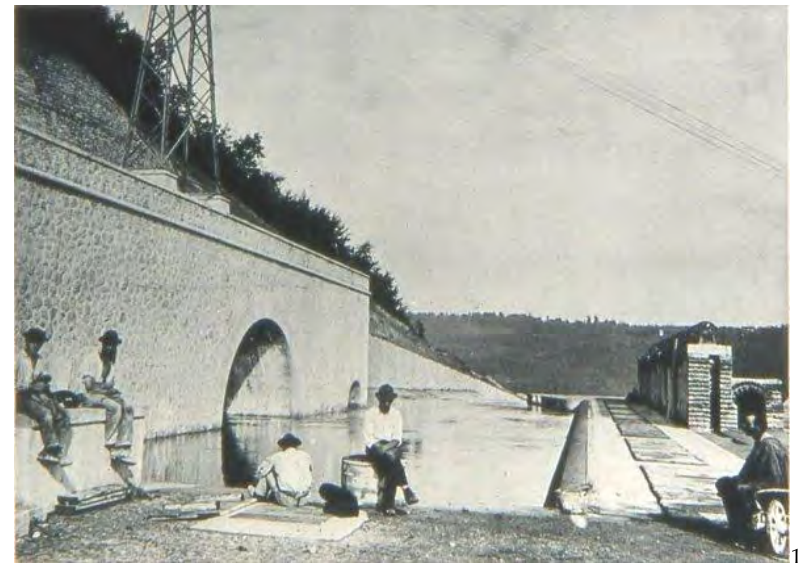
11

10. Diga e chiusa mobile attraverso il fiume Adda. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

11. Canale di ammissione. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.



12



13

12. Edificio di presa d'acqua del canale di ammissione. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

13. Sbocco della terza galleria. Bacino di carica. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.



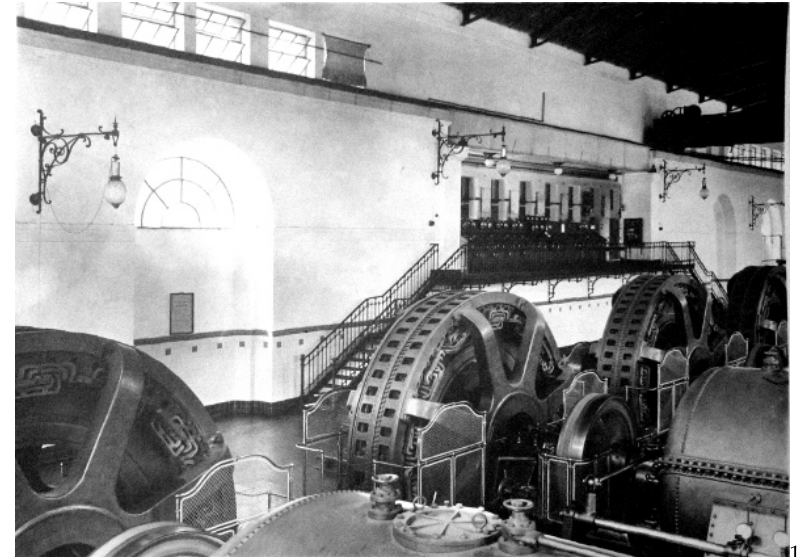
14



16



15



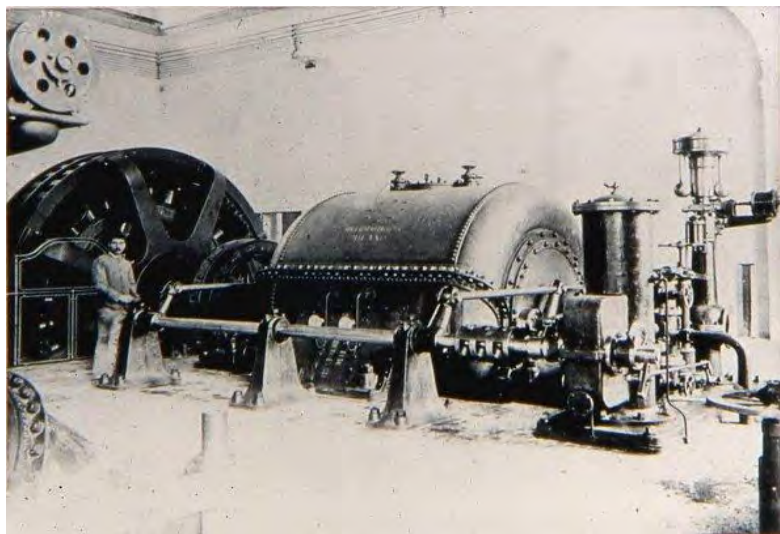
17

14. Diga e chiusa mobile attraverso il fiume Adda e scaricatore. Vista da monte. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

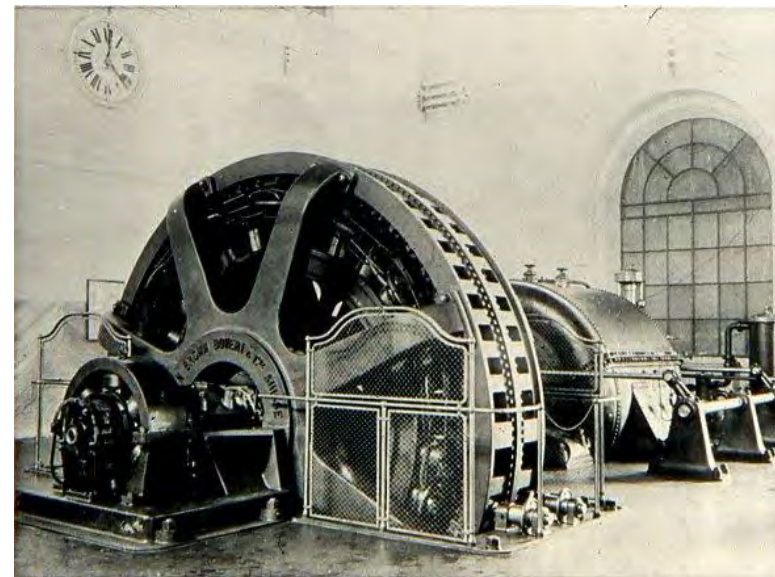
15. Vista d'assieme del bacino di carica e dell'officina generatrice. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

16. Grande sfioratore del bacino di carica. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

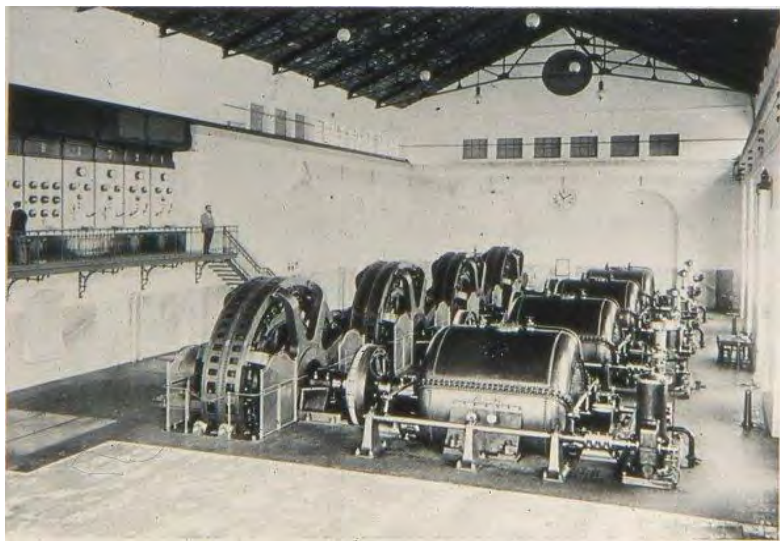
17. Interno della centrale. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.



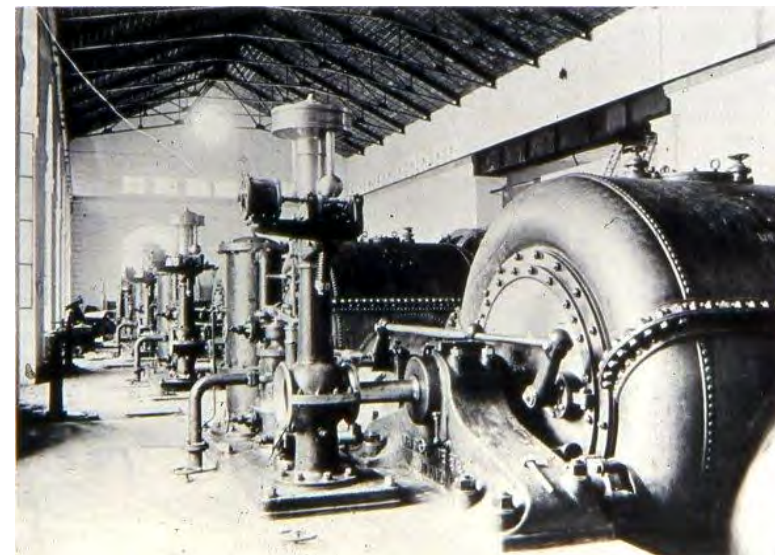
18



20



19



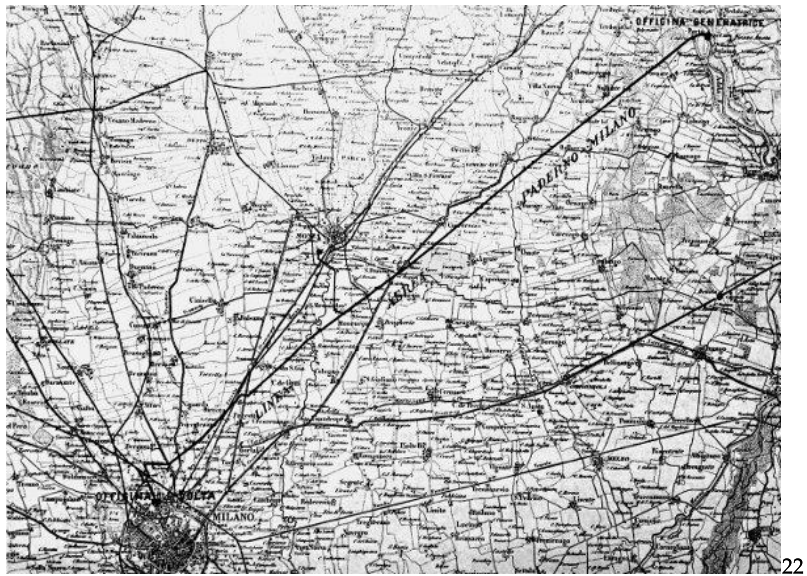
21

18. Officina generatrice. Gruppo turbina e alternatore da 2160 HP. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

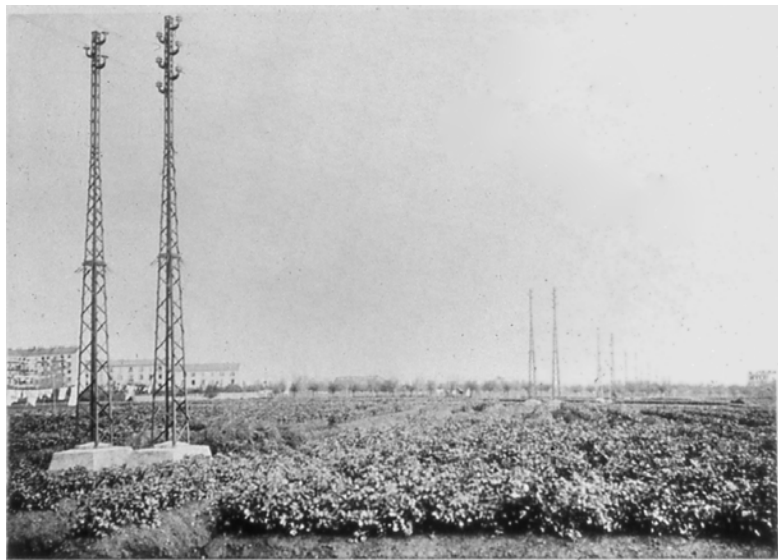
19. Officina generatrice. Sala delle macchine. F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

20. Officina generatrice. Gruppo turbina ed alternatore da 2160 HP alla tensione di 13.500-15.000 volt. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

21. Regolatori delle turbine. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

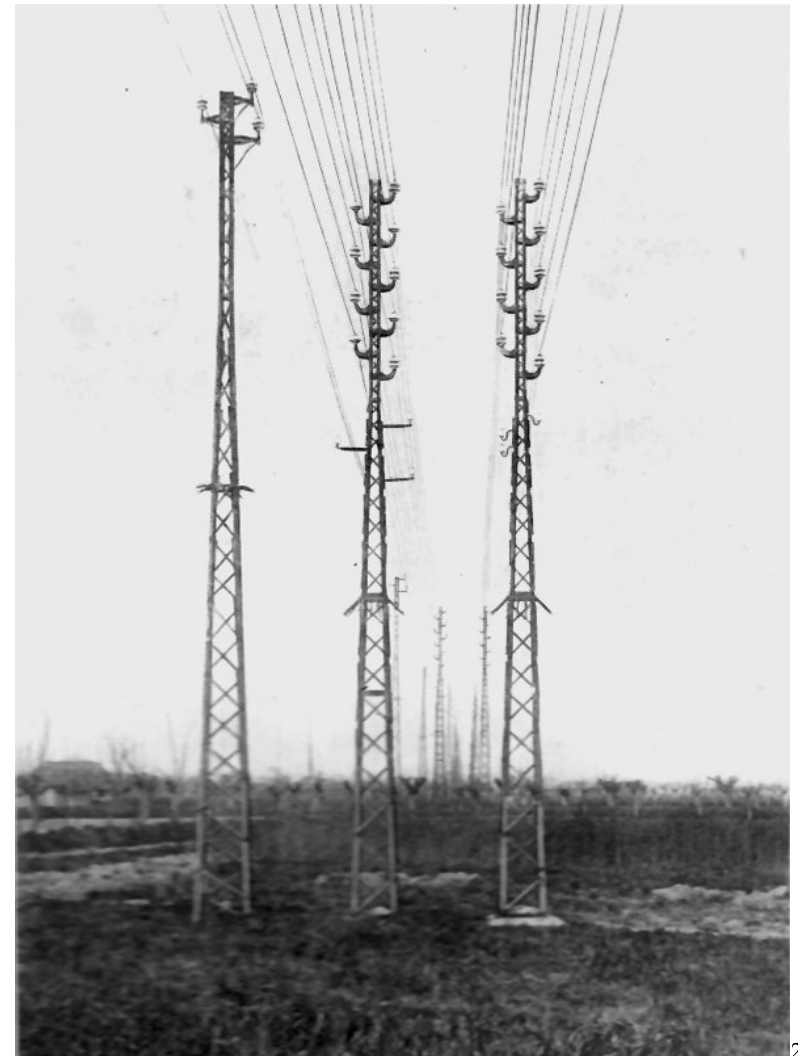


22



23

22. Linea aerea Paderno-Milano. Planimetria. Da *Società Generale ...*, cit.
23. Linea aerea Paderno-Milano. Tipo normale dei pali. F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

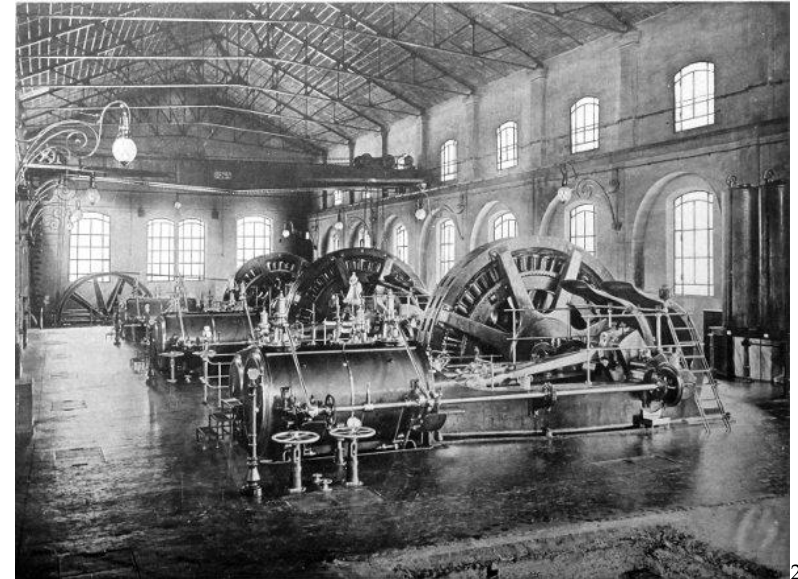


24

24. Linea Paderno-Milano, da *Nel Cinquantenario della Società Edison*, vol. IV, cit.



25



28



26



27



29

25. Linea aerea Paderno-Milano. Passarella per l'attraversamento della ferrovia Milano-Monza. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

26. Palo speciale all'entrata in Milano. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

27. Officina di Porta Volta. Entrata della linea aerea Paderno-Milano. Pali di amaraggio. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

28. Officina generatrice di Porta Volta. Sala delle macchine. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

29. Officina generatrice di Porta Volta. Gruppo macchina a vapore ed alternatore da 1000 HP. Foto F.lli Brizzi, da *Società Generale ...*, cit.

La corrispondenza Colombo-Edison prende inizio nell'estate del 1882 in occasione del soggiorno newyorkese di Colombo e si protrae fino al 1917 attraverso decine di lettere e cablogrammi tra i due protagonisti e i loro segretari. La selezione che qui presentiamo è stata ispirata dal criterio di documentare gli sforzi attuati nel biennio 1882-84 a Milano per la realizzazione e il perfezionamento della centrale termoelettrica pilota di Santa Radegonda, allora l'unico grande impianto in Europa per la distribuzione della luce elettrica. Dall'intenso scambio epistolare emerge sia il ruolo di tecnici americani come Edward G. Acheson e John William Lieb – quest'ultimo incaricato di sovrintendere ai lavori della centrale milanese – sia l'impegno per la realizzazione degli impianti da parte di Colombo. Inutile sottolineare quale legittimazione costituissero per la nuova tecnologia di Thomas A. Edison la sua applicazione a un luogo dotato di prestigio internazionale come il Teatro alla Scala.

Delle quattordici lettere trascritte e tradotte qui di seguito, tredici fanno parte del vasto epistolario tra Giuseppe Colombo e Thomas A. Edison (1847-1931) conservato negli archivi del Thomas Edison National Historical Park di West Orange, N. J., oggi riprodotti in edizione digitale nel sito *The Thomas A. Edison Papers*, Rutgers University (www.edison.rutgers.edu). A queste si aggiunge una lettera inviata da Th. Edison a Colombo il 18 novembre 1882 (vedi lettera VI) la cui copia non risulta inclusa nel copialettere dell'archivio dell'Edison Historical National Park. Essa è stata trascritta da una fotocopia conservata nell'archivio dell'attuale società Edison a Milano, insieme ad altre tre fotocopie di lettere di Edison pervenute a Colombo. Tali fotocopie sono state versate all'Archivio Edison da Giuseppe Pallavicini, che le aveva ricevute negli anni ottanta del secolo scorso dall'ingegner Francesco Corbellini, già presidente dell'Enel. Gli originali dai quali sono state riprodotte le fotocopie sono oggi, nel mese di luglio del 2013, irreperibili. La presenza, nel volume IV dell'opera *Nel Cinquantenario della Società Edison*, del 1934, della fotografia di una di queste lettere di Edison, indurrebbe a ritenere che essa fosse in possesso dell'azienda milanese.

Nel 1963, al momento della nazionalizzazione dell'energia elettrica, i documenti della Società Edison riguardanti le centrali elettriche sono stati però conferiti all'Enel, nei cui archivi la presenza di una corrispondenza tra Colombo e Edison non è a oggi riscontrabile, dato che l'Archivio storico dell'Enel a Napoli è in fase di riordino e non è consultabile.

(P. Redondi)

I.

G. Colombo alla Edison Electric Illuminating Co. of New York
23 agosto 1882*

The Edison Electric Illuminating
Company of New York
65 Fifth Avenue

New York, 23 August 1882

Dear Sir,

As it has been stipulated between the Company Continentale of Paris and the Edison Syndicate of Milan, that the Comp. Continentale will deliver to the Milan Syndicate the machinery and apparatus for electric lighting at cost-price, viz. at the same price that the Comp. Continentale pay[s] to Mr Edison, I should feel very much obliged to you if you will forward to my address, Fifth Ave. Hotel, Room 291, a list of prices for Dynamos, lamps, regulators ecc. M^r Clarke, told me that this was a particular business of M^r Edison and you because the Edison C.^y in New York has nothing to do with the special arrangements between M^r Edison and the Paris Company. I have been particularly requested by the Syndicate of Milan to send them the required price-list, in order to be able to make estimates, which they cannot do now with the necessary exactitude.

I beg pardon for the trouble and remain with the best thanks,

Yours truly
G. Colombo

* Autografa, Thomas A. Edison National Historical Park Archives, West Orange, N. J. (da qui in poi ENHP), ora in *The Thomas A. Edison Papers*, Rutgers University (www.edison.rutgers.edu), D8238ZCK; TAEM 62:468.

Caro Signore,

Secondo quanto stipulato tra la Compagnie Continentale di Parigi e il Comitato Edison di Milano, che cioè la Comp. Continentale consegnerà al Comitato di Milano il macchinario e le apparecchiature per illuminazione elettrica a prezzo di costo, ossia allo stesso prezzo che la Compagnie paga al Sig. Edison, Le sarei molto obbligato se potesse inviare al mio indirizzo, Fifth Av. Hotel, stanza 291, un elenco di prezzi di dinamo, lampade, regolatori, ecc. Il Sig. Clarke mi ha detto che questo competeva direttamente al Sig. Edison e a Lei, dato che la Edison Co. di New York non ha nulla a che vedere con gli accordi speciali tra il Sig. Edison e la Società di Parigi. Sono particolarmente sollecitato dal Comitato di Milano a inviare loro la lista di prezzi, in questione per poter fare delle stime finora impossibili a farsi con la necessaria precisione.

Mi scuso del disturbo e porgo i miei più vivi ringraziamenti

Suo dev.mo,
G. Colombo

II.

