

Energia e sostenibilità: un futuro nato a Genova 130 anni fa

Paolo Pinceti *Università di Genova - Dip. DITEN*
Maurizio Vanti *Renenergetica Spa*

Il presente articolo intende ripercorrere la storia del pionieristico Acquedotto De Ferrari-Galliera, il primo al mondo nel 1889 a integrare la distribuzione elettrica con la distribuzione dell'acqua potabile

Serendipity: Il termine serendipità indica la fortuna di fare felici scoperte per puro caso e, anche, il trovare una cosa non cercata e impreveduta mentre se ne stava cercando un'altra [Wikipedia]. Una specialità dei genovesi, da quando Cristoforo Colombo ha trovato l'America cercando le Indie.

Durante una ricerca sui sistemi di *High Voltage Direct Current*, i moderni sistemi che consentono di controllare enormi flussi di energia elettrica su grandi distanze, ci siamo imbattuti nella pagina di *Wikipedia* (edizione in inglese) che elenca questo tipo di impianti suddivisi per continente ed ordinati cronologicamente. I più antichi sistemi di trasmissione di energia elettrica sono ovviamente in Europa, e il più vecchio è un impianto sperimentale tra Monaco e Miesbach in Germania, del 1882, oggi non più operante. Il secondo più antico, del 1889, collegava il *Gorzente River* con *Genoa*. Incuriositi, e anche un po' infastiditi per aver dovuto scoprire la faccenda su un sito americano senza che noi, genovesi, ne sapessimo nulla, abbiamo approfondito la storia di questo collegamento. Si è potuta così riscoprire la storia di un primato genovese, ormai dimenticato, che merita d'essere conosciuto e ricordato.

Abbiamo avuto il piacere di ricostruire la storia dell'Acquedotto De Ferrari-Galliera (DFG), poi AMGA,

ora IREN, grazie all'archivio storico che Fondazione AMGA ha ammirevolmente preservato, che è stato il primo al mondo a integrare la produzione e distribuzione elettrica con la distribuzione dell'acqua potabile. I creatori dell'Acquedotto DFG, grandi tecnici e manager diremo oggi, ebbero intorno al 1885 l'idea di sfruttare il salto dell'acqua che dai laghi del Gorzente era diremmo distribuita ai genovesi per produrre energia elettrica. Già questa integrazione rappresenta di per se un elemento di assoluta novità, che si aggiunge all'ideazione di un sistema di distribuzione in corrente continua alla tensione eccezionale (per l'epoca) di 15 kV per vendere alle fabbriche dell'Alta Val Polcevera la "forza motrice" necessaria a muovere le macchine e liberarle dalla stagionalità dei mulini idraulici. Per la prima volta al mondo, l'energia elettrica è utilizzata per produrre lavoro, creando un business mai esistito prima: la distribuzione e la vendita dell'energia elettrica. Fino ad allora infatti l'energia elettrica era utilizzata per sistemi di illuminazione pubblica e privata delle città oppure per produrre lavoro per un singolo utente con soluzioni del tipo punto a punto, dove quasi sempre produttore e utilizzatore coincidevano. A Genova no: l'acquedotto vende energia elettrica e forza motrice a utenti privati diversi, indipendenti, e su un'ampia area. I manager del DFG si inventano un modello di business per vendere potenza e lavoro, definendo per gli utenti una vera e propria "tariffa binomia". Anche quella che oggi chiamiamo "tariffa multioraria" nasce qui, con la diversificazione tariffaria dei "cavalli diurni" (l'energia prelevata di giorno) dai "cavalli notturni" (quella prelevata di notte). Dalla Val Polcevera, la distribuzione elettrica si estende verso il centro di Genova mediante una linea aerea di più di 20 km che arriva in piazza Goito. Da qui si diparte una rete per la distribuzione dell'energia a famiglie (benestanti) e aziende. Per migliorare la qualità del servizio, viene realizzato un sistema di alimentazione di emergenza mediante un gruppo turbina-dinamo ausiliario alimentato dall'acqua di quello che oggi chiamiamo Acquedotto storico,

che all'epoca era invece nuovo. Non contenti, studiano la possibilità di accumulare con batterie elettro-chimiche l'energia nelle ore di basso carico per poterla utilizzare in quelle di alto carico (quando si vende a prezzo più alto), e si lamentano per "l'ancora elevato costo delle batterie".

Le soluzioni tecniche escogitate, i modelli di business inventati, lo sfruttamento intelligente delle risorse energetiche, fanno del caso Genova un *unicum* mondiale. Ricostruire la storia della distribuzione elettrica genovese negli anni dal 1885 al 1915 circa è un viaggio nel passato dell'elettrotecnica,

industriali. Tra i suoi più di mille brevetti, quello della lampada elettrica fu senz'altro il più redditizio. La Edison Electric Light Company, finanziata tra gli altri dal mitico banchiere-mecenate J.P. Morgan, nel 1879 sviluppò il primo impianto d'illuminazione elettrica nel suo laboratorio a Menlo Park (NJ). Edison e imprese a lui consociate realizzano altri impianti d'illuminazione di edifici o esibizioni a Londra, New York, Milano tra il 1882 e il 1883, sempre utilizzando una tensione di 110 V in corrente continua. Intorno a quegli stessi anni il francese Gaulard e l'inglese Gibbs sviluppano il trasformatore e ne vendono l'idea all'americana

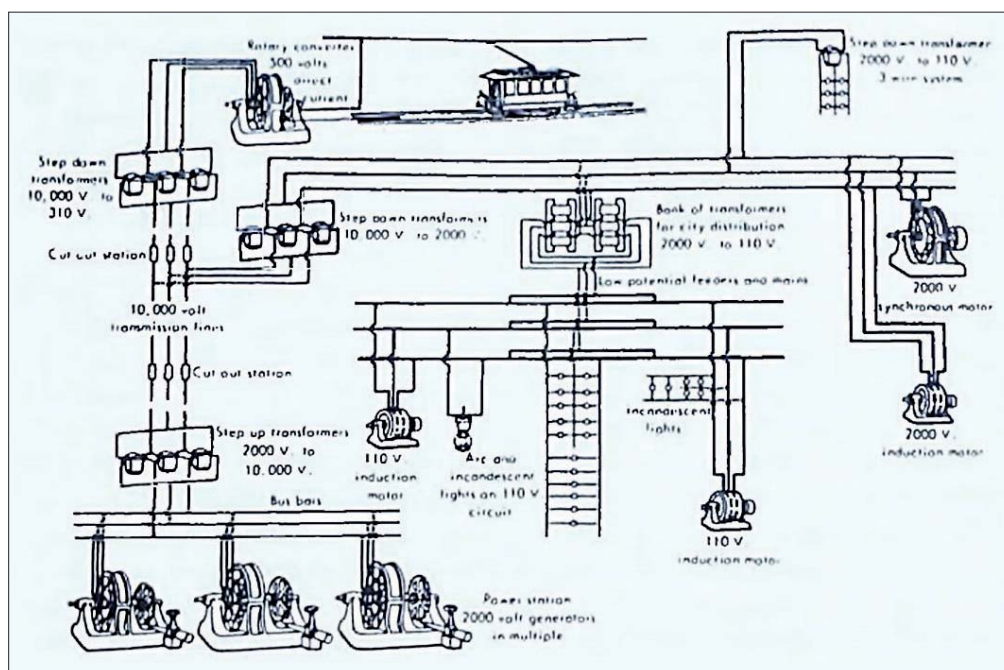


Figura 1
Sketch originale del Sistema di Distribuzione Universale

ed è affascinante scoprire, dai documenti originali spesso autografi, come molti grandi scienziati e tecnici di tutta Europa vi abbiano preso parte.

Ancora più affascinante scoprire l'incredibile modernità delle vicende del DFG, che anticipano di oltre un secolo quelle che sono oggi le tecnologie di punta e le tematiche sulle quali si muove la ricerca: sistemi di accumulo (oggi li chiamiamo di *storage*), utilizzo della corrente continua, tariffe multiorarie personalizzate, impatto ambientale degli elettrodotti, ecc., erano già temi sui quali si confrontavano e ai quali trovavano soluzioni i manager del DFG. Forse che la tanto decantata modernità di oggi non sia poi così moderna?

I pionieri dell'elettricità

Thomas A. Edison (1847-1931) fu, se non il primo certamente, il più efficace scienziato capace di trasformare le sue scoperte e invenzioni in attività

Westinghouse che realizza i primi sistemi sperimentali d'illuminazione in corrente alternata, che culminano nel 1893 con la famosa White City realizzata per la Fiera Internazionale Colombiana di Chicago. Impianti simili sono realizzati tra il 1885 e il 1890 anche dalla Ferranti-Ganz e dalla Edison, con tensioni di distribuzione tra i 400 e i 2.000 V. È del 1893 il concetto definito dalla Westinghouse del "Sistema di Distribuzione Universale" che tratteggia un sistema elettrico come ancor oggi lo concepiamo (Figura 1).

Tutte le prime applicazioni dell'energia elettrica sono finalizzate all'illuminazione pubblica, e oggi diremmo sono di tipo punto a punto: una centrale di produzione, una linea, un'utenza. Nella maggioranza dei casi la proprietà di centrale di produzione e del sistema d'illuminazione coincidono. Il primo utilizzo dell'energia elettrica per azionare macchine è del 1890, quando la Alberto Preve Impianti realizza per la Società Anonima dell'Acquedotto

mi del '900 diverrà Il Politecnico di Torino). Impiegata per la prima volta a Logenbach, presso Colmar in Alsazia, per alimentare un "opificio di tessitura meccanica", la telodinamica consente di allontanare l'opificio dal corso d'acqua, trasmettendo la forza meccanica dell'acqua anche a centinaia di metri di distanza (Figura 3).