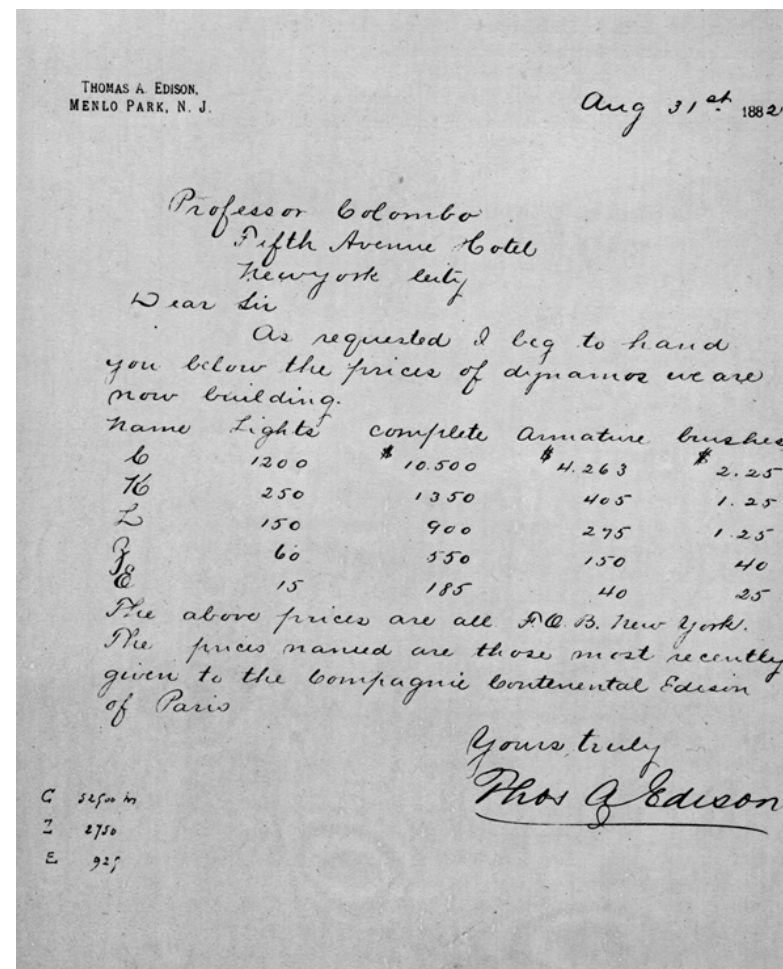
Th. A. Edison a G. Colombo
31 agosto 1882*

Thomas A. Edison
Menlo Park, N. J.

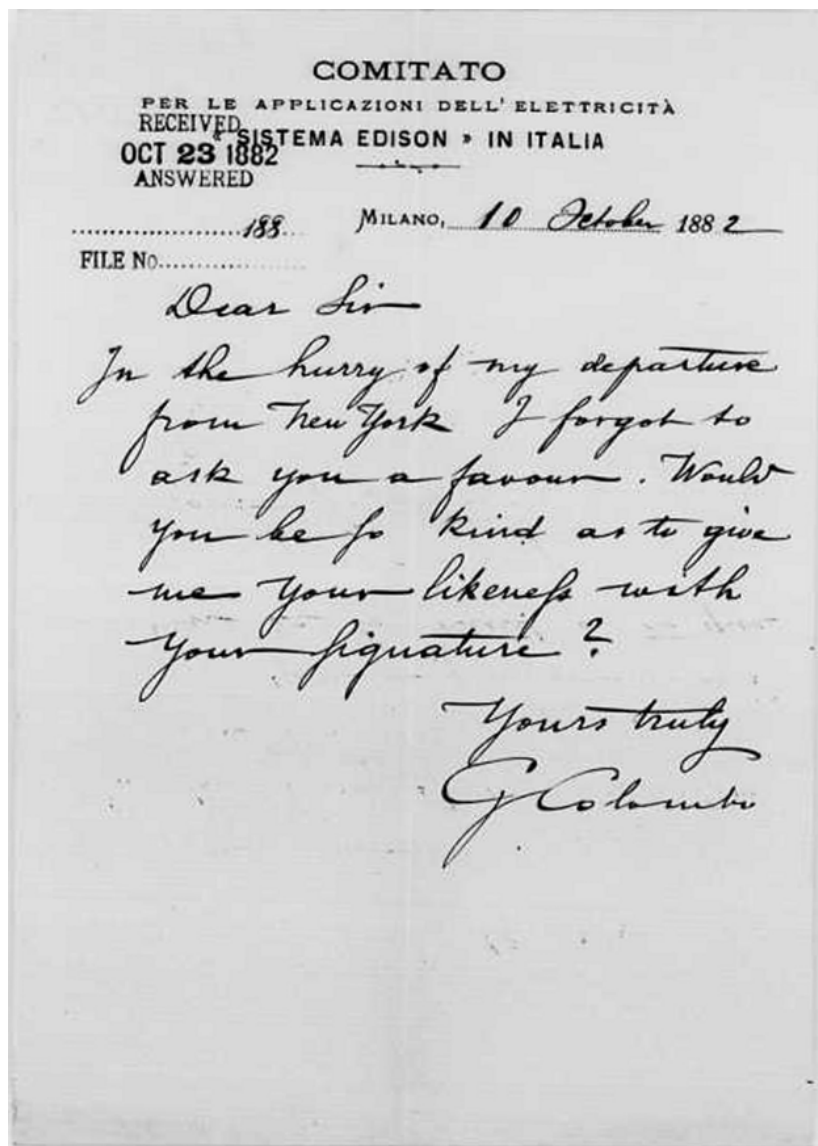
Aug 31st 1882

Professor Colombo
Fifth Avenue Hotel
New York City

* Fotocopia dell'originale autografo, Archivio Edison, Milano; copia in ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., LB014055; TAEM 81:842.



Th. A. Edison a G. Colombo, 31 agosto 1882. Da *Nel Cinquantenario della Società Edison, 1884-1934*, vol. IV, Società Edison, Milano 1934.



G. Colombo a Th. A. Edison, 10 ottobre 1882. Th. A. Edison National Historical Park Archives, West Orange, N. J.

Dear Sir,
As requested I beg to hand you below the prices of dynamos we are now building.

| Name | Lights | complete | Armature | brushes |
|------|--------|-----------|----------|---------|
| C | 1200 | \$ 10.500 | \$ 4.263 | \$ 2.25 |
| K | 250 | 1350 | 405 | 1.25 |
| L | 150 | 900 | 275 | 1.25 |
| Z | 60 | 550 | 150 | 40 |
| E | 15 | 185 | 40 | 25 |

The above prices are all F. O. B. New York.

The prices named are those most recently given to the Compagnie Continental[e] Edison of Paris.

Yours truly,
Thos A. Edison

C 52500 [...]
Z 2750
E 925

Caro Signore,

Come richiesto, vogliate trovare qui sotto i prezzi delle dinamo attualmente da noi prodotte.

| Nome | Luci | completa | Armatura | spazzole |
|-------|------|----------|----------|----------|
| [...] | | | | |

I prezzi succitati sono tutti franco a bordo New York.

I prezzi indicati sono quelli ultimamente stabiliti per la Compagnie Continentale Edison di Parigi.

Suo dev.mo,
Thos. A. Edison

III.

G. Colombo a Th. A. Edison
10 ottobre 1882*

COMITATO
PER LE APPLICAZIONI DELL'ELETTRICITÀ
«SISTEMA EDISON» IN ITALIA
Via Manzoni, 12A

Milano, 10 ottobre 1882

Dear Sir,

In the hurry of my departure from New York I forgot to ask you a favour. Would you be so kind as to give me your likeness with your signature?

Yours truly,
G. Colombo

Caro Signore,

Nella precipitazione della mia partenza da New York ho dimenticato di chiederLe un favore. Sarebbe così gentile da darmi una sua fotografia con la sua firma?

Suo dev.mo, G. Colombo

IV.

G. Colombo a Th. A. Edison
10 ottobre 1882**

* Autografa, timbro: Received Oct 23 1882 Answered. ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D8238ZDS; TAEM 62:539.

** Fotocopia dell'originale autografo, Archivio Edison, Milano, con il timbro "Received Oct 23 1882 Answered File No. 10". Originale autografo in ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D8238ZDT; TAEM 62:540.

COMITATO
PER LE APPLICAZIONI DELL'ELETTRICITÀ
«SISTEMA EDISON» IN ITALIA
Via Manzoni, 12A

Milano, 10 October 1882

Th. A. Edison Esq. — New York

Dear Sir,

It is a week that I am in Milan, and I have made in this interval all the preliminary arrangements for our Central Station. The construction of the Machine Hall and stack is progressing rapidly. I have arranged, in accord with M^r Acheson, everything connected with the illumination of the Scala, which will require 18 separate Carbon-regulators for the different groups of lights. We will make a study of them in order to satisfy all the conditions of the project and then we will either make them ourselves or send you a drawing to have them made by Bergmann & Co. I think we can overcome all the difficulties, but I do not conceal that the task is not an easy one.

If the tubes, boilers and apparatus ordered by me in N. Y. arrive in time, perhaps I shall succeed in lighting the Scala in the first days of January, but I do not assure such a result. You can aid me in this, by kindly paying your attention that everything be made and shipped with the greatest possible speed.

I beg now to make some questions, which I hope you will answer or have them answered by M^r Clarke by return of post.

1° As M^r Clarke promised me, I want a full account of the progress of the Pearl Street Station since my departure; whether you work now with more than one Dynamo, and what has been the practical result of the coupling of the governors. If this is as

good as your telegram sent to me in Paris induced me to believe, I beg M^r Clarke to send me a sketch and a description of it without delay. For the future I should be very grateful if you will send me detailed report of any improvement or modification in your system or in the Pearl S^t Station.

2° What section of Carbons do you think necessary to [adopt] for a regulator? Suppose, for instance, we have 100 lamps to regulate so to bring them down to a dull red by degrees, what the area of the total section of the Carbon rods must be in comparison with the area of the copper wire, to offer the same resistance when all rods are thrown in? Or in other words, what is the comparative resistance of carbon and copper? I found no satisfactory figures in the books about that.

3° What size would you advise me to adopt for a fan for 4 C Dynamos? Or else how much air a C Dynamo require at least, to keep it cool?

I have been to London, according to your desire, and inquired of Sir John Lubbock, but he was abroad in a tour in Switzerland. As he was not expected to be back in less than 15 days and I was summoned urgently back by my friends, I left London the following day and returned to Milan without touching Paris.

M^r Acheson is very useful and works hard. I cannot absolutely go on without him. I told him that you wished him to remain until our Station is regularly working, and he is quite willing to remain. I perceived that he should very much like to have an order from you, as I have informed you soon after my arrival in N. York. Will you be so kind as to write or cable him a few words to that effect?

I have cabled you today about that. I correspond regularly with M^r Patterson and he will come to Milan just in time to lay

down the first tubes shipped. About the end of November the Dynamos will be completely fixed, and I shall want M^r Lieb. He may therefore leave N. York towards the middle of November, as understood. As you have kindly promised me, you will fix yourself the terms for him during his stay in Milan.

There has been a misunderstanding, I think, about our fourth Dynamo. I have arranged with you to have the first of the 11 new Dynamos that were in course of construction in Goer[c]k Street. But it seems that the people in Paris were not aware of this arrangement because they sent us a Dynamo from Antwerp. I take it, or await your Dynamo? I should prefer this, on account of its being made for 140 lamps; but I will submit to your advice on this point.

I do not know whether M^r Bailey is still in N. York. If he is in N. York, please to salute him and tell that I am anxious to hear of his return to Europe on account of our correspondence with the Company of Paris.

I thank you cordially for your kindness toward me when I was in N. York, and beg you to recall me to M^{rs} Edison and to all your friends and especially to Messrs Johnson, Clarke, Kruesi, Insull and Patin.

Hoping to have news from you at your earliest convenience and counting always upon your aid for the success of our enterprise, I remain, dear Sir,

Yours faithfully
G. Colombo

PS Please to inform me what price have you definitely fixed with Messrs Babcock & Wilcox for our Boilers.

Caro Signore,

Sono a Milano da una settimana e in quest'intervallo ho preso tutti gli accordi preliminari per la nostra Stazione centrale.

La costruzione della sala macchine e del camino sta progredendo rapidamente.

In accordo col Sig. Acheson ho predisposto ogni cosa riguardante l'illuminazione della Scala, che richiederà 18 singoli regolatori di carbone per lampade ad arco per i differenti gruppi di luci. Faremo uno studio su di essi al fine di soddisfare tutte le condizioni del progetto e poi o li faremo noi stessi o Le invieremo un disegno affinché siano fatti costruire dalla Bergmann & Co. Penso che potremo superare tutte le difficoltà, ma non mi nascondo che il compito non è facile.

Se i tubi, le caldaie e le apparecchiature da me ordinati a New York arriveranno in tempo, forse riuscirò ad illuminare la Scala entro i primi di gennaio, ma non lo assicuro. Lei può aiutarmi in questo: prestando cortese attenzione che tutto sia fatto ed inviato il più rapidamente possibile.

Mi permetto di farLe alcune domande alle quali spero Lei risponderà o vorrà fare rispondere dal Sig. Clarke a giro di posta.

1) Come il Sig. Clarke mi ha promesso, desidero una relazione completa sull'avanzamento della Centrale di Pearl Street da quando sono partito; se oggi lavorate con più di una dinamo e qual è stato il risultato dell'accoppiamento dei regolatori. Se questo funziona bene, come il telegramma che mi avete inviato a Parigi mi ha indotto a credere, prego il Sig. Clarke di mandarmi senza indugio uno schizzo e una sua descrizione. Per il futuro sarò molto grato se m'inverrà informazioni dettagliate d'ogni miglioramento o modifica del vostro sistema o nella Centrale di Pearl Street.

2) Che sezione di carboni pensate necessaria per il regolatore? Supponiamo di avere, per esempio, 100 lampade da regolare in modo da portarle per gradi ad un colore rosso chiaro; quale deve essere la

sezione totale delle barrette di carbone, in rapporto alla sezione dei conduttori di rame, al fine di opporre la stessa resistenza quando tutte le barrette sono inserite? O, in altre parole, qual è la resistenza relativa del carbone e del rame? Non ho trovato cifre soddisfacenti nei libri che ne trattano.

3) Che dimensioni mi consigliate di adottare per il ventilatore per 4 dinamo tipo C, altrimenti detto: quanta aria richiede al minimo una dinamo tipo C perché non si surriscaldi?

Sono stato a Londra, secondo i Suoi desideri, e ho chiesto di Sir John Lubbock, ma si trovava all'estero per un viaggio in Svizzera. Siccome non sarebbe tornato prima di 15 giorni ed essendo stato convocato con urgenza dai miei amici, ho lasciato Londra il giorno successivo e sono tornato a Milano senza passare per Parigi.

Il Sig. Acheson è molto utile ed è un gran lavoratore, non posso assolutamente procedere senza di lui. Gli ho detto che Lei preferirebbe che rimanesse finché la nostra Centrale non sarà completamente funzionante e Lui è perfettamente d'accordo di rimanere. Ho però intuito che gradirebbe ricevere un ordine da Lei, come Le ho detto subito dopo il mio arrivo a New York. Sarebbe così gentile da scrivergli o telegrafargli poche parole a questo riguardo?

Le ho mandato oggi un telegramma in proposito.

Corrispondo regolarmente col Sig. Patterson che verrà a Milano giusto in tempo per posizionare i primi tubi inviatici. Verso la fine di novembre le dinamo saranno completamente ancorate e avrò bisogno del Sig. Lieb. Egli può quindi lasciare New York verso la metà di novembre, come d'accordo. Come Lei mi ha gentilmente promesso vorrà Lei stesso stabilire i termini economici della sua presenza a Milano.

Penso che ci sia stato un equivoco sulla nostra quarta dinamo. Io avevo stabilito con Lei d'averla la prima delle 11 nuove dinamo in costruzione in Goerck Street. Ma sembra che le persone di Parigi non

fossero a conoscenza di questa disposizione perché mi hanno mandato una dinamo da Anversa. La tengo oppure aspetto la Vostra dinamo? Io preferirei tenere questa perché da 140 lampade, ma mi atterro al Suo parere in merito.

Non so se il Sig. Bailey si trovi ancora a N. York. Se è a N. York La prego di salutarlo e di dirgli che sono ansioso di sapere del suo ritorno in Europa, dati i nostri rapporti con la Compagnia di Parigi.

La ringrazio cordialmente per la Sua gentilezza nei miei riguardi durante la mia permanenza a N. York e La prego di ricordarmi alla Sig.a Edison ed a tutti i Suoi amici e specialmente ai Sigg. Johnson, Clarke, Kruesi, Insull e Patin.

Sperando di avere Sue notizie e contando sempre sul Suo aiuto per il successo della nostra impresa.

*Distinti saluti,
G. Colombo*

P.S. Voglia comunicarmi il prezzo definitivamente fissato per le nostre caldaie con i Sigg. Babcock & Wilcox.

V.

Th. A. Edison a G. Colombo
17 novembre 1882*

Thomas A. Edison
No. 65 Fifth Avenue New York, 17th Nov. 1882

Prof. G. Colombo
Milan. Italy

* Fotocopia dell'originale autografo, Archivio Edison, Milano; copia in ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., LB014442; TAEM 81:1015.

Dear Sir,

Your letter of 10th October would have been answered before but for the fact that M^r Clarke has been away recuperating his health after the extreme exertion consequent on the experiment at the Central Station.

M^r Clarke says that M^r Patin has kept you fully posted as to the work at the Central Station. Everything there is now working perfectly, and we know machines in and out without any trouble whatever.

The supplies for your work at Milan were pushed onward as rapidly as possible. There was great delay in the first shipments but this was owing to the bad steamer service to the Mediterranean. Almost all your tubes have now been shipped. The work at Bergmann and Co. is almost finished. The regulation of the field apparatus will go tomorrow.

I enclose you herewith memorandum with curves of calculations from M^r Clarke which will supply you with the information you ask for.

I also enclose you the contract for the Boilers. If you have not received them yet please communicate with Babcock & Wilcox 107 Hope Street Glasgow Scotland.

I think we will let the Dynamo matter stand just as it is. The Societe Electrique Edison has already taken two more large Dynamos from me. The two machines have attached to them the Armington & Sims Engines which are vastly superior in every way to the Porter-Allen Engines. The former do not require any coupling arrangement to be attached to the regulator and govern [absolutely?] perfect under the most varying conditions.

The economy of running them will be considerably greater than that of Porter-Allen. In fact the Armington Engine is the one thing requisite to make our Central Station complete.

We have not had one single stoppage at our Central Station since we started Sept. 4th. We have now 142 consumers connected with 3300 lights and we are cutting in about 100 lights per day.

M^r Lieb leaves here for Milan on the Alaska on Tuesday next 21th nov. The terms I have arranged with him are as follows. He is to receive his travelling expenses to and from Milan and while there the amount of his living expenses (not to exceed \$ 15 per week) and a salary at the rate of \$ 1500⁰⁰ per year. If after you have got through with him, and he is required anywhere else, some fresh arrangement as to remunerate must be made with. It is of course understood that I only lend M^r Lieb. If he should be required for other services after he has got through at Milan, my permission must be obtained.

Yours truly
Thos. A. Edison

Caro Signore,

Avrei risposto prima alla Sua lettera se il Sig. Clarke non fosse stato assente per rimettersi in salute, dopo l'estrema fatica conseguente all'esperimento della Stazione Centrale.

Il Sig. Clarke dice che il Sig. Patin l'ha tenuta costantemente informata sui lavori della Stazione Centrale. Ogni cosa ora funziona perfettamente qui e conosciamo il macchinario dentro e fuori senza inconvenienti di nessun tipo.

Le forniture per la Sua officina a Milano sono state portate a termine il più rapidamente possibile. C'è stato un forte ritardo nelle prime spedizioni, ma ciò è dipeso dall'insufficiente servizio di piroscafi per il Mediterraneo. Quasi tutti i vostri tubi sono stati spediti, il lavoro presso la Bergmann e Co. è quasi finito. La regolazione delle apparecchiature da campo partirà domani.

Accludo il memorandum con curve di calcoli da parte del Sig. Clarke che Le fornirà l'informazione che chiede. Accludo anche il contratto per le caldaie. Se non Le ha ancora ricevute La prego di mettersi in contatto con la Babcock e Wilcox – 107 Hope Street – Glasgow, Scotland.

Penso che lasceremo la questione della dinamo così com'è. La Société Électrique Edison ha già ottenuto da me due dinamo più grandi. Le due macchine sono collegate a motrici Armington & Sims, di gran lunga superiori sotto ogni profilo alle motrici Porter-Allen. Le prime non richiedono alcun aggiustaggio d'accoppiamento per essere allacciate al regolatore e per comportarsi [in modo assolutamente?] perfetto nelle più diverse condizioni. Il risparmio che si otterrà grazie al loro impiego sarà considerevolmente maggiore che con le Porter-Allen. In realtà, la motrice Armington è la sola cosa necessaria per rendere completa la nostra Stazione Centrale.

Non abbiamo avuto neppure un solo arresto da quando la nostra Centrale ha cominciato a funzionare il 4 settembre. Abbiamo 142 utenti allacciati con 3.300 lampade ed attualmente stiamo collegando circa 100 nuovi utenti al giorno.

Il Sig. Lieb partirà con la nave Alaska martedì venturo 21 novembre. Le condizioni che ho concordato con lui sono le seguenti: riceverà il rimborso delle spese di viaggio per e da Milano e una volta lì il rimborso delle spese di soggiorno (non superiori a 15 \$ la settimana) ed uno stipendio di 1.500 \$ l'anno. Se poi Lei non avrà più bisogno di lui ed egli sarà richiesto altrove, si dovranno prendere nuovi accordi riguardo alla sua remunerazione. Resta inteso che ho solo prestato il Sig. Lieb. Qualora egli fosse richiesto per altri servizi, dopo aver terminato a Milano, dovrà avere il mio consenso.

Suo dev.mo
Thos. A. Edison

VI.

Th. A. Edison a G. Colombo
18 novembre 1882*

Thomas A. Edison
No. 65 Fifth Avenue

18th nov. 1882

Professor G. Colombo
Milan. Italy

Dear Sir,

By request of the Societe Electrique Edison of Paris, I send you herewith statement of contents of the Dynamos shipped to Genoa. I understand that you also have a Dynamo which was in the first place shipped to Antwerp. I accordingly also send you a statement of the content of this shipment.

Truly yours
Thos. A. Edison

Caro Signore,

Dietro richiesta della Société électrique Edison di Parigi, Le invio qui accluso un rendiconto delle Dinamo spedite a Genova. Da quanto capisco, Lei ha anche una Dinamo originariamente spedita ad Anversa. Vi invio pertanto anche un rendiconto di questo invio.

Suo dev.mo,
Thos. A. Edison

* Fotocopia, originale autografo non identificato, Archivio Edison, Milano.

VII

Th. A. Edison a G. Colombo
6 dicembre 1882*

Dec. 6th 2

Dear Sir,

I enclose you herewith letter addressed to me by Mr Cha.^s T. Porter and also copy of a letter which he writes me he has addressed to you.

There is no truth whatever in M^r Porter's statements. The engines we have received from the Southwark Foundry and Machine Co. are not in accordance with contract and as soon as we can get other Engines we are going to take the Porter engines out of our Central Station here.

Yours truly,
Thos. A. Edison

Caro Signore,

Qui acclusa una lettera inviatami da Ch. T. Porter e anche copia di una lettera che mi scrive averLe spedito. Non c'è nulla di vero nelle affermazioni di Porter. Le motrici che abbiamo ricevute dalla Southwark Foundry and Machine Co. non sono conformi al contratto e non appena potremo avere altre motrici toglieremo le Porter dalla nostra Stazione centrale.

Suo dev.mo,
Thos. A. Edison

* Copia, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit. LBO15007; TAEM 82:30.

VIII

Th. A. Edison a G. Colombo
16 gennaio 1883*

Thomas A. Edison
No. 65 Fifth Avenue

16th Jan^y 1883

Professor G. Colombo
Milan. Italy

My Dear Sir,

Referring to my several cables to you confirmed elsewhere I beg to state that at our Central Station here we are running three Armington & Sims Engines and three Porter-Allen engines together. We don't use any device for coupling the Governors as we find that the Armington & Sims engines run perfectly steady, without any such coupling device but they also steady. The Porter-Allen engines at the same time prevent their running away. In short we run three A. & S. engines and three P.-A. engine together without any flickering of lights and without any mechanism to connect the Governors.

Yours truly,
Thos A. Edison

Mio caro Signore,

Facendo seguito ai vari cablogrammi a Lei inviati e riscontrati altrove, mi pregio di attestare che qui nella nostra Stazione Centrale stiamo facendo funzionare tre motrici Armington&Sims insieme a tre macchine Porter-Allen. Non usiamo alcun sistema per

* Copia, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., LBO15160; TAEM 82:89.

accoppiare i regolatori dal momento che troviamo che le motrici Armington&Sims funzionano in modo perfettamente regolare senza sistemi di accoppiamento di sorta, ma regolarizzano anche le motrici Porter-Allen e impediscono allo stesso tempo che vadano per conto loro. In breve, facciamo funzionare insieme tre macchine A. & S. e tre macchine P.-A. senza che si produca alcun tremolio delle lampade e senza alcun meccanismo per connettere i regolatori.

*Suo dev.mo,
Thos. A. Edison*

IX.

Th. A. Edison a G. Colombo
12 giugno 1883*

June 12th, 1883

Prof. G. Colombo
Via Manzoni 12 A
Milan, Italy.

Dear Sir,

I would suggest that you should put safety catches on BOTH POLES in the street boxes of all kinds and in the station on the feeders and dynamos. We have had troubles here in New York from not having this done, there having been a combination of circumstances whereby a cross occurred beyond the influence of the safety catches, which heretofore have only been on one pole.

Very truly yours,

* Copia dattiloscritta, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit. D8316AAL; TAEM 64:743.

Caro Signore,

Suggerirei di mettere dispositivi di sicurezza su entrambi i poli in ogni tipo di cassette stradali e sugli alimentatori e dinamo nella centrale. Abbiamo avuto problemi qui a New York per non averlo fatto, per via di una combinazione di circostanze si è prodotto uno scambio di polarità senza che potessero impedirlo i dispositivi di sicurezza, che prima d'ora sono stati messi solo su uno dei poli.

Suo dev.mo,

X.

Th. A. Edison a G. Colombo
6 luglio 1883*

July 6th. 3

Prof. G. Colombo
via Manzoni, 12 A
Milan, Italy.

Dear Sir,

I beg to confirm receipt of your cable of the 29th June as follows: "Inaugurated yesterday station illuminating Theatre great success."

It affords me very great pleasure to congratulate you upon the successful inauguration of my central station system in Milan, and I trust that your station will be fully a successful as ours is in New York.

Very truly yours,

* Copia dattiloscritta, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D8316AEY; TAEM 64:884.

Caro Signore,

Mi pregio di confermare ricevimento del suo cablogramma del 29 giugno: "Inaugurata ieri stazione illuminazione Teatro [Manzoni] grande successo."

Ciò mi dà il grande piacere di congratularmi con Lei per il successo dell'inaugurazione del mio sistema di Stazione centrale a Milano, e confido che la sua stazione sia pienamente un successo quanto la nostra a New York.

Suo dev.mo,

XI.

G. Colombo a Th. A. Edison
4 settembre 1883*

COMITATO
PER LE APPLICAZIONI DELL'ELETTRICITÀ
«SISTEMA EDISON» IN ITALIA
Via Manzoni, 12A

Milano, 4th Sept. 1883

Th A. Edison Esq.
New York

Dear Sir,

We beg to confirm our telegram of today: "Ship breaker uprights for C dynamo cable when can deliver other C dynamo".

The breaker and uprights are destined for the C dynamo

* Autografa, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D-8337ZDZ; TAEM 67:856.

supplied to us by the Compagnie Continentale from their depot of Antwerp. This dynamo must be erected within the month of October, and we hope you will be able to ship breaker and uprights soon enough to be used and set up at the same date. Shipping them on board a steamer sailing directly from New York to Genoa will save at least 15 days.

It is extremely probable that we may find convenient to add a sixth dynamo to our Central Station. Therefore we ask you by cable when you will be able to ship a C dynamo (with corresponding breaker and uprights). If you can deliver the machine in good time and the price will be found convenient, we will most probably cable you the order within a week or two.

We hope you will ship, according to your cable, the 400 Ampère machine on the 7th inst. We shall be obliged to supply us by return of post all the data concerning this machine, viz. speed, resistance, etc. After having experimented it, and found good, it is probable that we may order another.

You will please at the same time to give us some information about the 90 Ampère machine, because we want to order some. And in general any information you may give us about all the types of machines and other apparatus made or used after our M^r Colombo's visit to NYork, will be of great use for us. M^r Batchelor informed us about a new meter and also about a recording Amperometre or indicator of the number of lamps worked by the Station, but we know nothing about their results, practical applicability, price, etc. and should be glad to have more detailed information.

In our Station we have adopted as standard lamps the A lamps of 102 Volts (for no other reason that the majority of our stock was of such lamps). Please to ship directly to Genoa 2000 (two thousand) A lamps of 102 Volts, carefully packed, in order

to avoid the extraordinary breakage of the 100 candles lamps, of which 13 were broken in five dozens.

Our Station is working well, although progressing slowly, because of the time required by the wiring of the installations. We have obtained the order to light the Theatre della Scala (2450 lamps A and B) and with this and other installations the affair seems to make a satisfactory turn.

Awaiting your earliest reply, we remain, dear Sir

G. Colombo

Caro Signore,

Ci pregiamo di confermare il nostro telegramma di oggi: "Spedire interruttore e supporti per dinamo C. Inviare cavo quando potete consegnare altre dinamo C". L'interruttore e i supporti sono destinati alla dinamo C fornitaci dalla Compagnie Continentale dal loro deposito di Anversa. Questa dinamo deve essere istallata entro ottobre, e noi speriamo che potrà spedire interruttore e supporti in tempo per farne uso e installarli entro quella data. Spedendoli con un vapore che faccia rotta direttamente da New York a Genova si guadagneranno circa 15 giorni.

È molto probabile che possa esserci utile aggiungere una sesta dinamo alla nostra Stazione Centrale. Le chiediamo pertanto per cablogramma quando sarà in grado di spedire una dinamo C (con i relativi interruttore e supporti). Se può consegnare la macchina in tempo e se il prezzo sarà conveniente, è molto probabile che invieremo per cablogramma l'ordine di acquisto entro una o due settimane.

Speriamo che vorrà spedire, come dal suo cablogramma, la macchina da 400 ampère entro il 7 corrente. Le saremo obbligati di volerci fornire a giro di posta tutti i dati di questa macchina, ossia velocità,

resistenza, ecc. Dopo averla provata e trovata buona, è probabile che ne potremo ordinare una. Ci vorrete gentilmente dare allo stesso tempo alcune informazioni sulla macchina da 90 ampère perché ne vorremmo ordinare qualcuna. E in generale ogni informazione che ci può dare su ogni nuovo tipo di macchine e altri apparati fatti o usati dopo la visita a New York del Sig. Colombo ci sarà molto utile. Il Signor Batchelor ci ha informato su un nuovo contatore e anche su un amperometro registratore o indicatore del numero di lampade alimentate dalla Stazione, ma non sappiamo nulla riguardo ai suoi risultati, alla sua applicabilità pratica, al prezzo e saremmo lieti di ricevere informazioni più particolareggiate.

Nella nostra Stazione abbiamo adottato come lampade base delle lampade A da 102 Volt (per la semplice ragione che la maggioranza delle lampade del nostro stock era di questo tipo). Vogliate spedire direttamente a Genova 2000 (duemila) lampade A da 102 Volt, accuratamente imballate onde evitare la straordinaria rottura delle lampade da 100 candele, 13 delle quali risultavano rotte su cinque dozzine.

La nostra Stazione sta funzionando bene, per quanto avanziamo lentamente a causa del tempo necessario per l'installazione dei fili. Abbiamo ottenuto l'incarico di illuminare il Teatro della Scala (2450 lampade A e B) e con questa ed altre installazioni l'affare sembra prendere una piega soddisfacente.

*In attesa della vostra sollecita risposta, caro Signore,
distinti saluti,
G. Colombo*

XII.

G. Colombo a Th. A. Edison
4 ottobre 1883*

COMITATO
PER LE APPLICAZIONI DELL'ELETTRICITÀ
«SISTEMA EDISON» IN ITALIA
Via Manzoni, 12A

Milano, 4th Oct. 1883

Dear Sir,

We are in possession of your esteemed favours of the 21st ult. and confirm our cable of yesterday: "Your accounts settled Paris".

We think better to send always funds to Paris for all payments to be made to you and we have disposed accordingly in this instance also, for payment of material ordered lately to you. However, if you prefer to have the payment directly, you can follow the system used for our first orders and draw upon C. I. Hambro et fils – London for the amount of goods shipped, against delivery of B.O.L. giving us notice of the shipping by cable.

We expect therefore to be noticed within a few days that you have shipped the H machine and also the 2000 A lamps (from 100 to 104 Volts) which, according to your cables, we hoped to have sooner.

We should be obliged if you will ship at the same time not only the circuit-breaker and uprights ordered by cable, but also another set of them, as spare ones.

* Autografa, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D8337ZEO; TAEM 67:885.

We thank you for your kind information about the C dynamo; but as we could not wait such a long time as you asked for delivering it, we have accepted the offer of a C dynamo existing in the Depot of Antwerp, made to us by the Compagnie Continental[e]. For this and the 5th C dynamo, supplied recently to us by the same Comp.^e Continentale out of the Antwerp Depot we will utilize the two spare regulators sent by you in addition to the regulators for the first four dynamos. The two sets of circuit-breakers and uprights ordered above, will serve for the 5th and 6th dynamo, besides the spare set already sent with the first machines.

We have written yesterday to the Ausonia Comp.^y offering the same terms of payment used with you, viz. drawing upon London for the amount.

We have sent to Bergmann & Co. upon suggestion of M^r Bailey, two sockets out of the 500 of the last shipment. We have found them roughly made besides the general defects of the new model of key-sockets, that we will not take them without a reduction in the price of not less than 50%.

We have taken note of the details you have kindly given us about the new machines you are preparing and hope to be able to give you some orders, especially if you will inform us about their price, size, speed etc. We hope also to order you within a few months at least two "C" dynamos, as soon as the lighting of the Scala will prove to be successful as we trust it will.

For your guidance, whenever we order anything directly to you, we inform regularly the Compagnie Continentale

We will resume by giving you some more details of our Central Station in addition to those sent you in our last letter. We light now regularly the Teatro Manzoni, which is considered by everybody to be a very fine specimen of electric lighting in a

theatre. We have at present 1100 A lamps on, working from 5¹/₂ to 1¹/₂ in the night, with two dynamos, one Armington and one Porter. Every thing goes right under the direction of M^r Lieb, who is very active and intelligent, but the engines have given and give still much trouble. We hope however that little by little this difficulty will be overcome.

We have ordered the Amperometer you have given the detail of to M^r Lieb. We have also experimented for a long time upon the meters, and have now them on for the first time in 8 or 10 installations.

We remain, dear Sir
G. Colombo

Caro Signore,

Ci sono pervenute ora le vostre stimate del 21 u.s. e confermiamo il nostro cablogramma di ieri: "Vostre fatture saldate Parigi". Riteniamo meglio spedire sempre a Parigi i versamenti per tutti i pagamenti da farLe e abbiamo di conseguenza disposto così anche in questo caso per il pagamento dei materiali ultimamente ordinati. Se tuttavia preferisce ricevere direttamente il versamento, può seguire il sistema usato per i nostri ordini iniziali e addebitare il conto alla banca C. I. Hambro et fils – Londra per il quantitativo di merci spediti, contro consegna di B.O.L., informandoci per cablogramma della spedizione.

Attendiamo dunque comunicazione nei prossimi giorni dell'invio della macchina H e anche di 2000 lampade A (da 100 a 104 Volt) che in base ai Suoi cablogrammi speravamo di ricevere prima.

Le saremmo obbligati se volesse spedire allo stesso tempo non solo l'interruttore generale e i supporti ordinati per cavo, ma anche un altro gruppo di entrambi, come scorta.

La ringraziamo delle Sue gentili informazioni circa la dinamo C,

ma dato che non potevamo attendere tanto come da Lei richiesto per consegnarcela, abbiamo accettato l'offerta di una dinamo C presente nel magazzino di Anversa fattaci dalla Compagnie Continentale. Per questa e per la 5^a dinamo da poco fornitaci dalla stessa Compagnie Continentale a partire dal magazzino di Anversa, utilizzeremo i due regolatori di riserva speditici in aggiunta ai regolatori per la prime quattro dinamo. I due insieme di interruttore e innesti ordinati sopra serviranno per la 5^a e la 6^a dinamo, oltre all'insieme di scorta precedentemente inviato con le prime macchine.

Abbiamo scritto ieri alla Compagnia Ausonia offrendo gli stessi termini di pagamento adottati con Lei, ossia addebitando sul conto a Londra per il quantitativo ordinato.

Abbiamo spedito a Bergmann & C., su suggerimento del Sig. Bailey, due portalampane appartenenti ai 500 dell'ultima spedizione. Li abbiamo trovati realizzati in modo così approssimativo, oltre ai difetti generali che presenta il nuovo modello di portalampane a chiavetta, che non li prenderemo a meno di uno sconto di non meno del 50%.

Abbiamo preso nota dei dettagli che ci ha gentilmente fornito sulle nuove macchine che sta preparando e speriamo di poterne ordinare qualcuna, specialmente se ci informerà sul loro prezzo, dimensione, velocità ecc. Speriamo inoltre di ordinarLe entro pochi mesi almeno due dinamo "C", non appena l'illuminazione della Scala sarà stata realizzata con successo, come confidiamo.

Tenga conto che, ogniquale volta facciamo un ordine direttamente a Lei, ne informiamo sempre la Compagnie Continentale.

Ricapitoleremo dandoLe maggiori particolari sulla nostra Stazione centrale in aggiunta a quelli inviati nella nostra ultima lettera. Attualmente illuminiamo con regolarità il Teatro Manzoni, giudicato da tutti come un magnifico modello di illuminazione elettrica in un teatro. Al momento abbiamo in funzione 1100 lampade A, attive dalle 17.30 alla 1.30 di notte, con due dinamo, una Armington e una Porter.

Tutto procede bene sotto la direzione del Sig. Lieb, che è molto attivo e intelligente, ma le macchine hanno dato e danno ancora parecchi problemi. Speriamo comunque che poco a poco queste difficoltà saranno superate. Abbiamo ordinato l'amperometro di cui ha dato i dettagli al Sig. Lieb. Abbiamo inoltre provato a lungo i contatori e li abbiamo adesso messi per la prima volta in funzione in 8-10 installazioni.

Suo dev.mo

G. Colombo

XIII.

G. Colombo a Th. A. Edison
22 novembre 1883*

COMITATO
PER LE APPLICAZIONI DELL'ELETTRICITÀ
«SISTEMA EDISON» IN ITALIA
Via Manzoni, 12A

Milano, 22^d Nov. 1883

Th. Edison Esq.
New York

Dear Sir,

The Richard's Indicator that I have used for our engines is little suited for their high speed, and therefore upon M^r Lieb's suggestion, I beg to transmit you order for a Tabor's Indicator, such as you use for your Central Station. I shell feel obliged if you will take care that the Indicator be shipped well packed and as soon as possible. At the same time, M^r Lieb

* Autografa, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D8337ZFN; TAEM 67:949.

should like to have a supply for 4 engines, and for say six months, of such packing for the piston rods of the Armington and Sims engines, as you use for the same engines in your Station, and precisely the same packing that you have found to be the best for them. We have in fact a great difficulty in getting suitable stuffing box packing for our engines.

Our Station proceeds very well. We still go with 1200 lamps, because I will not increase the lamps before being sure of having everything ready for the Theatre of the Scala, which opens on the 26th December. We go on very fast in wiring the theatre, laying down the feeders and setting up the machines in our Station, so that I have no doubt to be in time; we have even begun to light a part of the service rooms of the Theatre yesterday night. When complete, the lighting of the Theatre will require 2450 lamps, but on the 26th December only 2000 will be lighted. The Theatre Manzoni is lighted every evening since last September.

Please to inform me about the Indicator and the packing referred to in this letter, at your earliest convenience.

I remain dear Sir,

Yours truly
G. Colombo

Caro Signore,

L'indicatore Richard che ho usato per le mie macchine è poco adatto per le loro alte velocità e perciò, dietro suggerimento del Sig. Lieb, mi pregio di trasmetterLe un'ordinazione per un indicatore Tabor come quello che Lei utilizza per la Sua Stazione centrale. Le sarò obbligato se prenderà cura di fare sì che l'indicatore sia spedito ben imballato e al più presto. Allo stesso tempo, il Sig. Lieb vorrebbe avere una provvista per 4 macchine, sufficiente a suo parere per sei mesi, di quelle guarnizioni per la biella del pistone delle motrici Armington &

Sims, che usa anche Lei per i medesimi motori nella Sua Stazione centrale, e che Lei ha trovato essere la migliore per queste macchine. Abbiamo infatti una grande difficoltà a trovare una guarnizione adatta al premistoppa delle nostre motrici.

La nostra Stazione procede benissimo. Andremo avanti ancora con 1200 lampade perché non voglio accrescere il loro numero prima di essere sicuro di avere tutto pronto per il Teatro alla Scala che apre il 26 dicembre. Procediamo molto in fretta a stendere i cavi del teatro, installando gli alimentatori e mettendo a punto le macchine nella nostra Stazione. Così facendo, non dubito di terminare puntualmente. Abbiamo anche iniziato a illuminare una parte dei locali di servizio del Teatro, ieri sera. Quando sarà completata, l'illuminazione del Teatro richiederà 2450 lampade, ma per il 26 dicembre saranno accese solo 2000 lampade. Il Teatro Manzoni è illuminato ogni sera dallo scorso settembre. Grazie di farmi sapere alla prima occasione a proposito dell'indicatore e della guarnizione di cui in questa lettera.

Suo dev.mo
G. Colombo

XIV.

Th. Edison a G. Colombo
3 gennaio 1884¹

January 3^d [1884]

My dear Colombo,

I suppose you know of the financial success we are making of the central station down town, sales for November \$10,018, collections \$9,600, or \$9,200, I forget which, working

1. Copia dattiloscritta, ENHP, ora in *The Thomas A. Edison Papers*, cit., D8416AAJ; TAEM 71:70.

expenses for November, \$4,850, which does not include taxes, insurance or interest on our mortgage of \$35,000.

We have 120 customers on our books whom we have refused, as we are loaded up. I have one of the "C" machine set up at Goerck Street with shortened cores. It gave 203 volts with no load, 350 revolutions, and with 1050 amperes gave, I think, 140 volts. The spark is very much reduced. We can carry such a load that with 125 lbs. of steam it will run a Porter engine down to 180 revolutions, so an Armington engine is necessary.

With this alteration the future is all right, because I am going to make some high resistance lamps requiring about 125 volts. The change on such machine will cost about \$575. You could easily have it done in Milan. Our lamps are about 75 amperes, therefore you can carry about 1350 lamps, and if the engine will pull it I believe you could take off 1500 for a while when the heavy load comes on.

If you desire working drawings, showing how to make the change, we can have them prepared for you. With this change which are going to make down town, I think we shall nett \$60,000 in 1884.

How does your station show financially?

Very truly yours,
Th. A. E.

Mio caro Colombo,

Suppongo sappia del successo finanziario che stiamo ottenendo con la stazione centrale in centro città: vendite in Novembre 10.018 dollari, fatturazioni 9.600 o 9.200 dollari, – non ricordo –, costi di esercizio in Novembre 4.850 dollari, escluse tasse, assicurazione o interesse sul mutuo di 35.000 dollari.

Ci sono 120 clienti sui nostri libri che abbiamo rifiutato perché siamo sovraccarichi. Abbiamo una delle macchine "C" installata a Goerck Street con nuclei ridotti. Dava 203 volt senza carico, 350 rivoluzioni, e con 1050 ampere dava, penso, 140 volt. L'emissione di scintille è ridotta moltissimo. Possiamo raggiungere, con 125 libbre di vapore, un carico tale da fare arrestare una motrice Porter a 180 giri e da rendere necessaria una macchina Armington.