Uno dei problemi che ADFG aveva era di controllare la pressione nelle tubazioni, essendo l'opera di presa a circa 620 m slm. Nasce quindi l'idea di utilizzare il salto di pressione per produrre energia da fornire a terzi; non già quindi una turbina asservita a un'utenza, evoluzione del vecchio mulino, ma un vero e proprio sistema di recupero energetico *ante litteram*, ancora oggi funzionante (ovviamente con macchine e tecnologie diverse). Le turbine consentono così di regolare la pressione e nello stesso tempo di generare un buon flusso di cassa con la vendita dell'energia meccanica recuperata, opzione molto apprezzata in quel di Genova.

In prossimità del punto di arrivo della condotta forzata viene costruita la "stazione generatrice della forza" dove vengono installati due motori da 300 cavalli "in previsione di un aumento avvertito di forza per l'esercizio dell'anzidetto jutificio". Fissati all'albero delle turbine sono due pulegge

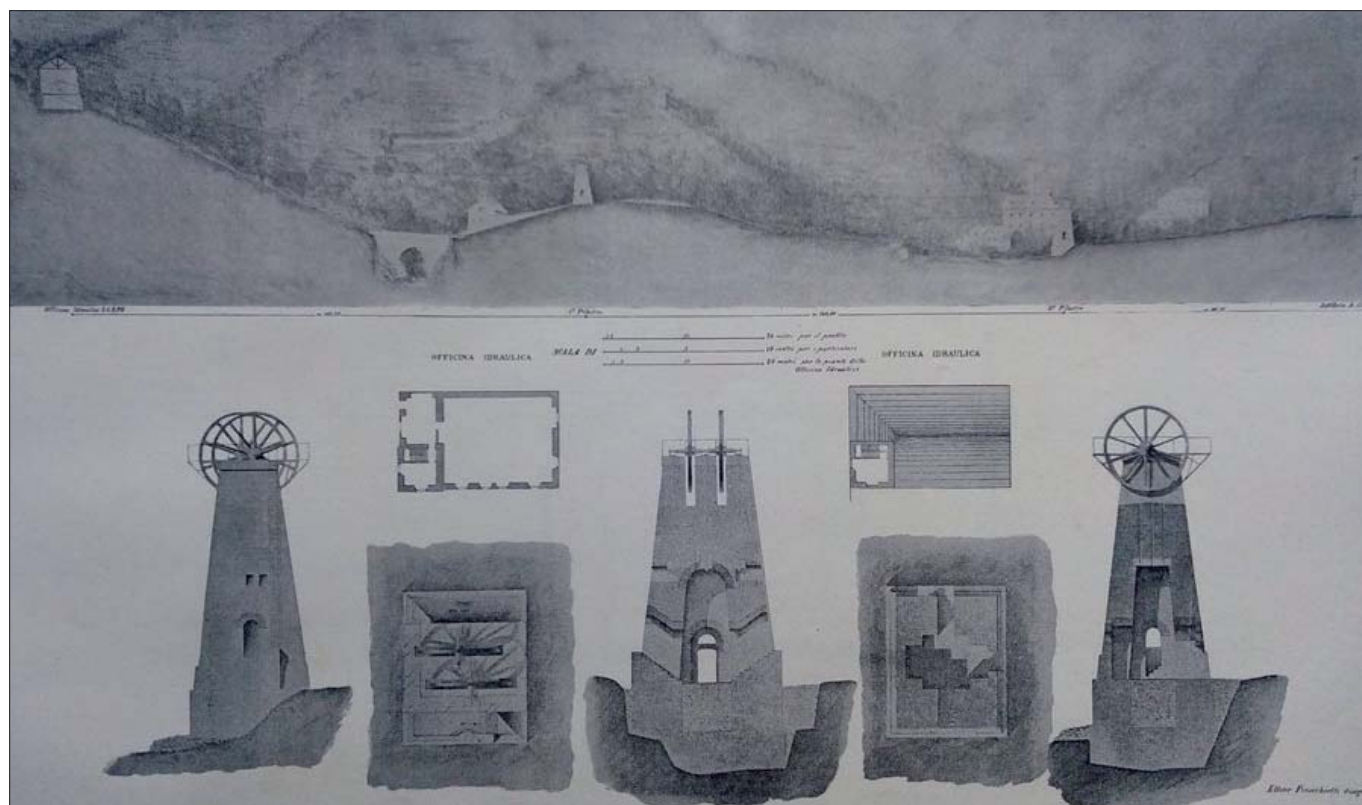
(chiamate "volanti") di 5 metri di diametro nelle quali scorre una fune di acciaio con 72 fili da 4,5 mm² ciascuno. La distanza tra la stazione generatrice e lo jutificio è di circa 400 metri, e diventa quindi necessario interporre due pilastri dotati ciascuno di due pulegge il cui "incavo contiene una guarnitura con pezzi di cuoio di ugual forma sulla quale scorre la fune metallica". In arrivo nello jutificio sono installate "due volanti ad una gola [...] apposti sull'albero principale della trasmissione interna di detto jutificio".

Di particolare interesse il calcolo del rendimento della trasmissione telodinamica che il Bruno sviluppa considerando la configurazione con una sola turbina, con una fune o due turbine con due funi. Sono calcolate le "perdite di forza" nel locale turbine, sui due pilastri, e sull'albero principale della trasmissione dello jutificio, arrivando alla disponibilità di 279,20 "Cavalli dinamici" nel primo caso (una turbina) e di 562,80 nel secondo (due turbine). Nel dicembre 1888 vengono eseguite "esperienze dirette a stabilire il rendimento dell'impianto mediante applicazione del freno dinamometrico di Prony sull'albero della trasmissione dell'jutificio", ottenendo un rendimento variabile tra 0,77 e 0,82 a seconda delle pressioni dell'acqua.

Proprio i bassi rendimenti saranno tra le prime cause dell'abbandono della telodinamica a vantaggio della nascente tecnologia elettrica.

Figura 3

Schema e strutture dell'impianto telodinamico



Le stazioni elettriche

Per superare i problemi della telodinamica, sin da subito l'ing. Bruno studia la possibilità di realizzare una distribuzione di energia elettrica. Nella seconda metà del '800 le tubazioni erano per lo più realizzate in lamiera chiodata, e non erano in grado di sopportare la pressione che il salto di circa 350 metri avrebbe creato. La condotta forzata era stata quindi necessariamente interrotta in tre punti a tre quote diverse, dove l'ing. Bruno progettò di costruire le tre "centrali di produzione della forza". Con molto senso del marketing, diremmo oggi, decide di intitolarle a tre illustri fisici italiani: Pacinotti (a 514 m slm), Volta (410 m slm), e Galvani (270 m slm). Nella foto d'epoca di figura 4 si vedono le tre centrali (che all'epoca sono chiamate "stazioni", e a questa dicitura ci atterremo) e una torre della telodinamica (in basso a destra). Con una portata nominale di 530 litri/secondo, la disponibilità di forza era pari a:

- Stazione Pacinotti 520 Cavalli dinamici;
- Stazione Volta 560 Cavalli dinamici;
- Stazione Galvani 280 Cavalli dinamici +
400 Cavalli
per la telodinamica.

Con molto senso pratico, il Bruno "prevede [...] prima che si accingesse a eseguire il suddetto primo impianto per produzione trasmissione di forza per mezzo dell'elettricità gli ostacoli che sarebbero sollevati contro la sua attenzione, per cui si diresse al Governo del Re onde riconoscesse l'interesse pubblico delle opere [...] all'effetto di valersi della legge vigente sulle espropriazioni per causa di utilità pubblica per acquistare i terreni e le servitù di passaggio occorrenti. La domanda trovò accoglimento, e conforme Reale decreto promulgavasi addì 18 ottobre 1887".

Forte di questa autorizzazione reale, ADFG decide di raddoppiare la condotta al fine di "offrire agli industriali quelle garanzie di continuità della forza quali possono ripromettersi valendosi di ogni altro mezzo".

Nel 1888, ADFG lancia una gara per la realizzazione del sistema di produzione, trasporto e conversione di energia elettrica alla quale partecipano:

- Oerlikon di Zurigo;
- Walzer di Torino;