Con questa modifica il futuro è roseo, dato che sto per produrre delle lampade a più alta resistenza che richiedono circa 125 volt. La modifica costerà per ciascuna macchina circa 575 dollari. Potrà realizzarla facilmente a Milano. Sono lampade da circa 75 ampère, quindi potete reggere circa 1350 lampade e se la macchina darà strappi, credo che potrebbe spegnere 1500 lampade per un po' quando sopraggiunge una pesante tensione di carico.

Se desidera disegni costruttivi che mostrano come fare la modifica, glieli possiamo metterli a Sua disposizione. Con questa modifica che stiamo per fare in centro città, penso che incasseremo 60.000 dollari netti nel 1884.

Come si presenta la Sua centrale dal punto di vista finanziario?

Suo dev.mo

Th. A. E.

Appendici

Il primo impianto termoelettrico
del vecchio mondo col sistema Edison.
Sua origine, sue vicende e sua scomparsa*

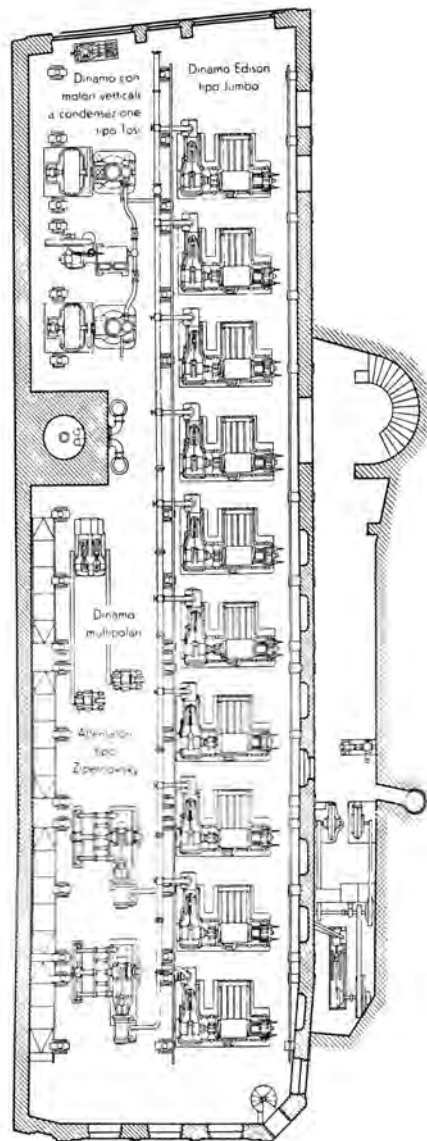
Gaetano Damiani

Nei primi mesi del 1882, per iniziativa e impulso dell'illustre Prof. G. Colombo, che ebbe chiara visione del successo del sistema Edison per produzione e distribuzione di corrente elettrica, si costituì a Milano un Comitato promotore allo scopo di effettuare un impianto di produzione e vendita di energia elettrica. Ad unanimità il Comitato incaricò degli studi per l'istallazione il Prof. Colombo che si recò in America onde prendere accordi con Thomas A. Edison. Detti studi si concretarono sollecitamente nel progetto di impianto di una grande Centrale termoelettrica colla relativa rete sotterranea per la distribuzione della corrente: coadiutore efficace fu il compianto Ing. Angelo Bertini che rimase poi solerte Direttore generale.

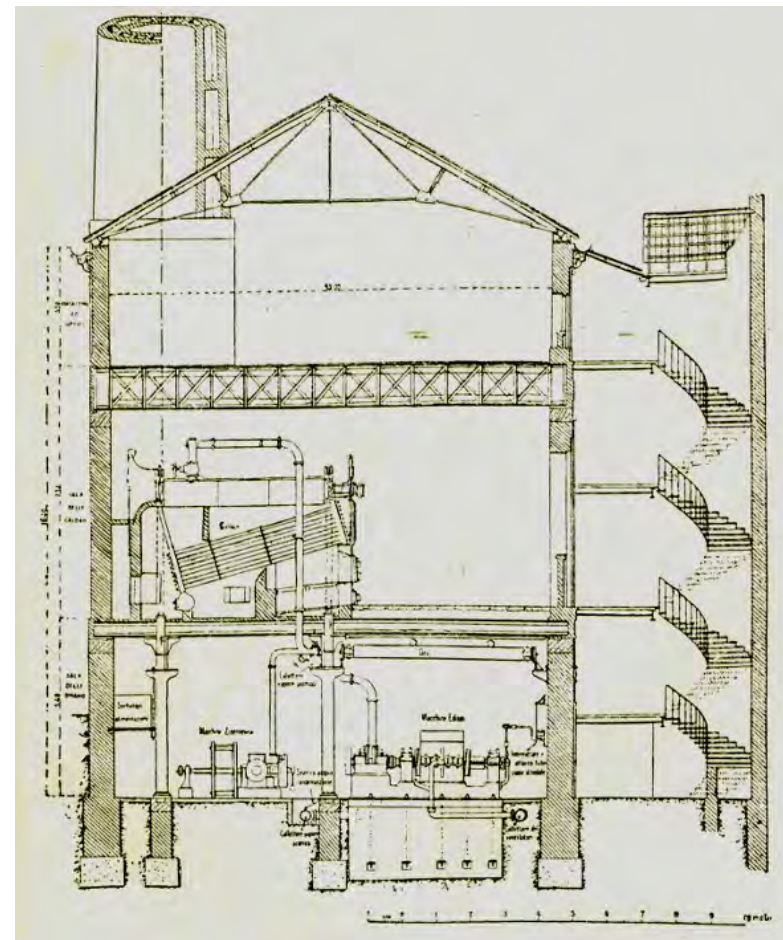
La scelta del luogo si fissò su un vecchio teatro che più non rispondeva alle esigenze della Città, data la sua posizione centrale rispetto ai consumatori previsti entro un limitato raggio d'azione trattandosi di corrente a 110 Volt. Acquistato quel teatro fu subito demolito per erigere sulla sua area la prima Centrale elettrica d'Europa, che fu la seconda nel mondo solo perché preceduta di qualche mese da quella di New York.

Le figure 1 e 2 rappresentano l'officina di S. Radegonda (così chiamata dal nome della via d'accesso) il cui macchinario installato in un primo tempo fu limitato a due gruppi motrici-dinamo con le relative caldaie installate al piano sovrastante.

* "L'Energia Elettrica", VI, 10, ottobre 1929, pp. 1-4.



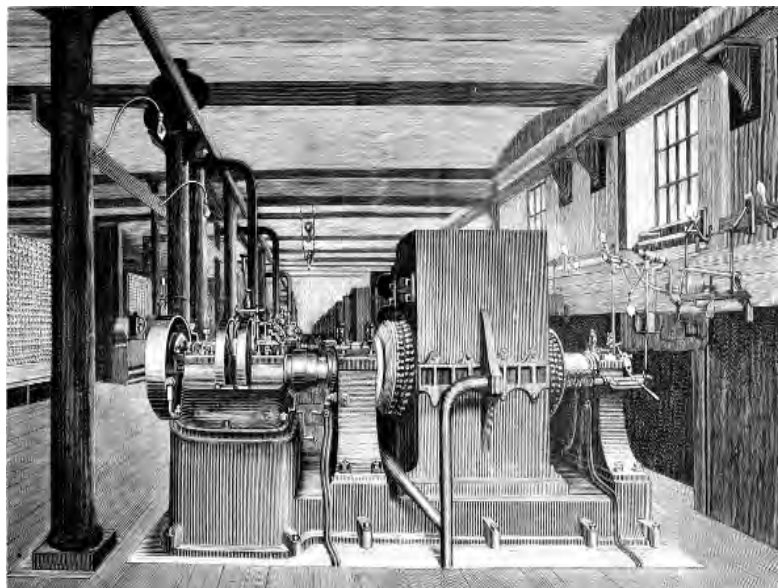
1. Pianta dell'officina di Santa Radegonda nel 1890.



2. Sezione dell'officina di Santa Radegonda nel 1890.

Ogni gruppo era costituito da motrice a vapore da 150 HP con distribuzione a cassetto, ad un solo cilindro regolatore Armington-Sims a 150 giri (velocità ritenuta ardita a quel tempo) collegata, mediante giunto rigido, all'armatura della dinamo chiamata "Jumbo" (fig. 3) dal nome allora famoso d'un grosso elefante del serraglio Barnum di New York.

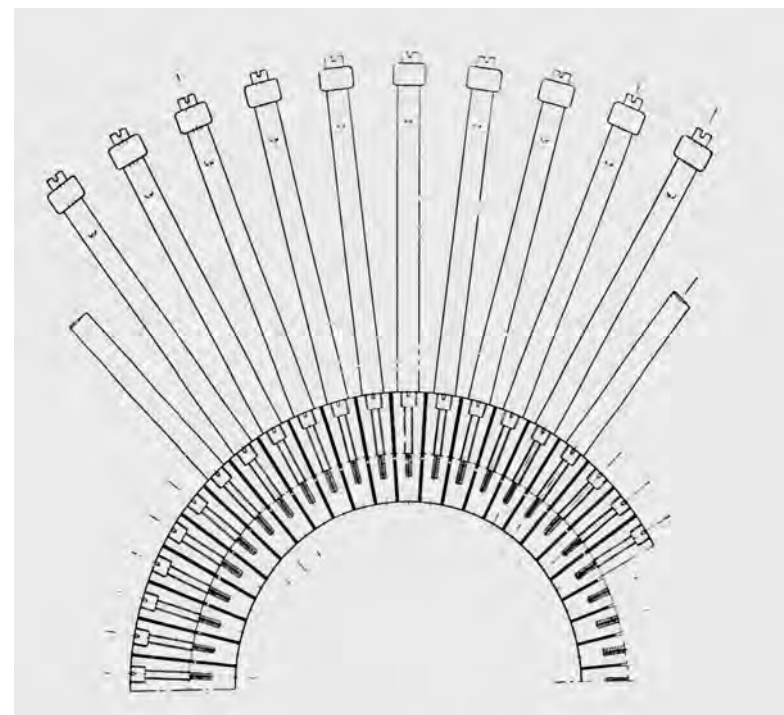
Il campo di tali dinamo era costituito da 12 elementi alimentati in derivazione disposti orizzontalmente in gruppi di 4; i nuclei di due di tali gruppi erano collegati all'espansione polare superiore, quelli del terzo gruppo si collegavano all'espansione inferiore! Fu attribuita questa dissimmetria ai concetti di tendere a sollevare in alto la pesante armatura per diminuire l'azione del peso sui supporti.



3. Motrice e dinamo "Jumbo" da 1200 lampade da 16 candele a 110 V (1883).

Un apposito impianto di ventilazione con relative tubazioni provvedeva al raffreddamento delle armature funzionanti.

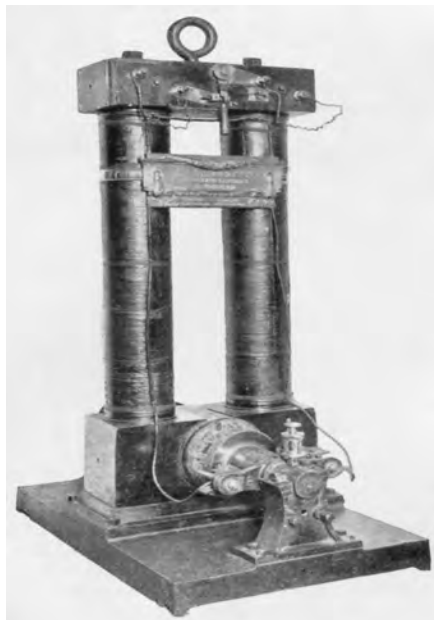
La reazione della armatura era notevole, lo scintillio impressionante; per attenuarlo si fece uso nei primi anni di mercurio fregandolo, durante il funzionamento, sulla superficie del collettore e lo si adoperò in quantità notevoli tanto che allo smontaggio di quel macchinario (1899) ne fu trovato qualche chilogrammo nel corridoio sottostante ai collettori. Il collettore, di ingegnosa formazione (fig. 4), era costruito tenendo conto della sua breve durata; basterà ricordare che le spazzole, for-



4. Segmento del collettore Edison delle dinamo "Jumbo".

temente premute contro la sua superficie, erano formate da pacchetti di lamine d'acciaio che furono sostituite, dopo qualche anno da lamine di similoro. La durata media d'un collettore risultò di circa 800 ore; come eccezione uno ebbe la durata di 1100 ore, sommando, s'intende, le riprese di servizio; ma se ne ricorda uno la cui durata fu di 79 ore e, negli intervalli del relativo periodo di funzionamento, furono necessarie 5 torniture.

Il collettore era composto da 49 sbarrette di rame, isolate con mica fra loro e dalla massa, e strette fra due anelli appostati sull'albero; l'insieme costituiva la parte fissa con 49 frecce piane sulle quali venivano collegate mediante 4 viti ciascuna, 49 sbarrette costituenti la parte sostituibile: impostate le miche e



5. Dinamo Edison per 60 lampade (1882).

strette le 4 viti per ognuna delle 49 sbarrette lunghe 46 cm ai corrispondenti piani del collettore fisso, si procedeva alla tornitura. La riattivazione in servizio venne più volte effettuata entro 24 ore dallo smontaggio degli elementi non più utilizzabili. Quale diversità dalla durata degli attuali collettori che, per dinamo di buona costruzione, dopo circa 150.000 ore di funzionamento non rivelano alcun bisogno di sostituzione!

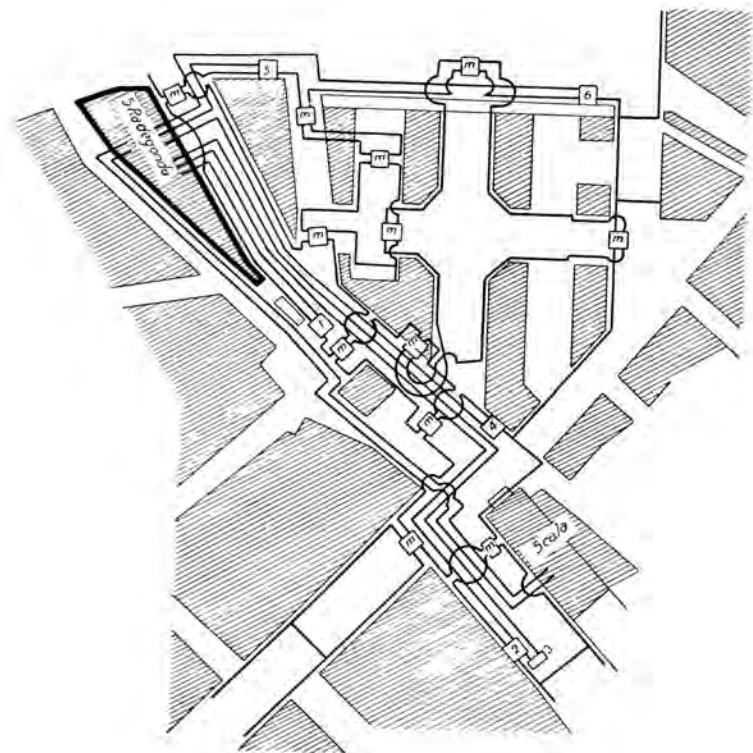
Nell'autunno del 1882

Edison mandò, per l'istallazione del macchinario e della parte elettrica, Mr. John W. Lieb il quale poi rimase per molti anni a dirigere l'esercizio, coadiuvato fin dall'inizio dall'Ing. Carlo Monti che ne prese il posto quando quegli ritornò in America a fianco del glorioso "Mago dell'elettricità".

La dinamo per 60 lampade (fig. 5, conservata nell'atrio della Sede della Società Edison) generò corrente fin dall'autunno del 1882 per l'illuminazione dei negozi dei Portici e della Galleria V. Emanuele con lampade ad incandescenza: nella primavera del 1883 al funzionamento di tale dinamo si sostituì quello delle grosse dinamo "Jumbo" resasi indispensabile per l'aumentata richiesta.

Nel primo funzionamento mancavano gli amperometri: ne fu costruito uno, su schizzo mandato da Edison a Mr. Lieb e se ne fece una taratura in lampade (per unità di misura fu assunta la lampada da 16 candele che consumava Amp. 0.75 a 110 Volt) nel modo seguente: in determinate ore della sera, precedentemente fissate, ingegneri ed assistenti si recavano contemporaneamente a prendere nota del numero delle lampade accese, nelle vetrine e nell'interno dei negozi; a quelle ore prestabilite, l'ingegnere di guardia in officina segnava il punto ove si trovava l'ago dell'apparecchio e, corrispondentemente a quei punti, si scrissero le cifre risultanti dalle somme delle lampade trovate accese presso tutti gli utenti esterni ed in officina.

La rete sotterranea (fig. 6) era costituita da tubi di ferro, lunghi m. 5,50 contenenti ognuno 2 conduttori di rame di sezione a segmento circolare (figure 7, 8 e 9) abbinati ed isolati fra loro e dalla massa mediante supporti anulari e pezzi forati di legno bollito nella paraffina; gli interspazi erano riempiti con una miscela di catrame e resina. Le congiunzioni fra i tubi si facevano a vite, con raccordi di rame stagnato, in speciali casset-



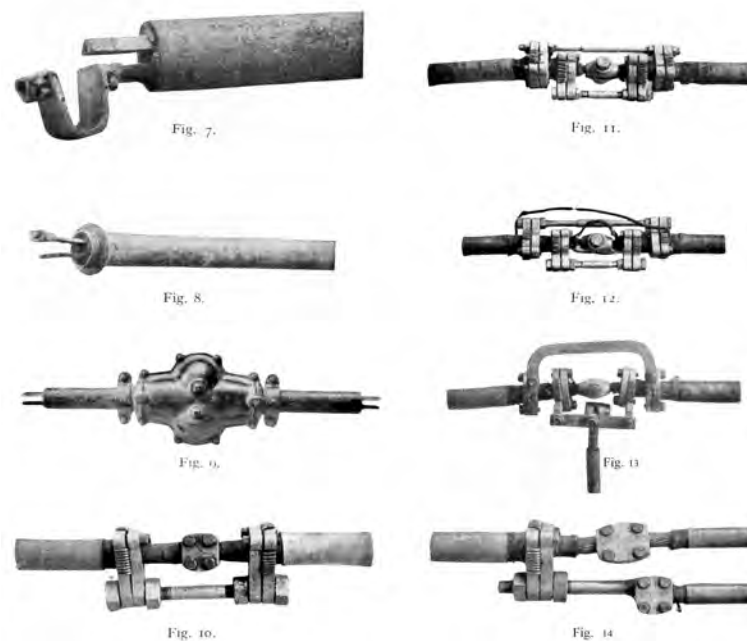
6. Rete sotterranea della Edison, 1882-1883. *m*=Mains. Feeders: 1) Manzoni; 2) S. Giuseppe; 3) S. Giuseppe; 4) Accademia; 5) S. Raffaele; 6) Casanova.

te di ghisa (fig. 9) entro le quali si colava una miscela di catrame e paraffina. Le condutture alimentatrici (*feeders*) e quelle principali (*mains*) terminavano in casse speciali (*feeder boxes*) collocate di preferenza sotto i marciapiedi, col coperchio esterno a livello del marciapiede stesso, munite di coperchio interno a tenuta d'acqua. Le prese per gli utenti si facevano esclusivamente sui *mains*. Dalle sbarre alimentate dalle dinamo si

derivavano le prese dei *feeders* con una resistenza variabile a mano (*feeder regulator*) inserita per uguagliare la tensione nei vari punti della rete; le indicazioni a tale scopo erano date dal voltmetri, montati sul quadro di ciascun *feeder*, azionati da fili piloti collocati entro i tubi dei *feeders* stessi.

L'intensificata richiesta indusse nel 1884 la Società all'acquisto di nuove macchine; successivamente l'istallazione dell'officina fu completata con altri 8 gruppi di potenza identica ai primi due.

I visitatori dell'officina ed i passanti che attratti dal rumore e dal copioso scintillio si fermavano ad osservare – dalle finestre



7- 9. Cavi e sezioni della prima rete sotterranea.
10-14. Giunti e prese della rete elettrica a tre conduttori.

di Via Agnello e da quelle del cortile di Via S. Radegonda – il macchinario installato a m. 2,50 sotto il piano stradale, rimanevano impressionati dalla fascia luminosa a sprazzi, larga circa mezzo metro, che si osservava per tutta la lunghezza dell'officina in corrispondenza dei collettori funzionanti.

Nel 1886 fu possibile l'illuminazione a maggiore distanza: si installarono per tale motivo, nell'officina S. Radegonda, due alternatori monofasi Ganz – da 100 kW a 2000 V, 42 periodi – per l'alimentazione del Teatro dal Verme e per il Fossati in un secondo tempo, mediante trasformatori da 2000 a 110 Volt.

In seguito si installarono 4 dinamo Thomson Houston per l'illuminazione pubblica con lampade ad arco in serie.

Il funzionamento a corrente alternata monofase fu sospeso nel 1890 essendosi allora spinta la rete a corrente continua – coll'adozione del sistema a 3 fili a 220 Volt – fino all'attuale Stazione della Ferrovia Nord, ed i Teatri Dal Verme e Fossati furono più convenientemente alimentati a corrente continua. La rete a 3 fili fu intensificata ed estesa con cavi concentrici a due ed a tre conduttori le cui prime applicazioni, per giunte semplici e per prese di corrente, sono rappresentate dalle figure 10, 11, 12, 13 e 14.

Il funzionamento degli alternatori Ganz fu riattivato nel 1897 per soddisfare a richieste distanti dalla rete a 3 fili (Teatro Alhambra in Via Palermo, Via Principe Umberto, ecc.) ma la sorte dell'officina S. Radegonda era già segnata: i passi giganteschi fatti dall'elettrotecnica conseguenti alla scoperta del sommo Galileo Ferraris, non permettevano che visse più a lungo, nel centro della metropoli, un'officina termica, che occupava l'area di oltre 700 mq. Con ivi installate 15 motrici dinamo della potenza complessiva di soli 1900 HP con un consumo mediamente superiore ai 3 Kg. di buon Cardiff per kWh.

Un'altra grandiosa officina termica costruita a Porta Volta produceva – già sul cominciare dell'inverno 1890 – corrente trifase a 3600 Volt per la distribuzione ai privati allora iniziata e per il funzionamento della tramvia elettrica di Musocco.

Essa alimentò poi, nella primavera del 1897, i motori-dinamo installati nel locale attiguo alla officina S. Radegonda (che dal nome della via di accesso fu chiamata Officina di Via Agnello), costruito appositamente per la trasformazione a corrente continua a varie tensioni per l'alimentazione delle tramvie urbane e per la rete Edison notevolmente ingranditasi.

Nel settembre del 1898, coll'entrata in esercizio del trasporto di energia trifase a 13.000 Volt, prodotta dalla Centrale di Paderno sull'Adda, l'officina di Via Agnello fu dotata di altri motori-dinamo e si sostituì alla produzione termica della vecchia S. Radegonda.

Attesero agli studi per il trasporto di forza da Paderno ed alla sua utilizzazione, il compianto collega ing. C. Longhi e l'ing. Grand'Uff. Guido Semenza che fu testè insignito della più alta onorificenza Inglese nel campo dell'Elettrotecnica "La Medaglia Faraday". All'illustre tecnico che onora l'Italia rivolgiamo un affettuoso saluto cui s'accompagnano i nostri più fervidi auguri.

Sul finire del 1899 fu asportato da S. Radegonda il vecchio macchinario e nuovamente vi lavorò il piccone demolitore risparmiando i soli muri perimetrali: l'officina fu ricostruita a 3 piani, oltre il sotterraneo ove furono montate le survoltrici con i relativi quadri di manovra per le grandiose batterie installate nei piani sovrastanti.

Il successivo incremento di richiesta veniva intanto soddisfatto alla periferia della rete trifase a 3600 Volt, ma per l'illuminazione del centro e per l'aumentata richiesta della rete tramviaria, si dovette procedere nel 1908 all'impianto di un altro

centro di alimentazione: fu costruita a tale scopo l'officina di S. Vincenzino entro i muri della chiesa omonima. In tale officina, come in quella ricostruita di S. Radegonda, e nell'altra di Via Agnello in parallelo colle quali la prima funzionava per l'alimentazione della rete Edison e di quella tramviaria, furono installati motori generatori, batterie d'accumulatori e relative avvoltrici. Il servizio reso da tali officine risultò perfetto, con continuità assolutamente garantita da potenti batterie d'accumulatori. Quale differenza dall'attuale servizio tramviario urbano con interruzioni tanto frequenti!

I cessati impegni della Società Edison per l'esercizio delle tramvie cittadine (1917), l'accerchiamento compiuto dalla rete trifase, già da tempo infiltratasi a sostituire parzialmente per l'alimentazione di vari utenti la rete a corrente continua a tre fili, determinarono la cessazione delle tre officine (S. Vincenzino, S. Radegonda e Via Agnello) a corrente continua, le quali nel 1920-21 furono smontate.

Il locale di S. Vincenzino fu adattato a salone per cinematografo e sull'area della vecchia e riformata officina S. Radegonda è sorto un maestoso edificio "l'Odeon". Vicende dei tempi! Sulle poderose mura dell'urbe imperiale fu costruito un teatro che scomparve perché sorgesse la prima Centrale termoelettrica d'Europa; a questa – dopo 47 anni di vita – succede di nuovo un teatro.

Con mestizia i superstiti della vecchia guardia – ve ne sono ancora tra ingegneri, tecnici ed operai – assisteranno alla scomparsa di cimeli che ricordavano anche tante loro disinteressate fatiche; si compiacciono però nel constatare l'attuale stato di floridezza della Società ed i grandi progressi conseguiti dalla Elettrotecnica.

La centrale di Paderno e la sua linea elettrica per Milano*

Guido Semenza

L'impianto di Paderno diventa fatto compiuto in un tempo in cui la trasmissione dell'energia elettrica è già una conquista assodata e riconosciuta, esso sorge uno di più fra i tanti già felicemente in funzione, fra cento che si affrettano al compimento.

Epperò il giorno in cui l'energia delle rapide dell'Adda arriverà per la prima volta nella nostra città, affermazione indiscutibile del successo tecnico dell'impresa, sarà giorno di festa per l'industria e per la scienza.

Perché voi, noi tutti ci siamo un po' affezionati a quest'opera di cui abbiamo udito con entusiasmo le prime manifestazioni, che abbiamo con interesse seguito nel suo sviluppo: e da cui speriamo risulti utile vero e pratico per la nostra città.

E poi per quanto le trasmissioni di energia sieno diventate comuni, tanto che ne son pieni a noia i giornali scientifici, per quanto sieno entrate nella categoria delle cose di cui si parla come della più naturale impresa di questo mondo, per noi che ci viviamo vicino, che facciamo dei fenomeni elettrici l'occupazione prediletta dell'intelligenza, presentano sempre un interesse vivissimo, contengono sempre qualcosa di nuovo che attrae e, direi quasi, ci meraviglia.

Quando io penso infatti alle numerose trasformazioni che l'energia, contenuta allo stato potenziale nelle acque dell'Adda, deve subire per raggiungere fino alle macchine operatrici delle

* Da *Impianto di Paderno*, Nota dell'Ing. G. Semenza (Lettura fatta nella Sezione di Milano dell' A.E.I. il 4 Febbraio 1898), "Atti della Associazione Elettrotecnica Italiana", I, 1898, pp. 121-144.

officine, fino alla miriade di lampade sparse nelle case, nelle vie, fino ai motori dei carrozzoni dei tram, e cerco figurarmi il meccanismo intimo e ignoto di queste trasformazioni, io provo un senso di stupore ancor fresco e vivo come quello che ci perturba le prime volte che indaghiamo i problemi misteriosi della natura.

L'acqua, che sotto l'azione della gravitazione spinge le palette delle turbine, le variazioni magnetiche che nelle dinamo suscitano le onde elettriche dell'etere, i fili che attraverso la campagna, guidano queste con rapidità inconcepibile, l'azione dei trasformatori, dei motori, delle lampade, tutto questo che noi sappiamo dirigere, regolare, misurare, tutto ci presenta una serie mirabile di fenomeni e di misteri dinanzi ai quali la mente nostra s'affatica invano.

Ho detto che l'impianto di Paderno diventa opera compiuta dopo tanti altri che già lo precedettero: non bisogna però dimenticare che, non dirò nel 1889 quando la Società Edison comprò la concessione, ma il giorno in cui furono iniziati gli studi ed anche in quello in cui fu dato il primo colpo di piccone, esso era ancora senza precedenti. Vi erano bensì impianti di maggior potenza, ma con trasmissioni di energia a minor distanza: v'erano trasmissioni assai più lunghe ma di poche centinaia di cavalli: non esisteva ancora un impianto col quale si trasmettessero 13.000 cavalli a 32 km di distanza.

Non esisteva, e forse non esiste nemmeno oggi, un altro impianto così complesso e suddiviso nella sua utilizzazione.

I sistemi polifasici non avevano ancora avuto la loro sanzione pratica, le alte tensioni erano soltanto nei progetti: molta incertezza esisteva su ogni punto del problema.

Per queste ragioni lo studio dell'impianto di Paderno fu uno dei più interessanti, e vorrei, nel parlarvene oggi, potervi dare

un'idea chiara e completa di tutte le ragioni che, volta per volta, hanno determinato la scelta di ogni suo elemento.

Perché ogni punto fu pensato e vagliato con quello spirito di prudenza e di incontentabilità che noi del vecchio mondo, a differenza dei nostri colleghi d'America, sogliamo portare nelle imprese nuove ed ardite. E con riconoscenza e venerazione ricordo qui che anche a questa impresa dedicò le sue cure il maestro nostro Galileo Ferraris, che oggi rimpiangiamo. Egli fu la nostra guida nei punti più scabrosi e nel giorno del successo non dovremmo dimenticare il suo nome.

Il tempo però non mi permette di dilungarmi troppo, per vostra fortuna, e mi soffermerò su quei punti specialmente, la cui discussione ancora oggi può essere di qualche interesse.

Quantunque intorno la parte idraulica dell'impianto abbiano già i giornali tecnici pubblicato molte notizie, tuttavia credo sia utile di riassumere qui in poche parole le linee generali dei lavori che tanta importanza hanno dato nella riuscita dell'impresa. Una esatta relazione ne verrà fra breve pubblicata dall'egregio sig. ing. Milani, che con tanta perizia e valore condusse felicemente a porto le opere da lui stesso progettate: il suo nome resta legato all'impianto di Paderno insieme a quello dello sventurato ing. Carli che, con lui, gettò le prime basi dell'ardito progetto.

Poche centinaia di metri a valle del famoso ponte di Paderno esisteva da circa due secoli la presa del naviglio detto di Paderno, il cui scopo era quello di creare una via navigabile parallela alle rapide che non lo sono in alcun stato dell'acqua.

La presa era costituita da una diga sommersa e da un paio di portoni che regolavano l'ammissione del canale.



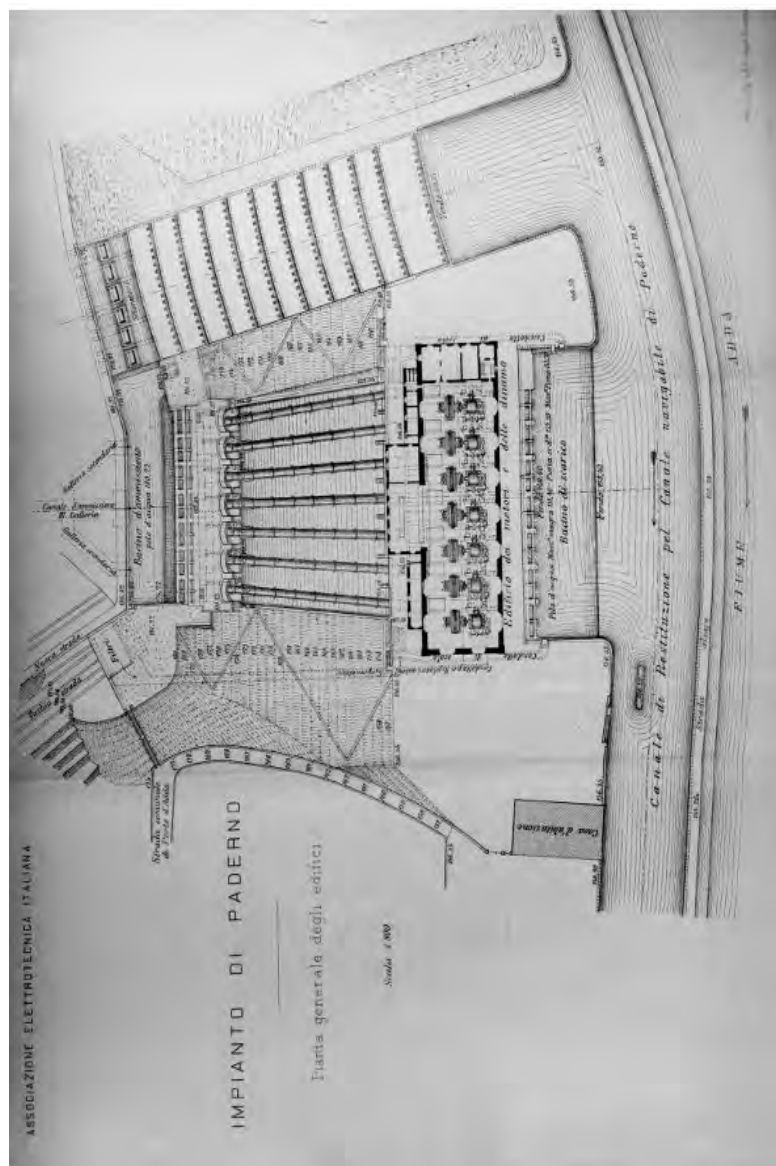
1. Centrale di Paderno. Planimetria.

Fu un'idea felice quella di profittare di questo vecchio lavoro già esistente per facilitare il nuovo: ma per convogliare 45 metri cubi d'acqua al secondo non era sufficiente nè l'altezza della diga, nè la sezione del canale. La diga venne quindi rifatta alla parte superiore e trasformata in una *Poirée* a cavalletti mobili, ribaltabili, ed il canale venne allargato da m 9 a m 13 in modo da poter convogliare i 45 metri cubi al secondo colla velocità di m 1,37 al minuto secondo. Questo allargamento è fatto per una lunghezza di m. 690, cioè per il primo tratto di Naviglio e fino alla località detta della Conchetta dove s'incontra la prima delle sette famose conche. In questo punto è la vera presa del nuovo canale, un edificio che lascia passare l'acqua per sei bocche munite di paratoie comandate a mano. Pochi metri dopo, il canale, lasciando a sinistra il Naviglio che segue a mezza costa la pittoresca vallata dell'Adda, entra in una galleria di 105 metri da cui sbocca in una trincea profonda in media m 8 lunga m 230: segue una seconda galleria di 276 metri, una seconda trincea di 325 metri, ed infine l'ultima e più lunga delle gallerie che misura 1.005 metri.

Sono dunque complessivamente m 2.268 di canale con una sezione di corpo d'acqua di m² 16,80. L'acqua per una portata di m³/sec 45 correrà quindi colla velocità di m 2,70 al secondo.

L'ultima galleria sbocca in un punto della valle dove le sponde, allontanandosi, si aprono in una vasta conca: e dove il profilo del terreno mirabilmente si presta allo sviluppo delle opere d'utilizzazione della forza.

Un ampio bacino di carico raccoglie l'acqua che sbocca dalla galleria e lascia che gradualmente ne rallenti il moto fino a passare sotto le paratoie e a immettersi nei tubi colla velocità di m/sec 1 circa [fig. 1].



2. Impianto di Paderno. Pianta generale degli edifici. Al centro le sette condotte forzate, a destra il grande sfioratore.

A sinistra del bacino è la testa del gran sfioratore che deve essere capace di smaltire fino a 52 metri cubi d'acqua al secondo, ed ha forma di una ciclopica scalinata alta 29 metri, lunga 30 metri, dove la massa liquida, che lungo essa precipita, viene divisa e rotta per modo che la forza viva enorme che ha in sé, si sminuzzi e si spenga.

I tubi che adducono l'acqua alle turbine sono sette ed hanno il diametro di m 2,10: sono in lamiera di acciaio chiodata, dello spessore da 8 a 12 mm.

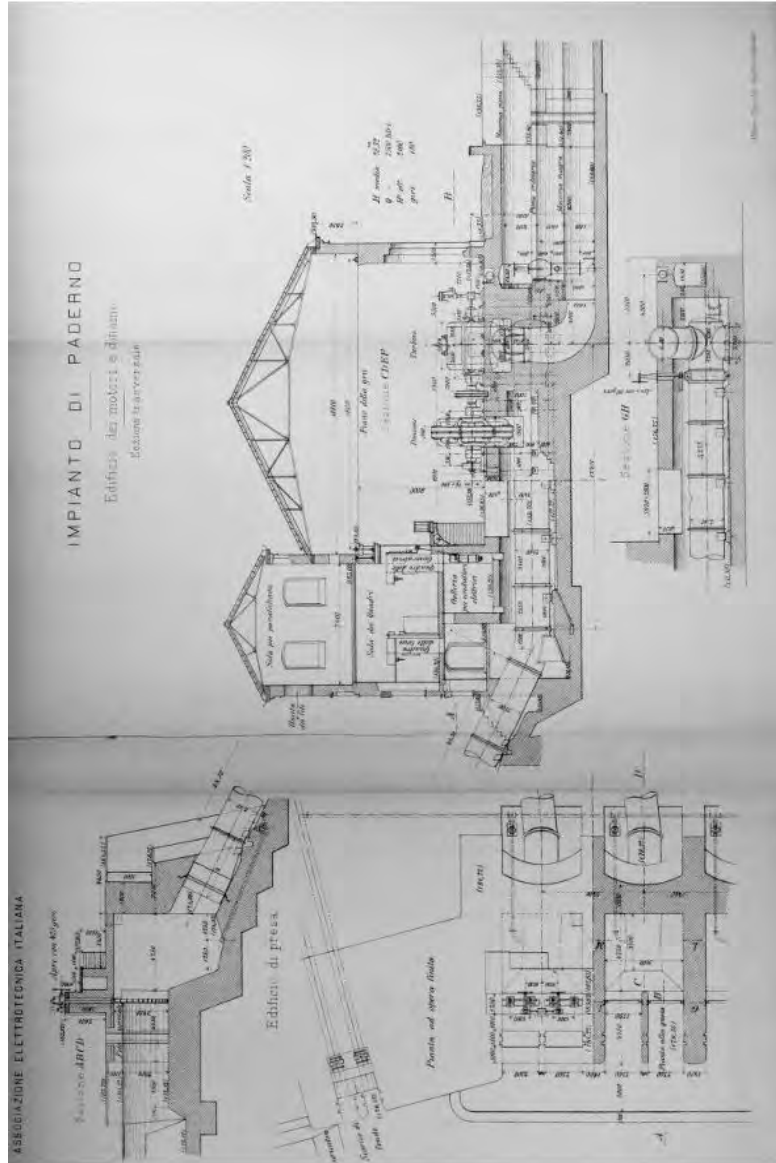
Essi si adagiano sulla pendenza naturale del terreno per modo che sono lunghi m 65,70: alla cima una paratoia a comando elettrico ne può chiudere l'ammissione: in basso una valvola a farfalla può ostruire l'uscita dell'acqua verso la turbina.

Dalla turbina lo scarico ha luogo in un ampio bacino il quale non mette direttamente nel fiume ma in un canale che è un prolungamento del Naviglio: perché siccome il Naviglio ritorna nel fiume circa 600 metri a monte del punto dove avviene lo scarico delle turbine, in tempo di magra questo tratto di fiume rimarrebbe senz'acqua e ne sarebbe assai danneggiata, dicesi, la navigazione [fig. 2].

Il canale prolungamento del Naviglio mette nell'Adda circa 400 metri a valle del punto di scarico in una risvolta del fiume appositamente scelta: e così torna all'Adda l'acqua che invece di consumare inutilmente l'energia sua a corrodere le rocce e a riscaldarsi, la trasmetta in altre forme strumenti di produzione e di prosperità.

La portata di magra è di m^3/sec 45.

La caduta netta in tempo di magra è di m 28,81: in tempo di massima piena essa si riduce a m 24,86. Bisogna quindi, per avere in qualunque stato d'acqua la medesima potenza, aumentare la portata man mano che il salto diminuisce: e un cal-



3. Impianto di Paderno. Edificio dei motori e dinamo. Sezione trasversale.

calcolo assai semplice mostra che in tempo di massima piena bisogna aumentare la portata fino a m^3/sec 52,258.

A questa portata massima sono infatti proporzionati tutto il canale e le opere accessorie, le turbine e lo scarico.

La potenza rappresentata da un volume d'acqua di $45 m^3$ al secondo che cade da 28,81 metri è eguale a quella di 17.300 HP che, con un rendimento del 75% delle turbine, corrisponde a circa 13.000 HP sviluppati dalle turbine stesse.

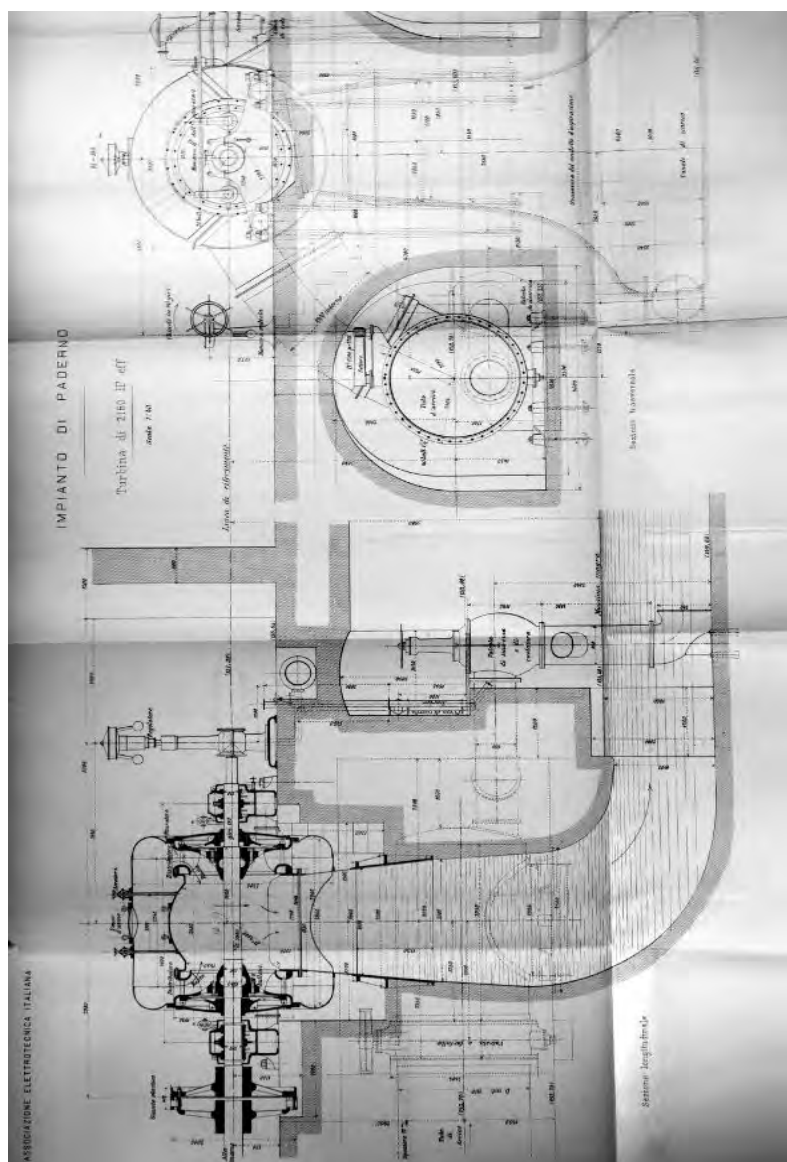
La divisione di questa potenza in unità generatrici viene fatta seguendo da una parte il criterio che coll'aumentare della potenza, la bontà e il rendimento delle macchine aumenta e dall'altra quello che il numero dei gruppi sia tale che il guastarsi di uno non rappresenti un disturbo troppo grande per l'esercizio.