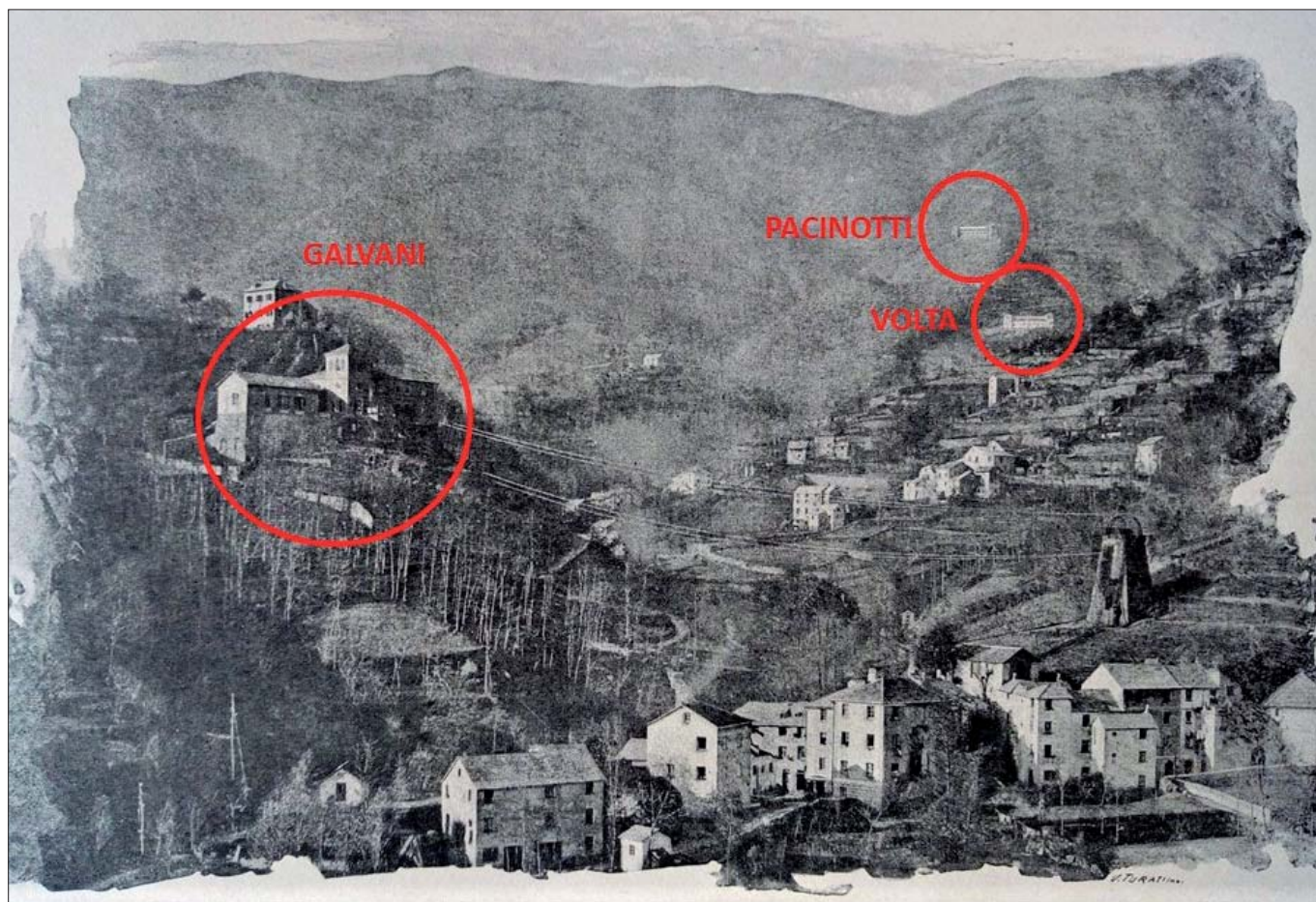


Figura 4
Le tre Stazioni dell'Acquedotto De Ferrari Galliera

- Ganz di Budapest;
- Alberto Preve Impianti di Genova.

La Alberto Preve Impianti propone un sistema di trasmissione in corrente continua, a corrente impressa, con motori in serie che brevetterà nel 1891 (G.U. n. 297 del 21 dicembre 1891, pos. 158, *Trasporto elettrico del lavoro e sua distribuzione con motori serie*). Vuoi per la tecnologia proposta, vuoi perché il Preve è nipote del Comm. Bigio (*honni soit qui mal y pense*), la Preve Impianti vince la gara e tra il 1889 e il 1890 realizza la Stazione Galvani, equipaggiandola con due dinamo di Thury prodotte dalla svizzera Cuenod & Sautter, che diventerà in seguito la Industrie Electricque Geneve. A seguito di questa fornitura, Thury, che nel mondo anglo-sassone chiamano *the King of DC*, aprirà a Genova la Compagnia dell'Industria Elettrica che produrrà dinamo a corrente continua e a corrente alternata (*sic*), impianti ferroviari, funicolari, impianti elettrometallurgici, regolatori e lampade fino al secondo decennio del '900. Thury aveva fabbriche simili a Ginevra (dove viveva) e Parigi. Le dinamo di Thury, che era stato per sei mesi *visiting researcher* nei laboratori di Menlo Park, sono molto più compatte ed efficienti di quelle di Edison. Il sistema a corrente impressa di Thury deriva da quello ideato qualche anno prima da Brush per l'alimentazione delle lampade ad arco, con miglioramenti sostanziali nel sistema di controllo. Quella di Genova è la prima applicazione delle teorie di Thury, senz'altro coraggiosa e, a posteriori, vincente.

La Stazione è inaugurata il 16 maggio 1890, ed è spassosa la lettura dell'articolo che *Il Secolo XIX* gli dedica. Dopo un lungo elenco di autorità che include il Rettore dell'Università, alcuni senatori del Regno, il comandante dei Carabinieri, il direttore dei telegrafi, i capistazione di Sampierdarena e Pontedecimo (che oggi non sono nemmeno presidiate), il giornalista (probabilmente Michelin, ma in quegli anni gli articoli di giornale non erano firmati) descrive come la comitiva raggiunse *"l'amena vallata della Polcevera, tutta agghindata con bandiere, e bei volti femminili e abbronzati volti maschili, a Isoverde. [...] Gli invitati (più di 200) ebbero in breve d'ora campo di visitare tanto le turbine, [...] quanto le due dinamo (di cui non crediamo di dover dare la descrizione tecnica) della potenzialità di 130 cavalli elettrici [...] il nuovo stabilimento prelude a due altri stabilimenti, che saranno suoi fratelli maggiori, e sorgendo più in alto saranno capaci di trasmettere qualche cosa come un*

430 cavalli elettrici. L'industria genovese esulti! Notiamo ancora che di 130 cavalli sviluppati dalle due dinamo [...] 25 sono adibiti dalla fabbrica di paste alimentari Montaldo di Rivarolo, 10 dalla società Barabino di Bolzaneto, 15 dai fratelli Boccardo di Teglia, 25 dalla Società di Stearineria Italiana di Rivarolo" [che poi diventerà la Mira Lanza, nda]. Il giornalista descrive poi lo jutificio Costa, non mancando di evidenziare come *"fu felice la natura nel mettere al mondo la maggior parte delle lavoratrici"* e tessendo le lodi del cav. Costa che, bontà sua, ha *"lasciato aperta (ad operai ed operaie) la via a larghi guadagni col concedere il lavoro a cottimo"*. Lo jutificio conta 125 telai e produce da 6.000 a 6.500 kg di juta al giorno, attingendo la forza dalle volanti che compiono 7.500 giri per ogni giorno di lavoro. Da lì in poi l'articolo descrive con dovizia di particolari le bevande (*"un miracoloso vermouth"*) e il *"lunch"* (in inglese nell'articolo!) realizzato dal maestro Angiolino Roncallo, che *"è il re dei cuochi: alla corte di Luigi XIV sarebbe stato il cuoco del re"*. Segue l'elenco dei brindisi e dei discorsi delle autorità: gli ospiti Bigio e Bruno, il prefetto, il sindaco, il rappresentante della stampa, il delegato degli azionisti. Manca il prof. Pacinotti che era stato invitato ma aveva declinato per motivi di salute; così il prefetto decide di inviare un telegramma che recita: *"Professore Paccinotti (sic), 200 invitati della Società De Ferrari Galliera all'inaugurazione del primo impianto della trasmissione della forza motrice per mezzo dell'elettricità (sic), grato a voi della scoperta che rende possibile tale applicazione orgogliosi come italiani, vi mandano un saluto nel nome del genio d'Italia"*. Da buon politico, è pomposo, sgrammaticato e retorico; nulla di nuovo sotto il sole.

L'entusiasmo del giornalista è pienamente giustificato: la Stazione Galvani è imponente, con due sale macchine da 13,20 x 10,60 e 14,00 x 6,50 metri, e una terza in progetto da 21,50 x 5,80 (Figura 5). L'acqua scaricata dalle turbine è raccolta in una sala sotterranea da dove parte l'acquedotto che alimenta Genova. L'edificio della stazione esiste ancora, trasformato in una villa residenziale sulla collina che sovrasta Isoverde.

Visto il successo del primo impianto, ADFG realizza la Stazione Volta nel 1891 e la Stazione Pacinotti nel 1892. Entrambe sono equipaggiate con quattro turbine Pelton da 140 CV (con predisposizione per una quinta) e due da 15 CV, ciascuna delle quali traina una Dinamo Thury. Le due stazioni sono identiche, con una superficie di più di 400 m², compresa una sala macchine

da 25 x 9,6 m e 11 locali di servizio, dove *“il maggiore, al piano terraneo, è destinato ad officina di riparazione, gli altri servono d'alloggio alle guardie e al loro capo”*. Nella Stazione Volta è installata una turbina da 5 CV *“per azionare una dinamo producente la corrente per l'illuminazione a luce elettrica delle due stazioni”*. La figura 6 mostra l'interno della Stazione Volta intorno al 1895, dove si possono vedere in primo piano i due gruppi da 25 CV e dietro i quattro gruppi da 140 CV.

La Stazione Volta porta l'energia elettrica nel cen-

tro di Genova attraverso una linea lunga più di 23 km, mentre la Pacinotti alimenta l'area industriale di Sampierdarena con una linea di più di 16 km. La figura 7 mostra la rete di distribuzione in corrente continua di ADFG dal 1893.

La gestione degli impianti di distribuzione e, diremmo oggi, i servizi all'utenza sono sin da subito affidati alla Società Anonima Officine Elettriche Genovesi (OEG), guidata dall'ing. Giacomo Reggio, e partecipata dal Bruno. La separazione tra produzione e distribuzione dell'energia (*unbundling*) inizia quindi nel 1890.

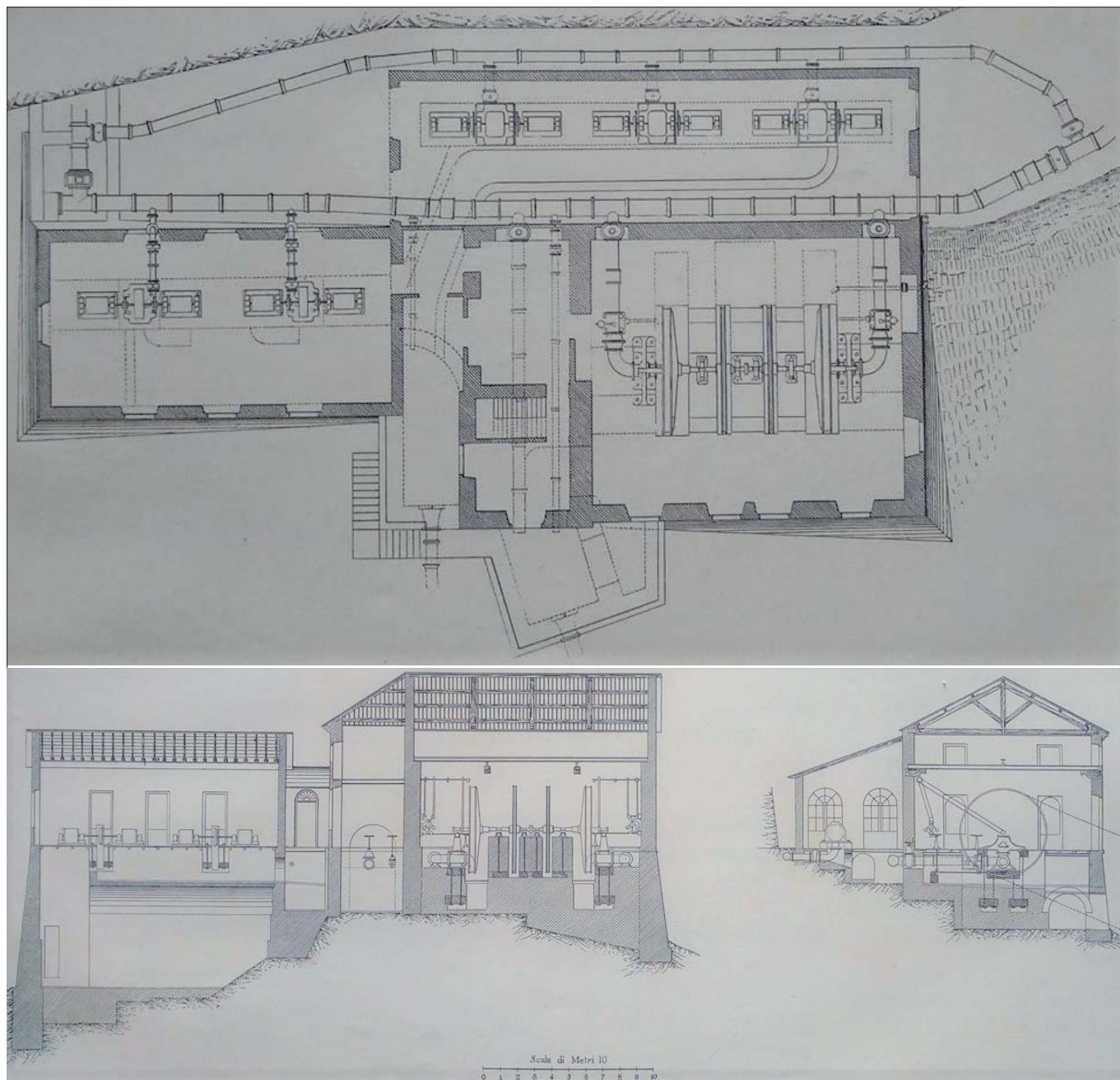


Figura 5
Il progetto della Stazione Galvani

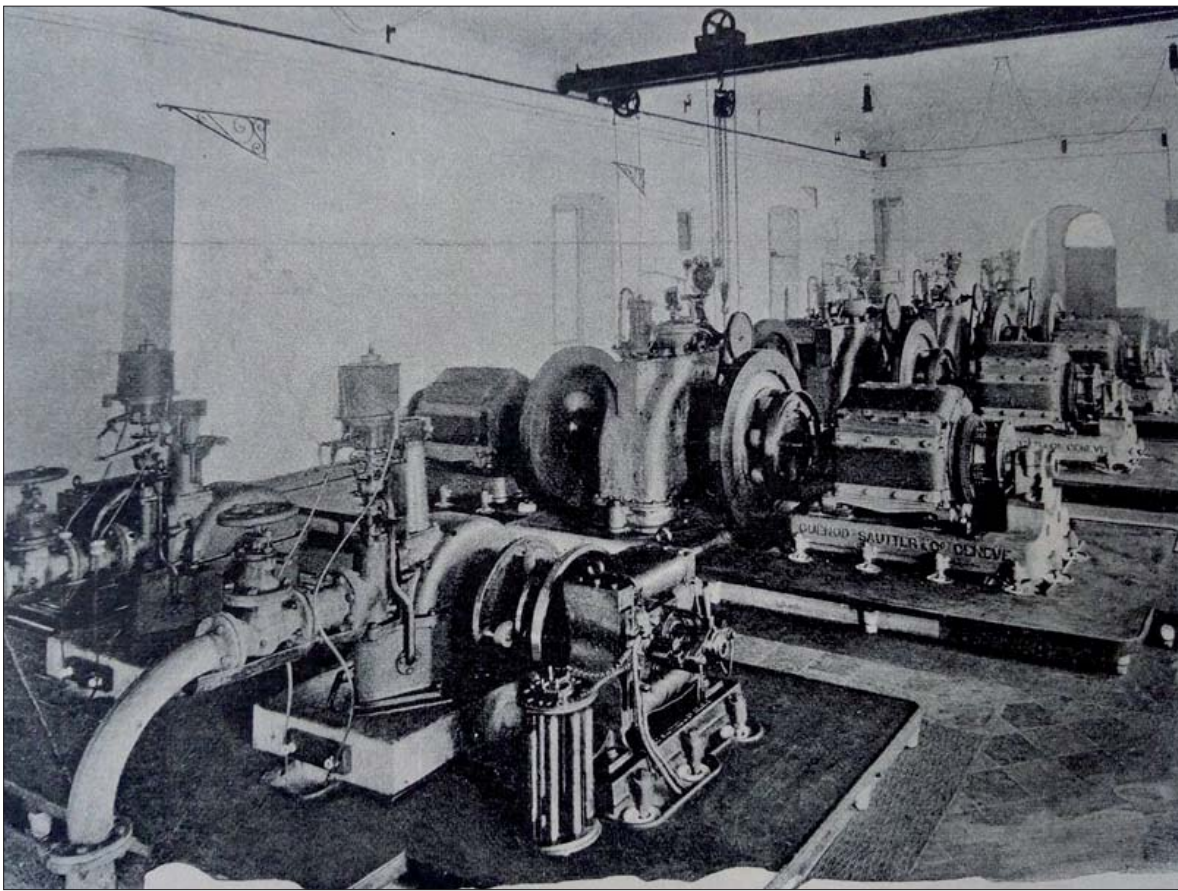


Figura 6
Interno della Stazione Volta

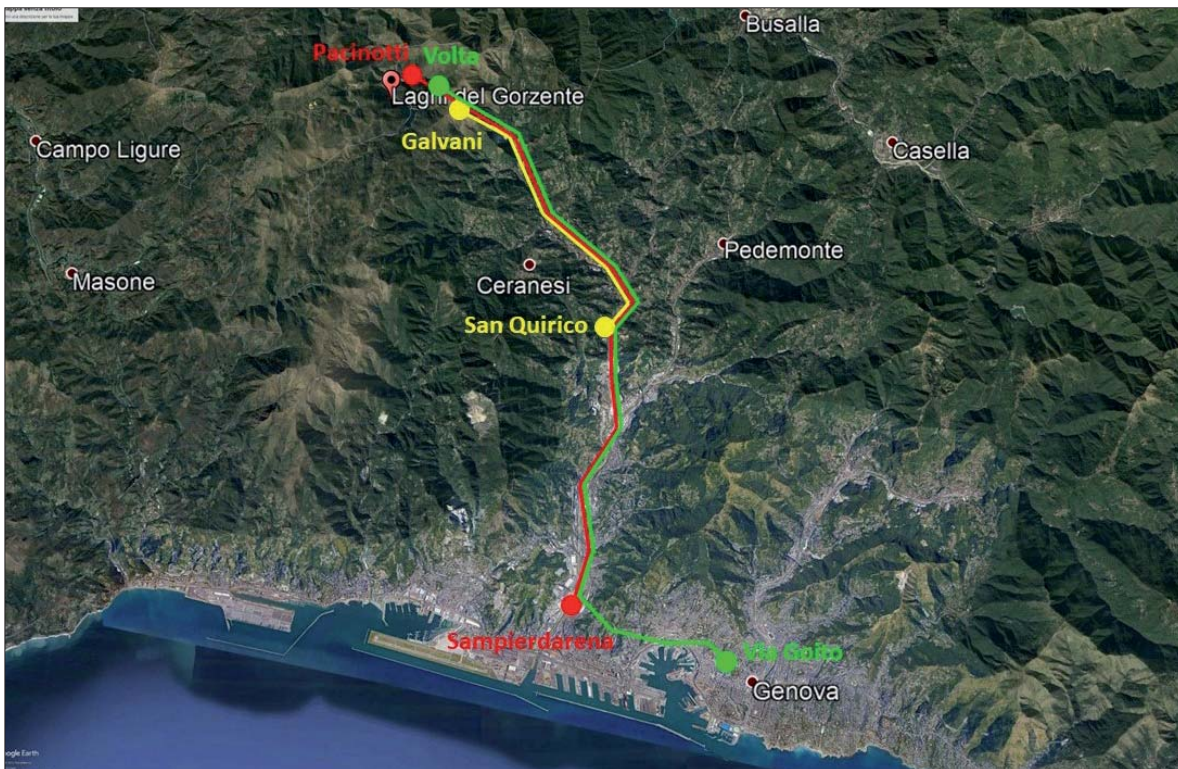


Figura 7
La rete elettrica genovese nel 1893

La tecnologia

Trasmissione a corrente impressa

Il metodo di trasmissione in corrente continua ideato dallo svizzero René Thury venne applicato in modo operativo per la prima volta nell'impianto del ADFG. Le dinamo sono collegate in serie e funzionano a corrente costante, sommando le tensioni ai morsetti. Lo scollegamento di un gruppo si ottiene chiudendo un interruttore cortocircuatore (CB1 e CB2 in figura 8), e la tensione in uscita è flottante rispetto a terra. Le dinamo sono isolate dalle turbine mediante manicotti elastici isolanti (sistema Rafard). Ogni dinamo ha sei poli, e sviluppa alla velocità di rotazione nominale di 475 g/min una corrente di 44 A alla tensione di 1.054 V, assorbendo una potenza di 70 CV. Una turbina da 15 CV agisce mediante un manicotto elastico isolante su una dinamo eccitatrice separata. L'ing. Bruno aggiunge che "ad ogni gruppo di due dinamo generatrici della corrente va unito un quadro in legno (sic) su quale sono fissati: un voltmetro di 1400 volts, un amperometro a 50 ampères, un disgiuntore automatico di tensione, un interruttore per la messa della corrente in corto circuito". Il personale che opera nelle stazioni "è protetto per un tavolato isolato su porcellana, disposto tanto attorno alle generatrici che ai motori. Così pure si copersero i muri in prossimità delle macchine e degli apparecchi in comunicazione con la corrente". A detta del Bruno, questa soluzione non diede mai luogo ad alcuna "derivazione" (oggi "dispersione") nelle dinamo.

Essendo il sistema a corrente impressa, "le generatrici devono mantenere rigorosamente invariata l'intensità della corrente nella condotta, qualunque sia l'estensione di questa ed il numero di motori alimentati. Al contrario la pressione (sic) ne-

cessaria in volts è essenzialmente variabile. Nei giorni di festa, per esempio, tutti i motori si arrestano ad una data ora della giornata; le generatrici non devono allora fornire che il numero di volts corrispondente alla perdita di carica della condotta che si accertò fra i 450 ed i 500, mentre in certe ore della sera, nelle quali si verifica il massimo assorbimento di energia, la tensione della corrente elevasi fino a 5000 e 6000 volts. Adunque la tensione che deve fornire la stazione generatrice cambia di continuo con variazioni che più che 1:10". Bruno osserva poi le variazioni di tensione avvengono a scatti, con brusche variazioni di migliaia di Volt in pochi secondi. Per stabilizzare il funzionamento del sistema "si munirono (le generatrici) di sufficienti volanti [volani, nda] e di sensibilissimi regolatori di velocità".

Va osservato che mentre le descrizioni tecniche, i disegni architettonici e meccanici dell'epoca sono spesso vere opere d'arte, lo stesso non accade per gli schemi elettrici. Non venivano realizzati quelli che oggi sono gli schemi unifilari, né esistevano gli schemi a blocchi per descrivere i sistemi di automazione e regolazione, lasciando tutto alla descrizione verbale. Proviamo a tradurre in linguaggio corrente la descrizione del funzionamento del sistema di controllo delle dinamo. Le turbine girano a velocità costante, ciascuna controllata dal proprio regolatore meccanico, e la tensione di uscita delle dinamo è controllata variandone la correnti di eccitazione, ottenuta da una dinamo ausiliaria, in maniera da mantenere costante la corrente in uscita (a 44 A). In ogni stazione vi è quindi un unico regolatore di tensione, indipendentemente dal numero di dinamo in servizio. Se la corrente del carico aumenta, ad esempio, il re-