Il dividere in sei parti la potenza totale, parve la migliore soluzione: ed il tipo d'unità fu fissato a 2.160 HP, il che porta a sei gruppi in funzione ai quali viene aggiunto un settimo di riserva.

Data la grande variabilità del pelo di scarico, bisognava necessariamente ricorrere a turbine ad aspirazione, ed infatti il salto viene diviso in m 22,87 che agiscono come pressione e m 5,94 nel tempo di massima magra e m 1,99 nel tempo di massima piena che agiscono come aspirazione sulle ruote delle turbine.

Con tale divisione si è potuto tenere il pavimento della sala delle macchine tutto al disopra del livello di massima piena, cosa che ha la sua importanza [fig. 3].

Come è noto la fornitura di queste turbine, che dopo quelle del Niagara sono le più potenti fino ad oggi costruite, venne aggiudicata alla Ditta Riva Monneret e C. di Milano in seguito ad un concorso a cui presero parte le migliori Ditte costruttrici europee.



4. Impianto di Paderno. Turbina da 2160 HP effettivi.

La turbina è ad asse orizzontale, gemella, a introduzione centripeta e scarico assiale; la paletta ha quindi una superficie a curve alquanto complesse. Come si è detto, è ad aspirazione e le ruote lavorano quindi sempre sommerse. L'acqua arriva lateralmente in una camera cilindrica di lamiera d'acciaio del diametro di m 3,30 che avvolge il complesso dei distributori e delle ruote e trova il suo scarico nel tubo d'aspirazione ricavato nel calcestruzzo stesso della fondazione [fig. 4].

[...]

Avendo così dato qualche cenno della parte idraulica dell'impianto, veniamo ora a quella elettrica e prendiamo innanzitutto in considerazione lo schema generale degli impianti fatti o da farsi dipendenti dalla stazione generatrice di Paderno.

Le correnti generate dalle dinamo di Paderno sono raccolte sulle sbarre collettrici della Stazione e avviate direttamente nella linea senza intermediario alcuno di trasformatori.

La linea, lunga 32 km, avrà una derivazione all'altezza di Monza per fornire energia motrice e luce a questa industriosa città.

A Milano la linea mette capo a Porta Volta.

L'officina di Porta Volta è composta di due parti: una stazione di trasformatori dell'energia proveniente da Paderno; e una stazione generatrice a vapore.

Tanto i trasformatori quanto gli alternatori annessi alle macchine a vapore, forniscono correnti trifasiche a 3.600 Volt e 42 periodi: quindi esse possono raccogliersi e confondersi nelle medesime sbarre collettrici, sostituirsi le une sulle altre, concorrere negli stessi servizi.

Porta Volta è quindi l'origine della distribuzione di Milano la quale comprende tre servizi distinti:

1. La distribuzione di energia per motori e luce nelle zone

industriali della città fatta con una rete sotterranea, a correnti trifasiche a 3.600 Volt, con rete secondaria a 150 Volt.

2. L'alimentazione del servizio trazione fatto con trasformatori rotativi posti nella nuova officina di S. Radegonda.

3. L'alimentazione della antica rete Edison a corrente continua, fatta pure mediante trasformatori rotativi posti nella detta officina di S. Radegonda.

Come si vede, quasi tutti i generi di applicazioni sono compresi in questo impianto che da un'origine sola dovrà animare motori sincroni, asincroni, a bassa e alta tensione, lampade ad incandescenza, ad arco, e motori per trazione.

È questa molteplicità di applicazioni che rese difficile lo studio dell'impianto di Paderno e che ora lo rende interessante: perché ogni servizio ha delle esigenze particolari alle quali tutto l'impianto deve rispondere, senza che ne venga scossa l'unità o disturbata l'economia generale.

I punti principali che stabiliscono i caratteri di un impianto elettrico sono: il sistema di correnti, la frequenza, la tensione.

Quanto al sistema di correnti, le diverse case costruttrici interessate avevano presentato le correnti trifasiche, le bifasiche e la continua. La proposta dell'impiego della corrente continua era fatta dal Thury (Compagnie de l'Industrie Électrique, Ginevra).

Chiunque fu nel 1896 al Congresso di Ginevra avrà potuto rendersi conto della tenacia con cui il Thury sostiene il sistema di trasmissione a corrente continua in serie: una tenacia che rasenta l'apostolato. E bisogna convenire che fino a che si tratta di trasmissione semplice senza distribuzione, il problema entro certi limiti può avere anche con la corrente continua una soluzione soddisfacente. Ma quando si viene alla distribuzione, le cose cambiano: bisogna forzatamente passare per trasformatori

rotativi, ciò che offre una soluzione tecnica ed economica indiscutibilmente tanto inferiore a quella dei sistemi a correnti alternative, da far sparire tutti i vantaggi che si ottengono nella trasmissione: e in un impianto che deve alimentare gli svariati servizi di una grande città, la distribuzione frazionata ormai si impone. La scelta fra il bifasico e il trifasico non era due anni fa così facile come oggi: allora il sistema di correnti bifasiche sostenuto da qualche costruttore e difeso da autorevoli consigli, occupava ancora una posizione abbastanza forte.

Sfatata però l'illusione che col sistema bifasico fosse più facile il servizio cumulativo di motori e illuminazione, assodato che la sua condotta era la meno economica, questo sistema venne definitivamente abbandonato per far luogo al trifasico che egualmente, e forse meglio, permette il servizio cumulativo e che, essendo perfettamente simmetrico nelle sue parti, offre un sistema di distribuzione più uniforme e più elastico.

La scelta della frequenza delle correnti è assai importante essa pure: una volta fatto l'impianto è facile cambiare le tensioni se non troppo alte o troppo basse, è facile passare dal trifase al bifase se il sistema non soddisfa: ma la frequenza, una volta costruito il macchinario, non si cambia più.

È ormai ammesso che la migliore frequenza è fra i 40 e i 60 cicli per secondo: e più verso il limite alto si deve tendere per impianti in cui la luce sia preponderante, più verso l'inferiore per quelli in cui lo sono i motori: questo secondo era il caso nostro: e poiché la Società Edison possedeva un vecchio impianto monofasico Ganz sul quale erano installate parecchie centinaia di kW in trasformatori costruiti per 42 cicli, fu prescelto appunto questa frequenza. Già ora si hanno prove che non solo la luce ad incandescenza, ma anche quella ad arco funziona sotto tale frequenza nel modo più soddisfacente.

Il problema della scelta della tensione è uno di quelli intorno a cui l'ultima parola è lungi da essere detta.

Quindici anni fa era alta tensione quella di 100 Volt, e si parlava di duecento Volt come di cosa paurosa: poi venne la volta delle migliaia, oggi siamo alle decine di migliaia di Volt.

In impianti fatti a tensioni che sembravano arrischiate per il tempo in cui sorsero, si videro dopo pochi anni raddoppiate le tensioni stesse senza preoccupazione alcuna.

Tuttavia ogni passo fatto nel senso di aumentare i voltaggi fu eccessivamente prudente, forse perché l'esperienza aveva dimostrato che gli effetti e i pericoli crescevano con maggiore rapidità delle tensioni stesse.

Ogni scelta di tensione rispecchia naturalmente queste due preoccupazioni, e se da una parte si sarebbe portati ad attuare oggi quello che si presenta sarà la soluzione del domani, si è poi invece trattenuti dalla prudenza che si deve avere di fronte all'incerto.

In ogni modo anche indipendentemente dalle difficoltà tecniche, al disopra di certi valori non è così facile anche la determinazione della tensione più economica.

In alcuni impianti, non so se prima o dopo la scelta della tensione si sono intavolati dei calcoli per determinare o giustificare la scelta medesima; e ciò sovrapponendo due curve, di cui l'una indichi come la spesa in rame diminuisca coll'aumentare della tensione di lavoro, l'altra, come invece, con questo aumento crescano pure il costo delle macchine, degli apparecchi e degli isolamenti, e ciò a parità di rendimenti. Ma questo è un calcolo incompleto: bisognerebbe per completarlo, poter valutare quali saranno le maggiori spese di riparazioni e manutenzioni nel caso delle alte tensioni: e queste esperienze ne abbiamo noi al disopra di 5000 Volt.

Per l'impianto di Paderno fu stabilito la tensione di 13.500 Volt direttamente generata dalle dinamo.

Il generare direttamente la tensione della linea e quindi la eliminazione dei trasformatori della stazione generatrice, rappresenta anzitutto una forte economia nelle spese d'impianto, poi tutto l'insieme delle installazioni stesche diventa più semplice, il rendimento si fa più elevato, le manovre si riducono a poca cosa, la manutenzione si fa molto economica.

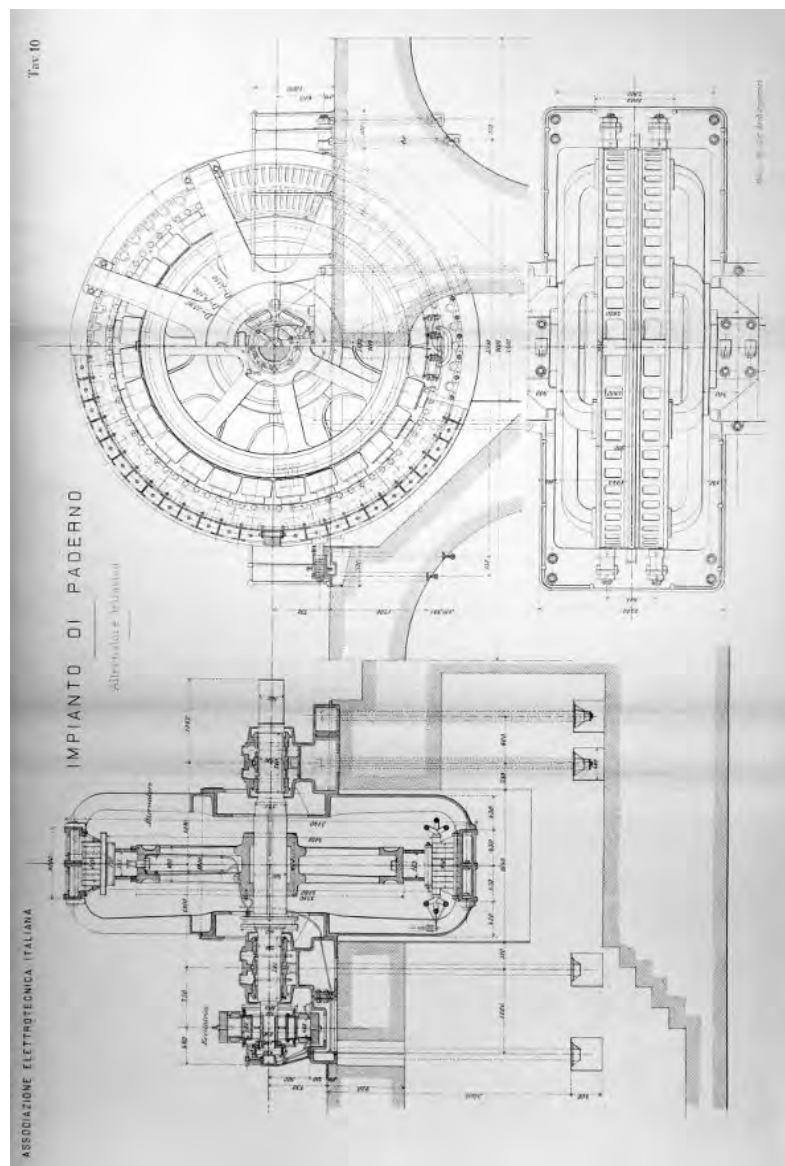
Però bisogna anche osservare che era la prima volta che si parlava di alternatori a 13.500 Volt [fig. 5].

La questione poteva essere considerata sotto il punto di vista della sicurezza di funzionamento e di isolamento che una dinamo a 13.500 Volt poteva presentare, sotto quello della economia della trasmissione ed infine sotto quello della semplicità della linea.

Quando si discutevano le generatrici di Paderno, vi erano poche dinamo in esercizio la cui tensione toccasse 5.000 Volt: alcune case costruttrici ne avevano nello loro sale di prova alcuna a voltaggio maggiore e non esisteva in esercizio, colla tensione di 10.000 Volt, che l'alternatore del De Ferranti, un'ardita costruzione che, piuttosto che una macchina, rasenta il tipo di un apparecchio di laboratorio.

D'altra parte non esistevano forse trasformatori a 15-20 mila Volt, e non sono apparecchi di funzionamento sicuro? E se si possono costruire buoni trasformatori a 15.000 Volt, perché non si possono costruire buoni alternatori a 13.500 Volt?

Alle obiezioni che alcune case costruttrici sollevavano si poteva fare l'appunto che molte dipendevano dal volersi esse attenere, nella costruzione di macchine ad alte tensioni, ai loro metodi di costruzione impiegati per le basse e medie tensioni: mentre questo concetto si deve avere: che una dinamo ad altissi-



5. Impianto di Paderno. Alternatore trifase.

ma tensione deve essere, specie nei particolari, assai diversa da quelle a tensioni normali.

Quanto alla linea bisognava arrivare almeno a 13.500 Volt per avere una soluzione soddisfacente.

Tenuto conto che per non avere una notevole selfinduzione non bisognava sorpassare 8 o 9 mm di diametro nei fili, con 13.500 Volt bastavano 18 fili per avere una perdita di energia del 9%, mentre con 10.000 Volt ancora con 18 fili tale perdita aumentava al 17% e per ridurla al 9% occorrevano 36 di tali fili.

La soluzione quindi a 13.500 Volt era elegante, economica e semplice: e confortata anche dall'autorevole avviso del Prof. Ferraris essa fu audacemente e ponderatamente prescelta.

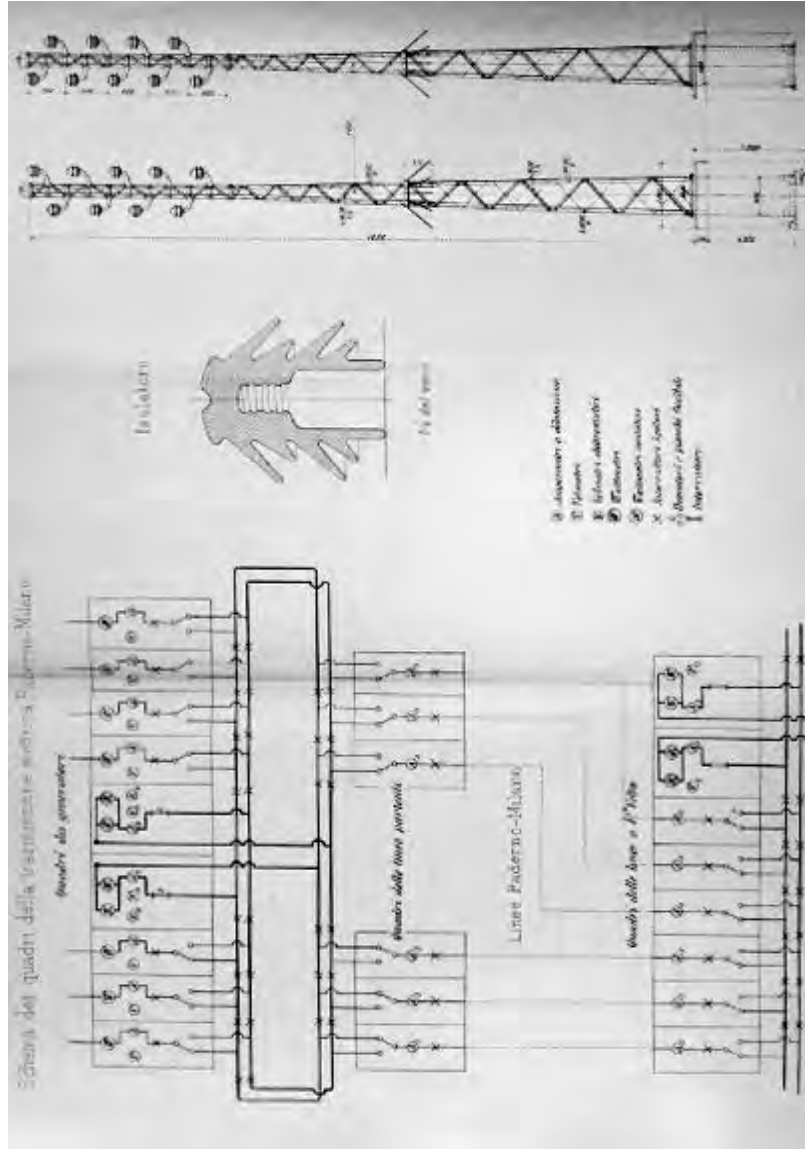
Però anche della prudenza fu tenuto conto e l'impianto è fatto per modo che se per qualche fenomeno imprevisto venisse a perturbare nell'andamento, sia possibile, senza nulla alterare ridurlo ad una più bassa tensione. [...]

Le linee prima di uscire salgono in un locale superiore dove si troveranno i parafulmini: indi passando per apposite aperture che si trovano nella parte posteriore del locale, vanno ad attaccarsi al primo palo.

Come abbiamo già detto, i fili della linea saranno 18.

Una linea come questa per altissima tensione destinata a servizi pubblici importanti, come quelli di Milano, andava studiata con cure speciali e con speciale intendimento ad evitare le interruzioni.

Non solo era necessaria una linea ben fatta, ma ci voleva una linea sulla quale fosse possibile la manutenzione, il ricambio delle diverse parti e la riparazione di guasti eventuali, senza interruzioni di servizio. E questo ultimo scopo si raggiunse dividendo la linea in due. Fra la stazione di Paderno e quella di Porta Volta corre una doppia fila di pali: ciascuna fila porta 9 fili



6. Impianto di Paderno. Schema dei quadri della trasmissione elettrica Paderno-Milano. Isolatore. Pali per la linea.

e dista dall'altra 2 metri. Quando importi, per una ragione qualunque, lavorare su uno dei fili, tutta la mezza linea a cui esso appartiene, viene tolta di circuito e il servizio è completamente sopportato dall'altra metà. Nei momenti di carico forte in tal caso la caduta di tensione aumenterà: e perciò si è provveduto a che sia possibile forzare la tensione degli alternatori fino a 15.000 Volt.

La linea, nei primi impianti a correnti alternative, è stata una delle maggiori cause d'insuccesso: e ciò perché non si aveva neanche un'idea lontana dell'importanza degli effetti di autoinduzione. Ed è curioso che, quantunque già da un pezzo fra gli studiosi il caso fosse abbastanza ben noto, ancora fra le linee proposte dalle diverse case costruttrici vi erano soluzioni alquanto diverse e contraddittorie.

Ormai anche tutta questa parte è abbastanza conosciuta perché si possa procedere con gran sicurezza. Si sa che per avere una debole autoinduzione bisogna avvicinare il più possibile i fili e farli di diametro piccolo, quindi nel caso di forti correnti moltiplicare il numero dei fili.

Vi è un altro punto abbastanza importante: è cioè quando i fili sono numerosi bisogna cercare di disporli in modo che l'effetto di autoinduzione sia pressoché uguale su tutti: perché se non lo è tendono a prodursi delle correnti oziose fra i fili appartenenti allo stesso ramo del sistema e quindi in parallelo fra loro.

La disposizione teoricamente perfetta per un complesso di conduttori di un sistema trifasico, sarebbe quella in cui ciascun conduttore si trovasse nelle stesse condizioni di induttanza rispetto agli altri. Questa disposizione si ha ponendo tutti i fili a eguali distanze su un circolo. Questa forma di condotta, quantunque possibile a realizzare, non è però pratica, specialmente se il numero dei fili è grande.

La forma che dopo il circolo dà una minore distanza fra i diversi fili dello stesso ramo, è quella rappresentata dalla figura in cui i fili appartenenti allo stesso ramo del trifase portano la medesima lettera.

La figura rappresenta la disposizione effettivamente adottata sulla linea di Paderno. I fili sono del diametro di 9 mm e la distanza tra i più vicini è ridotta a 60 cm. Questi fili sono di rame elettrolitico, della conduttività del 98% e verranno tesi in modo da avere, sopra una catenaria di 60 metri di ampiezza, una freccia variabile da 60 cm nel più rigido inverno a 14,20 nel più caldo estate¹.

Nelle linee a corrente alternativa bisogna considerare la perdita di energia e la perdita di tensione. Quella d'energia è il prodotto della resistenza pel quadrato dell'intensità e sarà circa del 9% a pieno carico quando il fattore di potenza sia dell'80%.

L'espressione della perdita di tensione è assai più complessa.

Il caso speciale fu studiato dal compianto Prof. Ferraris e il calcolo risultante è del massimo intessere. E' anzitutto necessario determinare il coefficiente di selfinduzione di ciascuno dei nove fili: per il che bisogna tener conto del ramo del sistema trifasico a cui ciascun filo appartiene: perché l'effetto di autoinduzione è funzione delle posizioni di tutti i nove fili, delle distanze relative e delle correnti che li percorrono.

La caduta di tensione è funzione di questo coefficiente di selfinduzione, della resistenza ohmmica del filo, della corrente ed infine dello spostamento di fase proprio degli apparecchi ricevitori.

1. La figura citata non risulta tra quelle allegate alla Nota di Semenza (n.d.c.)

Tutte queste quantità opportunamente composte, danno come risultante la perdita di tensione, che nel caso nostro risulta del 12,5% circa, pur rimanendo del 9% quello d'energia.

È questa una delle prime linee in cui vengono usati pali interamente metallici [fig. 6]. Quantunque coi pali metallici l'isolamento sia più difficile che coi pali in legno perché l'isolatore si trova, specie in tempi umidi, ad essere direttamente in contatto da una parte coi fili, dall'altra colla terra, e quantunque la caduta di un filo o la rottura d'un isolatore possa mettere nettamente a terra la linea, la loro superiorità meccanica è indiscutibilmente di gran valore.