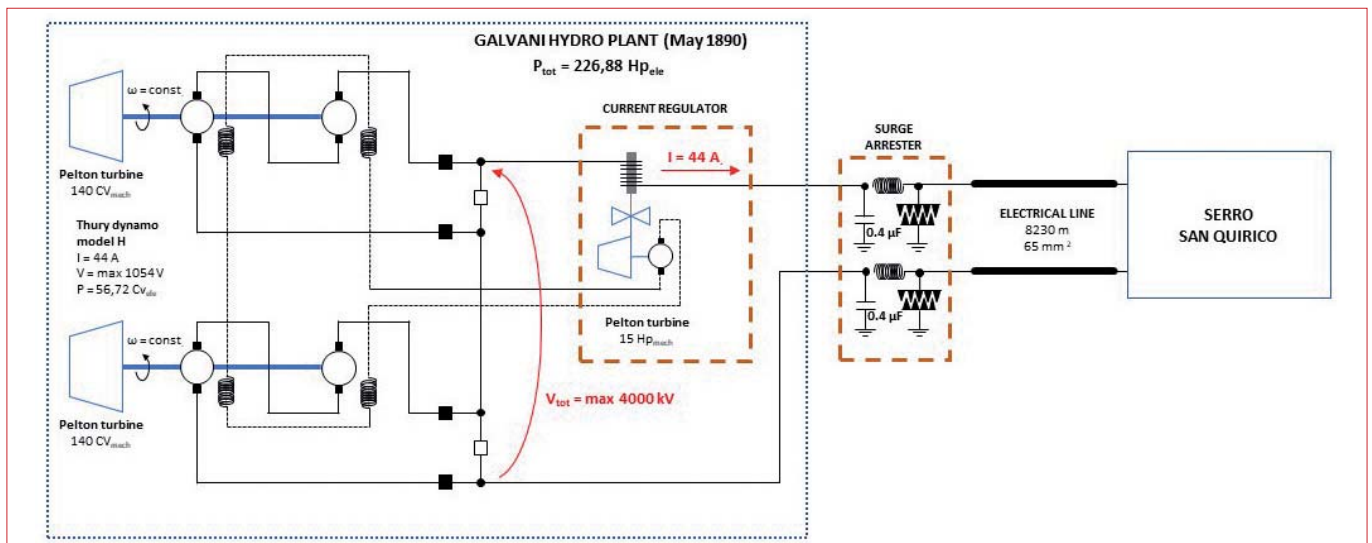


Figura 8

Schema elettrico della Stazione Galvani

golatore di corrente parzializza il distributore della turbina ausiliaria riducendone la velocità ed abbassando così la tensione di eccitazione alle dinamo. Al contrario, se la corrente in uscita diminuisce la velocità di rotazione della dinamo ausiliaria aumenta, alzando così la tensione di eccitazione delle dinamo in servizio. Per migliorare la risposta dinamica del sistema di generazione, necessaria a limitare le sovracorrenti dovute, ad esempio, dal distacco di un motore di grossa taglia in condizioni di rete a basso carico, la dinamo degli ausiliari è costruita in modo da avere una bassa inerzia meccanica. La dinamo ausiliaria è a sua volta eccitata da un circuito separato, alimentato dalla dinamo che alimenta anche l'illuminazione della stazione. In ogni centrale le eccitatrici sono due, delle quali una è tenuta di riserva. Vi è un grosso problema costruttivo dovuto al fatto che, essendo tutte le dinamo tra loro collegate, il circuito di eccitazione deve sopportare la tensione totale che può svilupparsi sul circuito primario (più di 8 kV). Il circuito di eccitazione delle dinamo venne quindi costruito con un isolamento rinforzato in mica, ricoprendolo poi con una resina per aumentare l'isolamento verso il rotore. Le macchine sono completamente sollevate da terra su isolatori in ceramica immersi in olio, e questa soluzione garantisce l'isolamento verso terra.

Il cuore del sistema Thury è il regolatore di corrente che Thury brevettò negli Stati Uniti nel 1882 (pat. No. 260.136). La figura 9 accompagna la richiesta di brevetto, dove:

- *ad* armatura di una dinamo ausiliaria;
- *am* motore elettrico;
- *R* regolatore rotante, dove le masse *R* agiscono sulle molle *s*.

Quando il motore ruota, le masse *k* sono spinte verso l'esterno e lo spostamento agisce sul leverismo *l*. Il contatto *v-d* agisce sulla corrente *cam* che alimenta il motore. Se la velocità del motore aumenta la leva *l* apre il contatto *v-d* e interrompe la corrente al motore. Se la velocità diminuisce il contatto *v-d* è chiuso e il motore è alimentato. Il *set-point* della velocità (diremmo oggi) è regolato agendo sulla distanza tra i contatti *v-d*, spostando *v* mediante la vite senza fine sull'albero *r*. Un condensatore è collegato in parallelo ai contatti *v-d* per evitare lo scintillio (lo *spark quenching*).

La regolazione della corrente di linea *b-b'* avviene mediante il galvanometro *G* che tiene in equilibrio l'alberino mostrato nel dettaglio indicato con figura 5 quando la corrente di linea ha il valore desiderato (nell'impianto ADFG sono 44 A). Se la corrente sale, ad esempio, l'alberino si muove e chiude il contatto *c'* che alimenta la bobina inferiore *e'-e'*. Questa attrae la piastra che supporta il contatto fisso *v* e lo allontana da *d*, aprendo il circuito del motore che quindi rallenta. Diminuisce quindi la tensione prodotta dalla dinamo ausiliaria *ad* che genera il campo delle generatrici, abbassando così la corrente di linea. Quando la corrente di linea scende, il galvanometro chiude il contatto *c* che alimenta la bobina superiore *e-e* che forza la chiusura del contatto *v-d* facendo aumentare la velocità del motore, quindi la tensione della dinamo ausiliaria, quindi la corrente di campo delle generatrici, quindi la corrente di linea.

È un vero peccato che questi prodigi d'ingegnosità e di meccanica di precisione non si siano conservati.

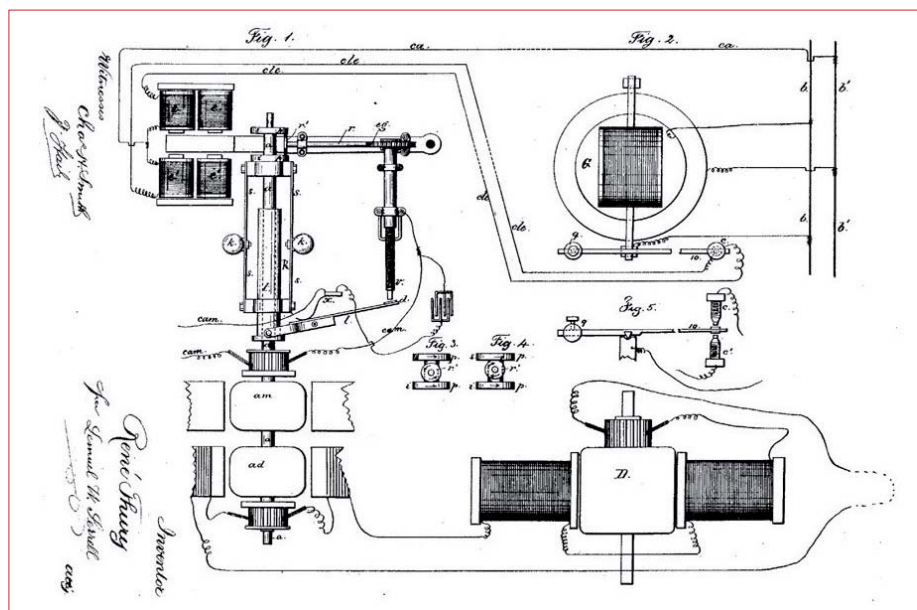


Figura 9
Il regolatore di corrente di Thury

Le Stazioni utente

Nei primi del 1892 gli “opifici ai quali si trasmette la forza” sono 17, come riportato in figura 10, con potenze variabili da 10 a 180 Cavalli dinamici. In ogni opificio sono installati uno a più motori in corrente continua collegati in serie con eccitazione serie.

La regolazione di velocità dei motori è realizzata agendo su un commutatore che varia il numero delle spire del circuito di campo (Figura 11). Il regolatore è del tipo automatico a servo motore ed è brevettato negli USA da Thury nell'agosto 1890 con brevetto n. 435.332. Come non pensare alle macchine di Goldberg vedendo i disegni dei vecchi brevetti e leggendone le descrizioni funzionali.

Un'altra caratteristica di questi motori, assolutamente contro intuitiva per chi si occupi di elettricità al giorno d'oggi, è legata al fatto che il livello di carico della macchina fosse proporzionale non alla corrente, bensì alla tensione presente ai morsetti della stessa in presenza di una corrente costante di 44 A. Si parla infatti di “Volts per HP”. Nella documentazione di ADFG si trovano tabelle dove si individuano le curve di rendimento dei motori in funzione della tensione applicata. Ad esempio, un motore Thury C9 poteva lavorare da 230 a 664 V passando da 10 a 30 HP con un rendimento variabile dal 72% a oltre il 75%.

Sul piano industriale “gli opifici più importanti ai quali è trasmessa l'energia elettrica sono quelli della Stearineria Italiana e della Società delle Ferrovie del Mediterraneo in territorio di Rivarolo”, mentre sul piano elettrico “sono di maggior considerazione quelli della Società delle Ferrovie presso le Stazioni di Piazza Principe in Genova e di Sampierdarena”. Una menzione a parte merita la Stazione della Società Genovese di Elettricità posta nel centro di Genova che verrà descritta più avanti.

n. Opificio	DENOMINAZIONE DEGLI UTENTI	COMUNE OVE SONO ESERCIATI GLI OPIFICI	MOTORI THURY		Potenzialità totale
			Num.	Tipi	
1	Società Genovese di Elettricità	Genova	3	HC	180
2	Società delle Ferr. del Mediterr.	ivi	1	HC	60
3	Rebora Andrea e Figli	Sampierdarena	1	HA	35
4	Id. Id.	ivi	1	C	15
5	Traverso Bartolomeo (*)	ivi	1	C	26
6	Gerardi Fratelli	ivi	1	HA	35
7	Società delle Ferr. del Mediterr.	ivi	1	HC	60
8	Società Genovese Rad. Zucch. (*)	ivi	1	HC	60
9	Società Agricola Ligure	Rivarolo-Ligure	1	C	25
10	Stearineria Italiana	ivi	1	HA	35
11	Società delle Ferr. del Mediterr.	ivi	1	HA	35
12	Castello Nicolò	ivi	1	C	15
13	Boccardo Fratelli	ivi	1	Hb	45
14	Barabino Carlo e C. (*)	Bolzaneto	1	HA	35
15	Spallarossa Fratelli	S. Quirico	1	C	29
16	Fratelli Cervetto (*)	ivi	1	C	19
17	Montaldo Fratelli fu G. B.	Pontedecimo	1	Hb	45
Potenzialità totale dei suddetti motori cavalli dinamici					730

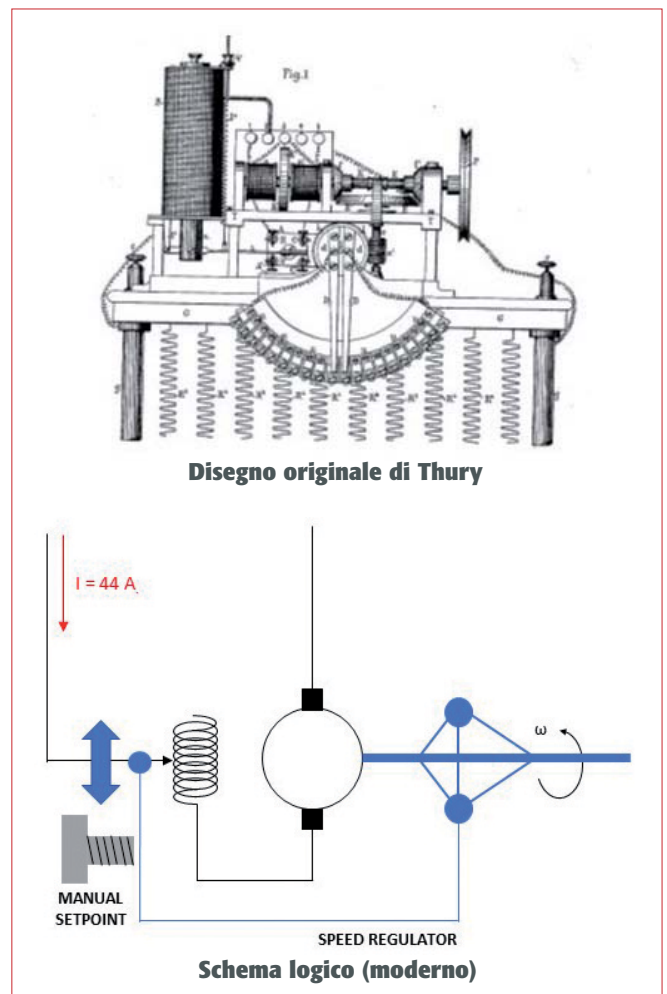
(*) Impianti in corso d'esecuzione.

▲ Figura 10
Utenti di ADFG nel 1893

La rete di distribuzione

Le linee sono aeree, tranne alcuni brevi tratti interrati, realizzate con conduttore nudo in rame da 65 mm² supportato da isolatori in porcellana, senza trascurare l'impatto visivo: “Negli abitati attraversati dalla condotta, i fili sono coperti di materia isolante ed ai pali ordinari si trovano sostituiti altri metallici od in legno lavorato per la esigenza dell'estetica”. Le tratte interrate hanno dato luogo a “derivazioni od anche il corto circuito fra due parti della condotta” ma “il servizio generale non fu per questo interrotto, e solo quello della parte danneggiata ebbe momentaneamente a restar in sospenso”. Vantaggi della corrente impressa! Non ci sono purtroppo elementi sul tipo di cavi impiegati, né abbiamo trovato fatture o bolle di consegna che ci consentissero di risalire ai costruttori. Per eliminare questi disservizi, le parti interrate furono rese aeree, con un'evoluzione opposta a quella che vediamo oggi.

Del tutto attuali invece i problemi di tipo “ambientale” che ADFG ha dovuto risolvere con i proprietari dei terreni attraversati dalle linee. Negli archi-



▲ Figura 11
Regolazione di velocità dei motori

vi sono conservate parecchie lettere di richiesta risarcimento per danni subiti durante la realizzazione delle linee che ADFG ha liquidato. Le ricevute recitano: “*Io sottoscritto [...] dichiaro di aver ricevuto dalla Società Acquedotto De Ferrari Galliera Lire [...] a saldo miei danni avuti nell'impianto dei pali e fili per la trasmissione della forza elettrica*” e hanno una marca da bollo da 5 centesimi.

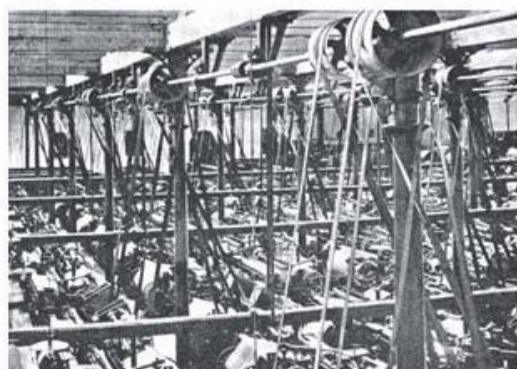
Nessuno lamenta problemi di campi elettrici e magnetici (le equazioni di Maxwell sono fresche di una ventina di anni, e i giornali dell'epoca non hanno l'insero “tecnologia e scienza”, ne esistono i social media).