D'altra parte il trovare pali in legno di lunghezze sufficienti, non è neanche troppo facile: il costruire pali misti non è una soluzione soddisfacente: quindi si è preferito prendere cure maggiori nel disegnare gli isolatori e usare pali tutti in ferro.

Il palo è una svelta costruzione a traliccio disegnata e fornita dalle officine di Savigliano: ciascun palo pesa 460 kg circa ed è fondato in un masso di calcestruzzo. Nelle curve i due pali vengono collegati da una croce di S. Andrea.

Il porta isolatori di una forma speciale, atta ad una resistenza di scarica rilevante, e tale da non permettere l'accumularsi della neve, è fuso in acciaio. Nelle condizioni della nostra linea l'isolatore è un organo della massima importanza, e va studiato in modo speciale.

Due erano i tipi che sembravano rispondere alle esigenze del caso: l'uno di tipo americano a campane alquanto allargate e con un nucleo interno in vetro o porcellana dura, l'altro di tipo a ombrello multiplo e completamente in porcellana.

Il concetto del tipo americano è d'offrire a mezzo del pezzo in vetro o porcellana dura un pezzo quasi imperforabile dalle scariche elettriche, mentre la parte esterna in porcellana verni-

ciata offre un lungo cammino alle dispersioni e alle scariche dirette attraverso l'aria. Nel tipo a ombrello multiplo il primo scopo è stato raggiunto coll'aumentare lo spessore della porcellana in prossimità della testa, il secondo collo sviluppo assai grande della superficie di dispersione.

Non essendo la pratica in materia molto estesa, venne deciso d'usare uno dei tipi su una delle linee, l'altro sull'altra. Ambedue sono costruiti dalla Società Ceramica Richard Ginori.

La linea nel suo percorso non segue le strade ma attraversa la campagna con un tracciato molto vicino ad una retta: gli angoli che essa fa, sia per schivare case o altri impedimenti, non superano i 3 o 4 gradi: angoli più forti fa soltanto per l'attraversamento delle ferrovie, dei corsi d'acqua e per l'entrata in Milano. Il seguire le strade avrebbe presentato una maggiore facilità di sorveglianza: avrebbe invece aumentato gli angoli ed allungato il percorso. Si è invece risolto il problema in modo da conciliare le diverse esigenze.

La Soc. Edison paga al proprietario un prezzo X per metro di attraversamento, il quale copre: la servitù derivante dall'imposizione dei fili e pali, il risarcimento dei danni causati durante la posa in una zona larga 3 metri, e i danni causati durante 30 anni per la sorveglianza e riparazioni della linea, sempre nella zona di 3 metri.

La Società Edison ha poi il diritto di passare sulla zona di 3 metri con veicoli e carri quando e quanto le occorre.

Per tal modo la sorveglianza è comoda e sicura, e non presenta difficoltà di sorta.

[...]

La linea arriva a Milano girando dietro il cimitero monumentale e fa capo all'officina di Porta Volta ove è ricevuta da un apposito quadro.

Dal quadro le correnti sono convogliate alla sala trasformatori. I trasformatori forniti dalla Casa Ganz e C. di Budapest saranno trifasici nel rapporto 12.000 a 3.600 Volt. La loro costruzione è abbastanza semplice.

Constano essenzialmente di tre colonne di ferro lamellato, disposte in un piano: su ciascuna colonna sono infilati numerosi rocchetti alternativamente appartenenti al circuito primario e secondario. Questo tipo a colonne disposte in piano è, da alcuni, criticato nel senso che non essendo i tre circuiti magnetici egualmente lunghi, può dar luogo a dissimmetria del sistema. Però l'obiezione appare infondata e si può sempre, nel caso nostro, in cui i trasformatori sono numerosi, connetterli in modo che la dissimmetria si compensi.

La potenza di ciascun trasformatore è di 350 kW: esso misura metri 2,10 d'altezza su 2 di lunghezza e metri 1 di larghezza e pesa 8.000 kg.

I secondari dei trasformatori vengono condotti ad un quadro che fa parte del quadro generale dell'officina di Porta Volta.

Arrivato a questo punto il mio compito è finito. Altri ben più degni di me di parlare di queste cose, l'egregio ing. Bertini, prendendo le mosse dall'officina di Porta Volta vi guiderà per la restante via. E vi mostrerà come l'energia venuta da Paderno si suddivide e serpeggi per la città, come si distribuisca alle lampade, ai motori; per quali trasformazioni arrivi ai pesanti carrozzoni delle tramvie.

Io non so se le mie parole hanno saputo esprimere quanto io voleva: credo però che vi sarete fatta la persuasione che l'impianto elettrico di Paderno ha avuto tutto lo studio e la ponderatezza che un'impresa così si meritava e che essa dà un affidamento pieno di un successo soddisfacente sia per la parte scientifica che per i risultati tecnici ed economici.

In memoria di Giuseppe Colombo*

Giuseppe Belluzzo

Egregi Colleghi,

Benchè convinto che il compito era superiore alle mie forze, e che altri consoci, con maggiore autorità della mia, avrebbero potuto più degnamente assolverlo, pure ho accolto con gratitudine l'invito che la Presidenza della locale Sezione della Associazione Elettrotecnica Italiana mi ha rivolto, di commemorare Giuseppe Colombo che fu tra i primi e più valorosi soci della nostra Associazione, e Presidente Generale della stessa sua alba radiosa; l'invito di ricordare l'Uomo insigne che di quasi tutti noi fu sommo Maestro, e per la robusta fibra per il grande affetto e la venerazione che Lo circondavano, sembrava destinato a rappresentare ancora per molti anni la forza e le giovani tradizioni del mondo tecnico italiano.

Il portamento diritto, malgrado quasi diciassette lustri di età, l'incedere rapido e sicuro, una giovanile baldanza nelle movenze, facevano infatti pensare che la natura volesse conservare ancora a lungo, all'ammirazione dei colleghi e dei discepoli, questo principe degli ingegneri, il più anziano degli elettrotecnici italiani, il chiaro insegnante che si era dedicato allo studio degli ardui problemi della elettrotecnica, fin da quando questa scienza, uscendo dagli ormai troppo angusti laboratori di ricerca, incominciava a dare le prime luminose scintille nel campo delle pratiche applicazioni.

Invece, mentre nessun grave sintomo faceva prevedere una

* G. Belluzzo, *In memoria di Giuseppe Colombo: Commemorazione tenuta alla sezione di Milano dell'Associazione Elettrotecnica Italiana il 10 gennaio 1922*, Milano, Soc. Ed. Unitas, 1922.

fine così imminente, in mattina del 16 Gennaio dello scorso anno, Egli si è spento improvvisamente e serenamente, come serenamente era sempre vissuto; la natura ha voluto spezzare la Sua preziosa esistenza, come si spezza una lama d'acciaio, perchè del più puro e resistente acciaio era la tempra del grande scomparso.

Giuseppe Colombo nacque a Milano il 18 dicembre del 1836, ed ebbe, come la maggior parte degli uomini di valore, i quali sembrano essere destinati a salire tanto più in alto quanto più umili sono le loro origini, natali modesti; ma se ne ricordò e se ne compiacque sempre, e manifestò in ogni occasione una viva simpatia per i giovani i quali, col sussidio unico delle proprie forze intellettuali e morali, stavano salendo con ansia gli aspri sentieri che conducono alle eccelse vette, e li incoraggiò e li aiutò sempre con preziosi consigli e con raccomandazioni. Ed ai giovani ingegneri ricordò in ogni occasione che per bene applicare nella pratica è bene necessario conoscere la teoria; a coloro i quali intendevano dedicarsi agli studi teorici ricordò insistentemente che è necessario anche scendere nel campo delle applicazioni per dare valore alle ricerche teoriche.

Il Nostro si ricordava così di essersi laureato dottore in matematica prima che ingegnere e di avere sempre sapientemente saputo giovare della teoria e della pratica nella Sua gloriosa carriera didattica e professionale.

Nel 1865 Giuseppe Colombo era incaricato degli insegnamenti di Meccanica Industriale e di Costruzione delle Macchine nel Politecnico Milanese, che Francesco Brioschi aveva fondato, chiamando attorno alla Sua austera figura di scienziato, degli uomini che al grande valore scientifico univano preclare doti della mente e del cuore.

Francesco Brioschi aveva dimostrato, con la Sua scelta, di essere un profondo conoscitore degli uomini ed infatti Giuseppe Colombo si rivelò subito per un meraviglioso insegnante, come già aveva dimostrato di essere un tecnico di grandissimo valore.

Egredi Colleghi, pensiamo a quello che poteva essere l'Ingegneria Industriale nel 1865, a quello che era l'industria italiana in un'Italia che incominciava allora ad esistere come nazione, in una Italia da anni intenta a spingere i più chiari intelletti nelle lotte per l'indipendenza.

Esistevano bensì, sparse per l'Italia delle grandi botteghe nelle quali si filava o si tesseva, di tingeva o si fabbricava della carta, o si fondevano e fucnavano e lavoravano metalli, o si cuocevano i laterizi; ma una vera industria non esisteva, nè le condizioni dell'ambiente erano tali da favorirne lo sviluppo mentre mancavano le fondamenta della cultura tecnica.

Ben poco poté quindi il Nostro apprendere dall'industria nazionale e dovette crearsi una propria coltura tecnica che fu chiara e profonda, sia leggendo i pochi trattati e le poche riviste estere del tempo, sia viaggiando per visitare gli stabilimenti industriali delle nazioni, quali l'Inghilterra, la Francia ed il Belgio che erano allora alla testa del movimento industriale in Europa.

E tanto seppe assimilare le nozioni acquisite, e tanto seppe col grande intelletto perfezionarle, che divenne veramente un precursore e poté creare una scuola di precursori dando al Politecnico di Milano una fama che in breve tempo si sparse per tutta la penisola.

E furono quelli i tempi aurei del Politecnico di Milano, i tempi nei quali le sue aule erano frequentate da coloro che diventarono più tardi i grandi industriali della nuova Italia, i migliori cultori delle discipline tecniche italiane, i tempi nei quali potevano prendere insieme il diploma di ingegnere, per

non ricordare che alcuni nomi, un Saldini ed un Pirelli, il Riva ed il Salmoiraghi, il Paladini ed il Salviotti.

Francesco Brioschi e gli uomini che Egli aveva chiamato attorno a sè potevano ben dirsi soddisfatti dei risultati che ottenevano, e più di tutti doveva esserlo Giuseppe Colombo, il Quale, creando in Italia l'ingegneria industriale, faceva nascere l'industria italiana ed educava una schiera eletta di allievi valorosi, fra cui Egli poteva scegliere i propri assistenti, coloro che in un secondo tempo dovevano diventare i nuovi docenti della scuola, i continuatori nei diversi campi della tecnica, delle idee e dei metodi del Maestro.

Tempi aurei del Politecnico milanese, quando gli insegnanti formavano attorno al loro supremo duce una grande famiglia che manteneva la scuola immune dalla tate che logorava allora come oggi gli ambienti universitari; famiglia di alti intelletti, di chiare coscienze, di cuori aperti ai più nobili sentimenti, sulla quale la concordia teneva aperte le ali e l'affetto alla scuola, la scrupolosità di adempiere al proprio dovere facevano degna corona alle altre virtù, onde il Politecnico di Milano, come massiccia torre dominava silenzioso i rumorosi campanili delle università italiane.

E fortunati gli allievi che poterono educarsi a tali esempi, e memori e riconoscenti verso i Maestri che dedicarono alla scuola la maggior parte del loro tempo, e tutte le risorse del loro ingegno, possono ricordare con commozione coloro che non sono più e con vibrante affetto i pochissimi valorosi superstiti che ancora insegnano, o che si sono ritirati dall'insegnamento.

E fortunati noi dell'età matura che abbiamo avuto la grata sorte di ascoltare le lezioni ed i suggerimenti datici alle esercitazioni, da questi colossi della scienza e della tecnica e che siamo stati educati al grande lavoro ed alle brevi vacanze,

ignorando le agitazioni, le proteste, gli scioperi; e due volte fortunati se abbiamo provato il vivo godimento delle lezioni di Giuseppe Colombo.

Il Nostro aveva infatti un modo tutto Suo particolare di esporre, un metodo che solo possono seguire i profondi conoscitori della materia che intendono insegnare, un metodo nel quale la parola, il gesto, le figure che Egli tracciava rapidamente e con grande precisione e chiarezza sulla tavola nera formavano un tutto armonico che avvinceva e trascinava e persuadeva.

Giuseppe Colombo fu un grande artista della tecnica giacchè veramente artistiche nella loro chiarezza erano le lezioni che Egli tracciava nel vasto campo abbracciato dal Suo insegnamento dal quale oggi, nello stesso Politecnico, sono nate ben otto cattedre. Ed ammirate per la chiarezza e la precisione furono le conferenze che Egli tenne per spiegare al popolo, che si affollava nell'aula della Società di Incoraggiamento, i principi della Meccanica, della Termodinamica, della Elettrotecnica.

Coloro i quali ricordano quelle conferenze svolte nel quindicennio che segue il 1868, sui più importanti e palpitanti argomenti che potevano interessare la pubblica opinione, attestano che era impossibile concepire una parola più calda e persuasiva, onde le conferenze del Nostro erano a Milano un avvenimento al quale il pubblico si preparava con maggiore entusiasmo, se possibile, di quello col quale oggi si interessa alle grandi manifestazioni dello sport.

E chi non può valutare la benefica influenza che le conferenze del Nostro hanno esercitato sulla educazione del popolo milanese del tempo e dirci quanti operai disertarono allora le ancora scarse bettole per apprendere dalla viva voce del grande tecnico le nozioni che egli con foga giovanile volgarizzava?

Allora le lotte tra capitale e lavoro non si erano ancora acuitizzate, l'operaio italiano viveva ancora fra il lavoro e la famiglia, la volontà di apprendere e di elevarsi nei migliori era molto forte, i sacerdoti delle varie internazionali scrivevano dei volumi, onde anche gli operai anziani frequentavano con diligenza e con grande profitto le scuole professionali e preclari ingegni e scienziati e tecnici vi insegnavano.

E così si fosse continuato sulla strada brillantemente iniziata, ed i grandi uomini della tecnica e della scienza, col largo appoggio delle classi dirigenti, avessero continuato la educazione tecnica della masse! Perchè io penso che solo la volgarizzazione della tecnica e della scienza fatta da uomini di valore, potranno ricondurre le masse lavoratrici entro i confini dai quali una inspiegabile trascuranza le ha lasciate uscire.

Io non vedo altra via che quella dell'istruzione, che quella dell'interessamento ai problemi tecnici e scientifici del mondo che si evolve, dell'umanità che si perfeziona per persuadere le masse che le parole gonfie di retorica ma vuote di contenuto, che le predicazioni della violenza e le agitazioni che ne sono la conseguenza, non facilitano ma ritardano invece il cammino ascensionale del genere umano. Oggi è più che mai necessario, con un'opera sapiente di volgarizzazione, seguendo il luminoso esempio datoci dal Nostro, persuadere i lavoratori che al disopra di tutte le lotte, molto in alto dove l'etere è puro, dove la luce è più viva e mai non tramonta, sta la scienza con la falange degli uomini che ad essa hanno dedicato un'esistenza spesso povera, sempre luminosa, e che solo la scienza ha fatto e fa progredire l'umanità; convincere le masse esaltate che su questa vecchia e sempre agitata terra, gli uomini possono odiarsi, combattersi, distruggersi, ma sulle rovine morali e materiali create dagli uomini, la scienza si erge superbamente viva e

cammina, cammina sempre. Ed è ad essa che tutte le classi lavoratrici devono tutto ciò che hanno, ed è alle pratiche manifestazioni della scienza che noi dobbiamo sforzarci di avvicinare con la istruzione professionale il popolo lavoratore, onde esso dedichi alcune delle molte ore, che l'officina gli lascia oggi libere, per apprendere quei fondamentali principi per formarsi quella educazione tecnica ed economica, senza di cui è vano sperare nel progresso industriale della nazione.

Nel campo professionale la fama chiese al Nostro una grande attività, un ingente lavoro di progettista che Egli svolse con grande modernità di vedute. Con concetti per il tempo veramente originali, dimostrando una competenza ed una profondità di coltura eccezionali; alla Sua mente si devono i primi grandi stabilimenti per la filatura del cotone in Italia, per la razionale lavorazione dei metalli, il primo stabilimento per la lavorazione di cascami di seta, tessiture, filande, e filatoi, molini, cartiere e numerosi impianti di turbine idrauliche e di motori a vapore.

Verso la fine del 1882 nella vecchia strada di Santa Rade-gonda, un intenso e febbrile lavoro si svolgeva quasi circondato di mistero; si preparavano delle fondazioni, si eseguivano delle robuste muraglie, si ergeva un maestoso camino; apparecchi e macchine dalla forme strane, non mai prima di allora vedute, erano spinte quasi alla chetichella in un sotterraneo o fatte salire ad un primo piano.

Manovali, muratori, carpentieri, operai meccanici, montatori, elettricisti, ingegneri si movevano entro quelle fresche mura, attorno a quegli apparecchi, a quelle macchine, ricevendo ed impartendo ordini.

Un uomo dall'età matura, dal portamento eretto, dal gesto energico, dalla fisionomia simpatica, accompagnato da un inse-

parabile sigaro, animava a tutte le ore con la Sua presenza, oggetto del maggior rispetto, la falange per allora molto numerosa dei lavoratori e dei tecnici.

Quell'Uomo era Giuseppe Colombo, fondatore della Società Edison, progettista della centrale elettrotecnica di Santa Radegonda, la prima centrale termica che si creava in Europa, con intendimenti per allora ultramoderni, con idee che parvero e furono audaci, allo scopo di trasformare l'energia termica, accumulata nei millenni dal carbon fossile, in energia elettrica destinata a dare la luce alla città di Milano.

La tecnica italiana erigeva allora il suo primo grande monumento, a due passi dal luogo dove qualche secolo prima l'arte scolpiva ed allineava e sovrapponeva le pietre del massimo tempio Lombardo.

Un camino si spingeva verso il cielo a testimoniare la fede dei tecnici del tempo, la fede di Giuseppe Colombo, vicino alle innumerevoli ed artistiche guglie del Duomo che attestavano la profonda fede dei credenti.

Ed i milanesi del tempo videro con curiosa meraviglia uscire del fumo in folte nubi da quel camino, con stupore videro accendersi le prime lampade ad arco per le vie principali di Milano ed al Teatro alla Scala, con curioso timore si accostarono in seguito ai finestroni del fabbricato della centrale di S. Radegonda ai quali si potevano vedere nel sotterraneo illuminato, delle strane macchine muoversi con insolita e rumorosa velocità, mentre al primo piano le caldaie generavano il non poco vapore saturo e molto umido necessario ad alimentarle.

È necessario portarsi con la mente a quell'epoca, ricordare le scarse cognizioni di elettrotecnica del tempo per comprendere la modernità e la vastità di vedute che hanno ispirato il Nostro nel

creare la centrale di S. Radegonda, nella quale era raccolto quanto di più moderno il mercato estero poteva offrire in fatto di caldaie, di macchine a vapore, e di generatori elettrici.

Il mercato interno nulla poteva dare allora in questo campo, giacchè l'industria meccanica italiana era allora ai primi passi, e quella elettro-meccanica ancora non era stata creata.

Ed è stato merito insigne, per quanto non abbastanza messo in rilievo, del Nostro, quello di avere direttamente e indirettamente contribuito allo sviluppo di tali industrie in Italia, creando al Politecnico la prima scuola di costruzione delle macchine e dei motori dalla quale sono usciti i primi costruttori italiani i quali hanno lentamente emancipato l'Italia dalla importazione straniera.

La centrale di S. Radegonda, con le macchine e le dinamo veloci installate nel sotterraneo e le caldaie montate al primo piano, fu il frutto di profondi studi fatti da una mente aperta ed audace alla quale un soggiorno negli Stati Uniti d'America aveva aperto nuovi vasti orizzonti nel campo delle costruzioni e delle ardite concezioni.

Quella centrale più non esiste, le dinamo che vi hanno compiuto milioni di giri formano oggi dei cimeli, ma essa è stata la madre feconda di altre centrali costruite in seguito, la prima affermazione nella distribuzione dell'energia elettrica che ha condotto quindici anni più tardi la Società Edison alla utilizzazione dell'energia idraulica delle rapide del fiume Adda, i più chiari ingegni allo studio e alla creazione in seguito delle numerose centrali idroelettriche che quali fulgide gemme coronano la fronte dell'Italia industriale moderna.

Attorno alla Società Edison e sotto la sapiente guida del Nostro, si era allora formato il primo nucleo degli ingegneri elettrotecnici italiani, un gruppo di valorosi allievi i quali

avevano studiato i particolari della centrale di S. Radegonda, più tardi il classico impianto di Paderno, e la centrale termica di Porta Volta, la rete di distribuzione della città di Milano, i primi tramvai elettrici, un nucleo che si irradiava poi per l'Italia a diffondervi le idee e la fede e l'attività del Maestro, creando nuovi impianti, nuove centrali elettriche.

Giuseppe Colombo, con la Società Edison da lui creata, e, grazie al valore ed alla saggezza degli uomini che Egli aveva chiamato a dirigerla ed amministrarla, condotta sulle eccelse vette della floridezza finanziaria, gettava le granitiche basi della grande industria elettrica italiana, la vera industria naturale dell'Italia, che nè i capricci di Giove pluvio, nè le malinconiche idee statizzatrici di pochi uomini potranno smuovere dalla larga base sulla quale essa è fondata.

La Società Edison non fu la sola creata, diretta ed amministrata e presidiata poi dal Nostro; Giuseppe Colombo fu infatti anche uomo d'affari, ma nel senso nobile della parola, perché attraverso le imprese e le Società e le banche da Lui amministrate o come Presidente, o come Vice-Presidente, o come ascoltato Consigliere, Egli vide il mezzo per risolvere i grandi problemi tecnici intimamente connessi con l'avvenire industriale dell'Italia. Ed in questo avvenire, nel lento ma sicuro progresso della industria italiana Egli credette sempre, e fu animatore e volgarizzatore della Esposizione Industriale Italiana aperta a Milano nel 1881, esposizione che rivelò agli stessi italiani le forze produttrici della giovane nazione, e fu Presidente della Giuria Superiore della Esposizione Internazionale di Milano del 1906 che dimostrò in coraggiosi confronti con le mature industrie estere, quanto le rosee promesse della giovane industria italiana fossero diventate, in tutti i rami della tecnica, una sicura e lieta realtà.