Ogni stazione, sia generatrice sia utente, comprende una coppia di parafulmini (scaricatori) speciali: sulle linee sono installate delle bobine “nel miglior modo isolate e disposte in maniera da rendere il coefficiente di self-induction (sic) il più elevato possibile inserite nel circuito fra le macchine e la condotta; havvene una serie di quattro per polo”. All'entrata dei conduttori nella stazione

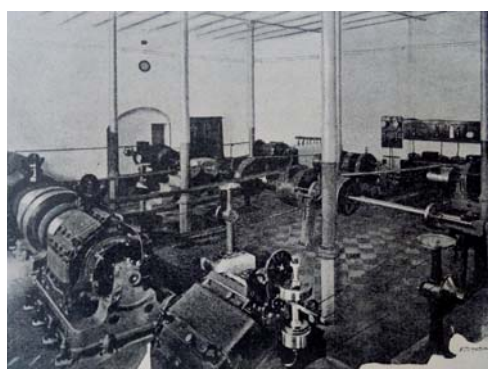
vi è poi uno scaricatore a pettine (spinterometro), e ogni dinamo ha su ciascun polo un condensatore da 0,4 μF collegato fase-terra. Purtroppo, anche in questo caso non si trovano elementi che consentano di modellare elettricamente le induttanze serie, anche se il loro scopo è evidente.

La stazione della Società Genovese di Elettricità

La stazione della Società Genovese di Elettricità (SGE) era posizionata in via Goito, nel pieno centro di Genova, e nacque per “soddisfare al desiderio espresso ripetutamente dagli esercenti della parte più bella di Genova di poter illuminare a luce elettrica i loro stabilimenti”. Considerato che “la corrente che forma il trasporto di forze generata dalla Società ADFG sopra Isoverde, essendo una corrente continua ad alto potenziale, non era atta a servire direttamente per illuminazione; con essa potevasi azionare motori elettrici che a loro volta mettersero in marcia le dinamo generatrici della corrente per illuminazione”. Come schematizzato in figura 13, a un unico asse sono accoppiati tre



Jutificio Costa



Officine Elettriche Genovesi

Figura 12
Impianti utente

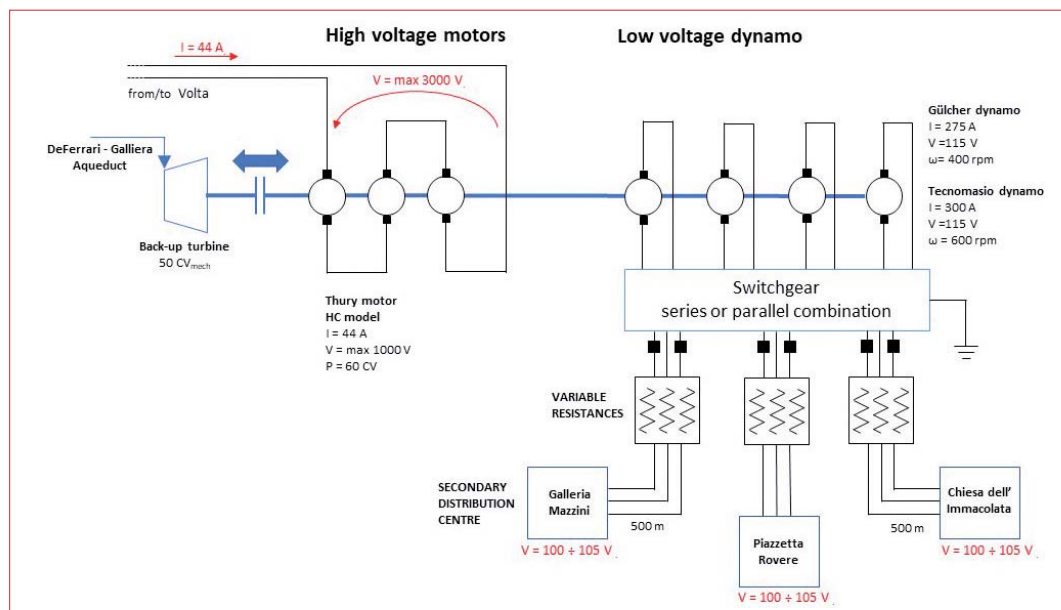


Figura 13
La Stazione della Società Genovese di Elettricità in via Goito

motori Thury da 60 CV che lavorano a 44 A con tensione fino a 1.000 V ciascuno, alimentati dalla Stazione Volta. L'asse aziona quattro dinamo in bassa tensione (110 Vcc) di cui tre realizzate dalla Gulcher Electric Light & Power di Londra e una dal Tecnomasio di Milano. L'accoppiamento tra motori e dinamo con l'asse è ottenuto mediante cinghie ed è quindi possibile cambiare rapidamente la configurazione di funzionamento della stazione. Motori e generatori sono inoltre ridondati per offrire la massima disponibilità. Dalla stazione di via Goito escono tre linee a tre fili (- 110 - 0 - +110 V) che alimentano tre "centri di distribuzione" distanti circa 500 metri dalla stazione e posti in Galleria Mazzini, piazzetta Rovere e presso la chiesa dell'Immacolata Concezione in via Assarotti. La tensione di ciascun centro di distribuzione è riportata ("con 6 piccoli fili") nella Stazione dove con resistenze serie è possibile regolare separatamente le tre tensioni. "Da ognuno dei centri di distribuzione si diramano le condotte secondarie a quelli di consumo, nei quali si ha cura di mantenere il potenziale della corrente fra i 100 ed i 105 volts".

In considerazione dell'importanza delle utenze alimentate nel cuore di Genova, SGE ha voluto realizzare un sistema di generazione di emergenza costituito da una turbina da 50 CV alimentabile da una deviazione dell'acquedotto storico di Genova che passa a monte della stazione. In caso di blackout sulla rete, è possibile attivare la turbina di riserva e alimentare a potenza ridotta le utenze. Un vero e proprio servizio di continuità per gli utenti più esigenti (e più ricchi)!

Nel 1894 la SGE installa nella Stazione di via Goito una batteria di accumulatori piombo-acido, sistema Tudor della Accumulatoren Fabrik di Hagen (partecipata dalla Siemens e dalla AEG). Con 126 elementi, le batterie consentono a SGE di accrescere la capacità della Stazione di via Goito di circa 650 lampade a incandescenza di 16 candele ognuna, in aggiunta alle 700 lampade a incandescenza e 52 ad arco di 6 e 9 A già alimentate.

La creazione di nuovi modelli di business

La realizzazione di un sistema di produzione e distribuzione di energia elettrica a utenti diversi ha richiesto al management degli Acquedotti De Ferrari-Galliera la definizione di attività e modelli di business mai esistiti prima. È impressionante come le intuizioni di Antonio Bigio e Niccolò Bruno siano oggi a distanza di 130 anni del tutto attuali, e come utilizziamo oggi i loro risultati senza esserne coscienti (e riconoscenti).

La tariffa binomia

Nella definizione del *business plan* del sistema, l'ing. Bruno sviluppa un'analisi molto dettagliata di quelli che sono i costi di realizzazione dell'opera (CAPEX), mentre sono, rispetto ad oggi, poco considerati i costi operativi (OPEX). Il rientro dell'investimento, e il doveroso utile per la società, è garantito mediante la fatturazione ai clienti di due voci:

- *fitto della forza*, proporzionale alle ore di funzionamento;
- *fitto macchine*, proporzionale alla potenza disponibile.

Il "foglio di calcolo" di figura 14 mostra i proventi della vendita di energia elettrica nel 1892. Ogni riga rappresenta un cliente, mentre le colonne definiscono: la potenza disponibile, il tipo di contratto, la quota "forza", la quota "fitto macchine", il costo preventivato. L'energia elettrica segue le forniture idriche che prevedevano un costo annuo forfettario con formula (diremmo oggi) *take or pay*. Qui ADFG sembra introdurre una variabile legata all'utilizzo dell'energia, per cui il forfait annuo è rivisto a consuntivo tenendo conto di periodi di maggiore o minore consumo. Si tratta a tutti gli effetti di una tariffa binomia (potenza/energia) come ci pare ovvio debba essere oggi. Nel 1890 era un'invenzione unica.

L'ing. Bruno si accorge immediatamente che in carico notturno nel centro cittadino supera quello diurno, e questo gli fa nascere l'idea di diversificare le tariffe. La tabella di figura 15 (del 1894) riporta il "Fitto annuo per cavallo elettrico", diversificando tre tipologie di contratti:

- Cavallo continuo;
- Cavallo diurno;
- Cavallo diurno con orario speciale.

Il contratto può essere per tutti i giorni dell'anno o solo per i giorni feriali. Sono esattamente le fasce orarie delle nostre "moderne" tariffe multiorarie.

È interessante verificare quale fosse il costo dell'energia elettrica rispetto a oggi: un CV per un anno significa circa 6.450 kWh. A un costo complessivo di 25 c€/kWh (quanto paghiamo l'energia in media tensione oggi in Italia), avremmo oggi una spesa di 1600 €/anno. Le 400 Lire del 1894 sarebbero oggi circa 1.600 €! Considerato che nel 1894 l'energia elettrica era decisamente un bene di lusso riservato a pochi, il fatto che il prezzo sia oggi praticamente lo stesso di allora (a pari potere di acquisto) significa una cosa sola: l'energia in Italia costa troppo cara. Anche se è difficile fare confronti, un'Oldsmobile intorno alla metà degli anni '90 costava circa 800 \$ mentre la paga di un

tecnico era di 50 \$/mese. Ci volevano 17 mensilità per comprare un carretto con un motore da 3 CV, quando oggi ne basterebbero un paio.