Ma il Nostro pensò, e manifestò ripetutamente il Suo pensiero in discorsi pronunciati in diverse occasioni, che la industria italiana doveva camminare con molta prudenza e guidata da timonieri abili e sicuri. Degli sviluppi rapidi e dei passi troppo lunghi compiuti specialmente durante la guerra, il Nostro dubitò la convinzione e fu purtroppo sagace profeta.

I dolorosi avvenimenti industriali di questi mesi dimostrano che l'industria italiana deve specialmente marciare sulle rotaie della scienza e della organizzazione tecnica e non sui trampoli della speculazione, e che le industrie senza contenuto tecnico e scientifico sono delle piante dal grosso tronco che il primo vento di crisi facilmente abbatte perchè ad esse mancano le radici.

Assorbito da un'attività senza posa nel campo industriale, occupata la vasta mente nelle questioni relative ai diversi insegnamenti che egli impartiva al Politecnico o dalle magistrali conferenze e lezioni tenute alla Società di Incoraggiamento, occupato il tempo migliore nello studio e nella lettura per seguire il progresso tecnico-industriale vertiginoso del tempo, il Nostro non ha lasciato nel campo scientifico delle opere di grande mole: poche ma originali e chiare memorie sulle ruote e le turbine idrauliche del tempo, sulle distribuzioni e sulla calcolazione delle motrici a vapore a stantuffo, la traduzione del classico trattato del Reuleaux, il manuale dell'elettricista, il primo manuale del genere scritto in collaborazione al compianto prof. Ferrini, alcune dense relazioni di carattere industriale pubblicate negli Atti del Regio Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, del quale fu anche per qualche anno presidente, una relazione sulle industrie italiane pubblicata in occasione del cinquantenario della proclamazione del regno d'Italia, negli Atti della R. Accademia dei Lincei della quale fu membro effettivo,

rappresentano la produzione corrente tecnico-scientifica del Nostro.

Ma la pubblicazione che Lo rese celebre e ne diffuse la fama in Italia e all'estero è il "Manuale dell'ingegnere" l'opera originale prediletta, alla quale Egli dedicò tutte le risorse dell'ingegno maturo, nel quale raccolse i risultati dei propri studi e di una larga esperienza nei diversi campi della tecnica, dimostrando uno spirito altruistico veramente ammirevole ed un'elevatezza d'animo straordinaria. In un'epoca anche quella di egoismo più o meno sacri, Giuseppe Colombo ha avuto il coraggio e la virtù di mettere a disposizione dei colleghi perchè se ne giovassero nella pratica professionale, il frutto delle proprie fatiche, la sintesi dei propri studi in un libro che è diventato il compagno inseparabile di ogni ingegnere.

Giuseppe Colombo pubblicò la prima edizione del Suo manuale nel 1877 all'età di quarant'anni. Nella prefazione modesta, chè la modestia è altra virtù dei grandi, Egli metteva in rilievo lo scopo che col manuale si proponeva di raggiungere; e come tale scopo sia stato raggiunto lo ha dimostrato il successo del libro che ha avuto la meritata fortuna di ben quaranta edizioni ed una diffusione che ricorda quella dei romanzi più in voga.

Coloro i quali hanno avuto, specialmente negli ultimi tempi, l'alto onore di collaborare col Sommo Maestro nella preparazione dei capitoli speciali del manuale che trattavano gli argomenti della tecnica che in questi ultimi anni hanno subito dei radicali cambiamenti per i vertiginosi progressi compiuti, ricordano con quanta cura il Maestro ordinava e sintetizzava le note sottoposte al Suo acuto esame e con quale abilità Egli sapeva selezionare l'indispensabile dal necessario, il necessario dal superfluo, raggiungendo una chiarezza di espressione ed una purezza di linguaggio che pochi tecnici potevano vantare.

Il Manuale dell'Ingegnere, che è stato e sarà sempre il Manuale Colombo, è un'opera che fin dall'inizio ha dato lustro alla letteratura tecnica italiana, un libro che con alcune traduzioni all'estero ha dimostrato ai dominatori industriali del passato che l'Italia non solo poteva far da sè, ma poteva anche darsi il lusso della esportazione, oltre che delle merci e delle macchine, delle nozioni tecniche che un tempo venivano completamente importate.

E questo è un altro dei meriti insigni di Giuseppe Colombo, per il quale solamente l'Italia, e specialmente il mondo tecnico e industriale italiani, Gli dovrebbero una eterna riconoscenza.

Giuseppe Colombo fu un eminente uomo politico; ma fu eminente perchè alla politica Egli dedicò le risorse del proprio ingegno quando la Sua attività nel mondo scientifico, tecnico ed industriale Gli avevano data una riputazione meritatamente grande ed una preparazione seria. Egli andò alla politica per onorarla, chiamatovi da uomini i quali dedicandosi alla politica intendevano di servire con amore e con intensa fede la patria, da uomini i quali entrando nella politica sentivano il dovere di mettere gratuitamente a disposizione della nazione la competenza e la pratica acquistata con lo studio o con l'esercizio nobile della professione.

Quanto mutati i tempi da allora, quanto diminuito è il contenuto ideale della politica, quanto abbassato il livello culturale dei rappresentanti della nazione!

Si danno ora alla politica uomini, i quali, non avendo i titoli e le doti atti a facilitare la loro carriera ed a metterli in luce, chiedono alla politica qualche cosa perchè nulla hanno da darle, si adattano a qualunque partito politico pur di arrivare, cambiano partito pur di arrivare più presto, si ammantano di parole

senza contenuto, come senza contenuto efficace è la loro mente; ed i migliori si appartano, davanti allo spettacolo di tante miserie morali, e le istituzioni rappresentative decadono.

Giuseppe Colombo entrò nella politica a cinquant'anni, nella pienezza della Sua fama di tecnico e di insegnante, eletto deputato nel partito liberale milanese, che allora seguiva ancora le tradizioni di Camillo Cavour e giustamente poteva gloriarsi di contare degli uomini che alla profonda coltura o tecnica od economica o letteraria univano il culto severo della patria, titani che fanno sembrare dei pigmei i mediocri arrivisti di oggi.

Già nel 1891, dopo cinque anni, Giuseppe Colombo era chiamato a reggere il Ministero delle finanze nel primo gabinetto Di Rudinì, nel 1896 era Ministro del tesoro nel secondo ministero Di Rudinì costituito dopo le infauste giornate di Adua.

Come Ministro del tesoro, Egli inaugurò quella politica del piede di casa che portò alle allora incerte condizioni del bilancio italiano dei benefici i quali hanno compensato la ancora giovane Italia delle amarezze e delle delusioni patite nel campo coloniale.

Nel 1899, in momenti difficili, il Nostro fu chiamato a presiedere la Camera dei Deputati; egli diede le dimissioni da tale carica quando incominciarono al parlamento gli spettacoli che divennero in seguito, e specialmente in questi ultimi anni, la consuetudine e che dimostrarono purtroppo quanto stesse decadendo la educazione politica degli italiani.

Come deputato, e più tardi come senatore, il Nostro lavorò in importanti commissioni di studio intorno ai problemi tecnici che interessavano la nazione, tenendo fede, ed una fede illuminata, alle idee sempre professate, fermamente credendo nel lento, ma sicuro sviluppo della sane forze produttrici della nazione.

Sostenne sempre che l'avvenire industriale dell'Italia, pove-

ra di materie prime, era intimamente connesso allo sfruttamento razionale del suo patrimonio idraulico, alla messa in valore dell'intelligenza diffusa nel popolo con la istruzione, ed all'intimo legame fra la scienza e l'industria.

Il Nostro ebbe la profonda convinzione che solo la scienza poteva dare all'industria italiana il posto e lo sviluppo che l'attività e lo spirito di sacrificio dei grandi pionieri meritavano, e fu fondatore e presidente di quel Comitato Nazionale Scientifico Tecnico per lo sviluppo e l'incremento dell'industria italiana creato durante la guerra, fra l'entusiasmo ed il consenso generale, che ottenne, per i laboratori scientifici annessi alle nostre università, delle dotazioni da parte del Governo e dei più illuminati industriali veramente notevoli, di quel Comitato che ancora oggi esplica la propria opera consultiva a favore dell'industria e si sforza, anche in periodo di così grande depressione, di tenere fede al programma sintetizzato mirabilmente dal Nostro nel discorso inaugurale del Comitato stesso.

Chiamato dall'unanime consenso degli insegnanti, degli ex allievi e degli allievi alla Direzione del Politecnico alla morte del compianto Francesco Brioschi, Egli tenne la onorifica carica per 23 anni circondato dalla venerazione degli insegnanti e dall'affetto degli allievi per i quali fu specialmente un padre ed un buon padre. Il Nostro era infatti di una mitezza d'animo e di una bontà grandi come la Sua mente; non potè mai comprendere come gli uomini potessero concepire il male e non conobbe quindi quella dannosa malattia che ha nome invidia e dilaga oggi nei giovani i quali vogliono arrivare e non risparmia alcuni di coloro che sono già arrivati.

E la Sua infinita bontà il Nostro estrinsecò in mille modi, ma specialmente prodigandosi in consigli, in raccomandazioni,

chiunque ricorreva al Nostro per una presentazione, per una raccomandazione, era certo di accomiarsi contento con una di quelle lettere scritte d'un fiato con la nota calligrafia artisticamente chiara, elegante, precisa, che il Nostro mantenne ferma e sicura fino agli ultimi giorni, calligrafia che meravigliava i giovani i quali non sospettavano certo quanta giovinezza di nobili sentimenti albergasse nel cuore e nella mente non più giovani di Giuseppe Colombo, quanta fiducia e quali speranze egli nutrì per la gioventù italiana, per coloro che Egli chiamava con giusto orgoglio "i miei studenti".

E di questi suoi studenti, ai quali perdonò sempre le manifestazioni esuberanti, godendo dei loro giusti entusiasmi, perché l'entusiasmo è l'avanguardia della volontà e della fede, specialmente dopo le sublimi prove di eroismo e di sacrificio fatte con la guerra, il Nostro parlò sempre con viva commozione, con profondo affetto.

Autorevole Membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione, il Nostro fu Presidente della relativa Giunta nel periodo durante il quale venne approvato il nuovo regolamento per le Scuole degli Ingegneri, regolamento che venne tanto discusso dai relativi docenti, giacché, mentre esso contiene delle disposizioni che hanno servito ad assicurare alla istruzione superiore l'opera di valenti professionisti, i quali, pure non avendo un bagaglio scientifico, hanno acquistato con la pratica una speciale e riconosciuta competenza in speciali rami della tecnica moderna, secondo alcuni tale regolamento ha troppo largheggiato nel concedere agli allievi ingegneri le libertà didattiche che formavano la caratteristica consuetudine delle Università italiane.

Ma il Nostro si mantenne, e con ragione, favorevole a tali concessioni, perchè, come Egli spesso ebbe occasione di ripetere,

i tempi erano e sono molto mutati, ed i giovani desiderosi di seriamente apprendere, possono sempre farlo purchè la scuola abbia a disposizione i mezzi necessari per impartire loro la istruzione nel campo applicativo e sperimentale.

Uomini e mezzi dei quali le nostre scuole oggi purtroppo più non dispongono per il numero decuplicato degli allievi che le frequentano, uomini e mezzi che invano il Nostro, con l'autorità del Suo nome e come Direttore e professore emerito del Politecnico milanese aveva chiesto insistentemente al Governo di Roma.

In questa ostinazione del Governo nel negare i mezzi per il regolare funzionamento della scuola, il Nostro, profondamente accorato, vide il preludio della decadenza della istruzione data dallo Stato.

E forse alla Sua mente, educata alle grandi concezioni, si affacciò l'idea di una scuola Politecnica libera come altri eletti ingegni oggi la concepiscono, una scuola senza pastoie burocratiche, senza vincoli di norme disciplinari, ma dotata dei mezzi materiali e finanziari necessari, frequentata solo da giovani guidati dalla forte volontà di apprendere e dalla coscienza del proprio dovere.

Perché la forte volontà e la profonda coscienza del dovere animarono sempre il Nostro, che per queste grandi virtù, per il largo contributo dato al progresso tecnico ed industriale dell'Italia nella lunga ed operosa esistenza, ebbe il premio migliore che un tecnico della tempra del Colombo potesse desiderare.

Nato quando la elettrotecnica era tutta nelle applicazioni della pila del sommo Volta o nelle dissertazioni del Galvani, egli ha veduto questa scienza svilupparsi, specialmente per opera di ingegni italiani, entrare più tardi nel campo delle applicazioni e

rivoluzionare il mondo tecnico ed industriale, col permettere la trasmissione del pensiero e della forza a centinaia di chilometri di distanza, ed i potenti alternatori, ed i mastodontici trasformatori ed i veloci e silenziosi motori elettrici servire onestamente da intermediari nella trasformazione del carbone bianco o di quello nero in lavoro meccanico, ed una industria elettrotecnica dalle geniali e multiformi manifestazioni svilupparsi ed ingrandirsi in Italia.

Nato quando il rumoroso ritrecine e la lenta ruota idraulica di pochi cavalli rappresentavano le massime utilizzazioni dell'energia idraulica, il Nostro ha veduto evolversi le teorie e le forme e migliorare i rendimenti di questi motori, e le veloci turbine di parecchie migliaia di cavalli di potenza muoversi nelle grandiose e artisticamente luminose centrali idroelettriche.

Iniziata la carriera di tecnico e di insegnante quando il vapore era timidamente usato a bassa pressione in macchine di piccola potenza dalle forme vignolesche, il Nostro ha assistito e partecipato all'evoluzione preziosa degli impianti per la utilizzazione dei combustibili fossili ed ha veduto le grandi turbine a vapore di migliaia di cavalli di potenza ed i potenti ed economici motori a combustione interna muoversi nelle moderne centrali termoelettriche.

Nato quando le lente e traballanti diligenze rappresentavano i mezzi di trasporto più rapidi, il Nostro ha veduto svilupparsi le grandi vie dei traffici nazionali ed internazionali, e le potenti locomotive a vapore od elettriche trascinare i pesanti treni attraverso i monti, sopra le valli, per le larghe pianure, e le eleganti automobili ed i capaci autocarri correre veloci le strade della nuova Italia.

Dopo il trionfo della vela nella lenta ed incerta navigazione, il Nostro ha assistito all'apoteosi del vapore sui maestosi e

comodi colossi del mare, ed ha veduto le fantasie del Verne diventare una sicura realtà con i sommergibili, i dirigibili e l'aeroplano.

Nato in un'Italia povera, divisa e dominata da autocrati stranieri, il Nostro ha potuto vedere la prodigiosa storia della sua indipendenza, portandovi il contributo di un volontario del 1866, ed ha chiuso gli occhi, che avevano veduto tante meraviglie della scienza e della tecnica, in un'Italia libera fra i confini segnati dalla natura e dai grandi poeti, un'Italia per gli eroismi ed i sacrifici e le opere dei figli migliori assisa fra le grandi nazioni produttrici.

Quale maggiore soddisfazione poteva provare il Suo spirito eletto, quale più ambito premio ricevere dopo aver tanto cooperato ed essersi tanto prodigato per il progresso tecnico ed industriale della Patria! Perché è al Nostro, direttamente, od attraverso la falange degli allievi, che ne assimilarono le idee e le tradussero in opera o le divulgarono dalle cattedre per tutta l'Italia, è a Giuseppe Colombo specialmente che si deve il progresso tecnico ed industriale della nostra Nazione.

Ed in quest'opera Egli fu veramente grande e grandemente modesto; non ambì nè cercò le lodi che i giornali ormai riservano solo ai virtuosi dell'arte e dello Sport, ma stette in disparte a contemplare la grande opera compiuta, pago e lieto dell'ammirazione e della riconoscenza e del grande affetto dei discepoli, dai migliori dei quali ebbe dedicate le opere più importanti della letteratura tecnica italiana, in mezzo ai quali Egli amò sempre trovarsi.

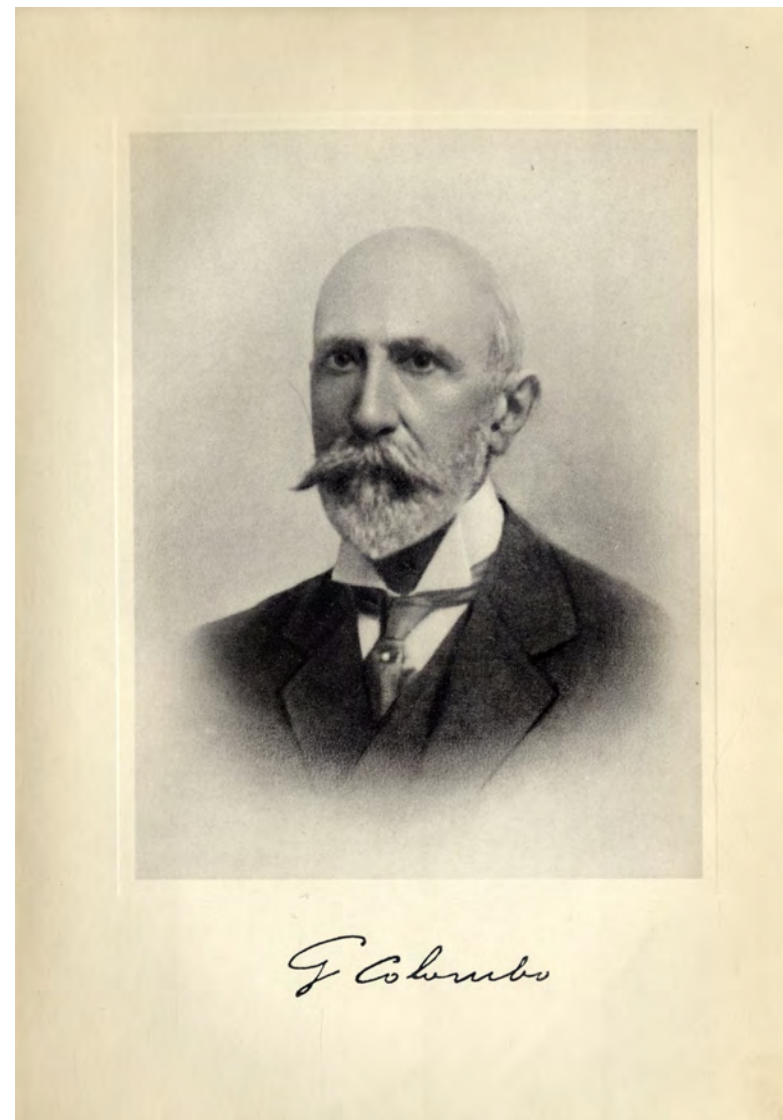
Insignito di numerosissime ed importanti onorificenze italiane ed estere, Senatore del Regno e due volte Ministro, Presidente o Consigliere di molte Società anonime, Presidente generale della Associazione Elettrotecnica, due volte presidente

del Collegio degli ingegneri di Milano, Presidente del Comitato Nazionale Scientifico e Tecnico per lo sviluppo e l'incremento dell'Industria italiana e di molte commissioni di studio, Presidente dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, Professore emerito e Direttore del Politecnico di Milano, il nostro volle specialmente essere l'ingegnere Giuseppe Colombo, il primo ingegnere italiano, l'autore del noto manuale, il professore chiaro ed eminente che molti ricordano, il pioniere dell'industria elettrica italiana.

Egredi Colleghi,

Nel primo anniversario della Sua morte, pochi giorni or sono, in un malinconico meriggio, allievi ed insegnanti hanno portato sulla tomba ancora nuda del Maestro dei fiori ed una tacita promessa. La promessa di rendersi degni di Lui, di continuare il solco indelebile che Egli ha tracciato nella operosa esistenza.

Questa sacra promessa noi possiamo fare nostra a nome dei tecnici e degli elettrotecnici italiani, e tradurla in atto. Sarà questo omaggio più puro alla memoria del Primo ingegnere elettrotecnico italiano, il monumento ideale più efficace per tramandare ai posteri un ricordo ed una riconoscenza per noi incancellabili.



Ars et Labor

1. Paolo Buzzi, *Aeroplani*
prefazione di Giampaolo Pignatari
2. Luca Beltrami, *Guida storica del Castello di Milano 1368-1894*
prefazione di Amedeo Bellins
3. Giacinto Motta, *Il Telefono*
prefazione di Vittore Armanni
4. Giovanni Schiaparelli, *Forme organiche naturali e forme geometriche pure*
prefazione di Elena Canadelli
5. Ignazio Cantù, *Album dell'Esposizione industriale italiana 1871*
prefazione di Ilaria M. P. Barzaghi
6. Gaetano Cantoni, *L'agricoltura in Italia*
prefazione di Tommaso Maggiore
7. Mario Morasso, *Il nuovo aspetto meccanico del mondo*
prefazione di Germano Maifreda
8. Luigi Barzini, *Il volo che valicò le Alpi*
prefazione di Giovanni Caprara
9. Antonio Stoppani, *Acqua ed aria*
prefazione di Elena Zanoni
10. Plinio Schivardi, *Manuale teorico pratico di elettroterapia*
prefazione di Christian Carletti
11. Giuseppe Volante, *Condizioni igieniche e sanitarie dei lavori del Sempione*
prefazione di Vito Foà con un saggio di Gaia Piccarolo
12. Antonio Stoppani, *L'Iliade Brembana*
prefazione di Riccardo Airoidi
13. Giuseppe Colombo, *Il "carbone bianco"*
prefazione di Renato Giannetti

Ars et Labor Album

1. Armando Silvestri, *Chavez e il Circuito di Milano*
prefazione di Andrea Curami e Paolo Pennacchi
2. Guido Ucelli, *Le navi ritrovate*
prefazioni di Domenico Lini e Nora Lombardini
3. Giuseppe Mercalli, *I vulcani attivi della Terra*
prefazione di Giuseppe Luongo

Finito di stampare
nel mese di novembre 2013
presso l'Associazione Padre Monti - Saronno