Collaudi e manutenzione

Costruire dinamo e motori elettrici intorno al 1890 era un'impresa tutt'altro che semplice; si trattava di una attività del ancora pionieristica, maneggiata da poche persone nel mondo e messa in atto con metodologie assolutamente artigianali. Per questo motivo la ditta Cuenod&Sautter di Ginevra subentrò alle officine elettriche di Alberto Preve nella fornitura delle macchine elettriche, in quanto quelle realizzate da quest'ultimo non garantivano le prestazioni e l'affidabilità richiesta. Probabilmente a seguito di questa esperienza, ADFG si premurò costantemente di verificare l'efficienza delle dinamo e dei motori elettrici acquistati prima da Cuenod&Sautter e poi da Industrie Electrique Geneve, rivolgendosi ai maggiori esperti dell'epoca, tra cui il prof. Galileo Ferraris di Torino. Questi calcola la potenza resa dai motori utilizzando i freni idraulici e ripetendo ogni prova 5 volte, ottenendo un rendimento medio superiore all'85%.

Le conclusioni del grande scienziato italiano (accuratamente riportate dall'ingegner Bigio nel suo *Zibaldone*) sono tra le poche in tutta questa grande epopea in cui invece di un approccio "descrittivo" si usano formule matematiche con tutti i simboli a noi familiari nella fisica moderna. Sarà forse per questa sua mo-

derinità uno dei motivi il suo nome è rimasto più impresso di altri nella storia dell'elettricità. Quella di Galileo Ferraris non è l'unica grande firma coinvolta nei collaudi di ADFG, un altro report (diremmo oggi) relativo all'efficienza dei motori C8 fa riferimento ai risultati forniti dagli ingegneri Brown e Boveri di Baden (per i più giovani, sono le due "b" di ABB). Brown era il direttore tecnico e Boveri il capo montatore della Oerlikon di Zurigo, che nel 1888 aveva perso la gara per la realizzazione degli impianti genovesi. Nel dicembre del 1890 fondarono la Brown Boveri Company e riallacciarono i rapporti con ADFG, della quale divennero fornitori attraverso il Tecnomasio Italiano da loro acquisito nel 1903.

Dopo la verifica della loro efficienza le macchine sono pronte per essere installate e cominciare a lavorare. Per ogni motore, i tecnici di ADFG redigono quella che potremmo definire una scheda tecnica al cui interno sono annotati tutti gli eventi relativi all'operatività della macchina: la data di messa in servizio, l'azienda presso cui era installata, le ore di lavoro, la messa in magazzino, fino allo smantellamento o cessione. Una forma di *Asset Management* in linea con le migliori prassi attuali!

Il sistema di accumulo

Nel gennaio 1893 il comm. Bigio, AD di ADFG, riporta nel suo *Zibaldone* delle note relativamente alla possibilità di accumulare energia con batterie durante il giorno per utilizzarla nelle ore serali quando si attiva l'illuminazione. È un vero e proprio studio di fattibilità con una lucida analisi dei flussi di cassa che diverse opzioni tecniche genererebbero. Riassumendo quanto scrive Bigio, abbiamo:

Dividasi la giornata in tre parti di 8 ore cadauna e si supponga durata dell'illuminazione in 8 ore serali. Avremo:

- **Caso A:** si lavora con motore e dinamo luce direttamente per otto ore serali; nelle altre 16 si carica con detti motori e dinamo due batterie di

Figura 14
Proventi della forza elettrica nel 1892

FORZA in cavalli elettrici	FITTO ANNUO PER CAVALLO ELETTRICO					
	Cavallo continuo		Cavallo diurno		Cav. diurno con or. spec.	
	tutti i giorni dell'anno	esclusi i festivi	tutti i giorni dell'anno	esclusi i festivi	tutti i giorni dell'anno	esclusi i festivi
da 5 a 100	lire 400 a 300	lire 360 a 270	lire 300 a 225	lire 270 a 202,50	lire 210 a 180	lire 216 a 162

Figura 15
Costo annuo dell'energia

accumulatori che si scaricheranno insieme alla dinamo luce nelle ore serali.

1° Motori e dinamo	8 ore	Watts	29400
2° Batteria accumulatori	8 ore	"	22050
3° Batteria accumulatori	8 ore	"	22050
		Watts	73500

• **Caso B:** si carica direttamente le 3 batterie di accumulatori [...] nelle 8 ore serali nelle quali si scaricano [...].

3 batterie, 8 ore Watts 27562 x 3 Watts 82686

• **Caso C:** si lavora con motori e dinamo nelle 8 ore serali e si carica nelle altre 16 ore due batterie di accumulatori colla corrente diretta (dalla linea) i quali si scaricheranno insieme alle dinamo nelle ore serali.

1° Motori e dinamo	8 ore	Watts	29400
2° Batteria accumulatori	8 ore	"	27562
3° Batteria accumulatori	8 ore	"	27562
		Watts	84524

• **Costo dell'investimento**

I Un motore	Lire	15000
Una dinamo luce	"	10000
Apparecchi	"	5000

II Batteria di accumulatori da caricarsi per mezzo del motore e della dinamo luce:

63 elementi a 287 amperes al prezzo del catalogo Tudor Lire 543,50 cad. Lire 34240,50

Apparecchi, montaggio, scaffali, arrivo fili 30% 10272,15

Lire 44512,65

III Batteria di accumulatori da caricarsi alla corrente direttamente dalla linea

378 elementi a 47 amperes al prezzo del catalogo Tudor Lire 109,70 cad. Lire 41466,60

Apparecchi, montaggio, scaffali, arrivo fili 30% " 12439,98

Lire 53906,58

Bigio passa poi a calcolare la resa dell'investimento considerando "interesse, manutenzione e ammortizzo" per i tre tipi d'impianto. Il caso C sarebbe quello con la maggior produzione di Watts (come direbbe Bigio), ma "L'utilizzazione della corrente con soli accumulatori a carica diretta non può economicamente convenire. Il costo troppo forte ancora degli accumulatori rende persino non conveniente la carica diretta per 16 ore. Il maggiore costo delle più forti batterie che si richiedano per la carica diretta [...] più di quanto questa apporta di vantaggio nel rendimento".

A fronte di quest'analisi, ADFG sceglie la soluzione più redditizia, e installa nel 1894 due batterie di accumulatori nella Stazione di Via Goito. È stupefacente la lucidità dell'analisi del Bigio che utilizza un approccio che non potrebbe oggi che essere copiato.

La società di servizi

Nel Lunario Genovese compilato dal Sig. Reggina & C. per l'anno 1898 si legge che la Società Genovese Elettrica, di cui direttore è l'ing. Giacomo Reggio che prenderà il posto di Niccolò Bruno in ADFG alla sua morte, offre i seguenti servizi:

- fornisce energia elettrica a scopo d'illuminazione, oltre che a contatore, anche a tariffa fissa annua (forfait);
- fornisce energia elettrica per forza motrice, scopi industriali e riscaldamento, alle condizioni più favorevoli e ai prezzi più ridotti;
- concede in affitto installazioni, motori e lampade ad arco e ne facilita il loro acquisto;
- eseguisce in casi speciali, gratuitamente im-

BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Bruno: *L'acquedotto De Ferrari-Galliera*, Monografia, Milano, Ulrico Hoepli, 1893.
- [2] A. Bigio: *Zibaldone*, Genova, 1890-1899.
- [3] G. Reggio, A. Bigio: *Appendice alla monografia dell'ingegner Niccolò Bruno sull'Acquedotto De Ferrari Galliera: Nuovi lavori eseguiti dalla società Acquedotto De Ferrari Galliera dopo l'anno 1893*, Genova, F.lli Armanino, 1904.
- [4] *Il Secolo XIX*, Genova, 16-17 maggio 1890.
- [5] *Supplemento al n°297 della Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia*, Roma, 21 dicembre 1891.
- [6] *Annuario d'Italia 1896 - Anno XI*, Bontempelli, Roma, 1896.
- [7] *The Thomas Alva Edison Papers*, University of Rutgers, 1883 [D8337ZBU; TAEM 67:749].
- [8] The Edison Electric Illuminating Co.: *Annual report*, New York, 21 gennaio 1891.
- [9] Nouvelle dynamo Thury de 25000 volts à courant continu, construite par la Compagnie de l'industrie électrique, Genève, *Bullettin Technique de la Suisse Romande*, a. 28, 1902.

- [10] J.J. Crawford: *State Mineralogist*, State Office, Sacramento, 1894.
- [11] E. Alglave, J. Boulard: *The electric light*, D. Appleton and Co., New York, 1884.
- [12] S. Thompson: *Traité theorique et pratique des machine Dynamo-Électriques*, Boistel, Paris, 1894.
- [13] R. Thury: Regulator for Dynamo-electric machines, *US Patent Office*, n°260136, 27 giugno 1882.
- [14] R. Thury: Automatic current regulator, *US Patent Office*, n°435332, 27 giugno 1882.
- [15] R. Thury: Dynamo electric machine, *US Patent Office*, n°567423, 8 settembre 1896.
- [16] R. Thury: Motor generator, *US Patent Office*, n°683235, 24 settembre 1882.
- [17] R. Thury: Electric distribution system, *US Patent Office*, n°7455929, 1 dicembre 1903.
- [18] *Technikgeschichte: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie*, VDI-Verlag G.m.b.H., vol. 25, 1936.

pianti nei locali adibiti a uso negozi, magazzini, ristoranti, caffè e scale. Agevola in generale l'impianto e l'uso dell'energia elettrica.

La SGE, separata da ADFG ma controllata dagli stessi soggetti, nasce per offrire all'utenza genovese i servizi che oggi sono dei distributori rigorosamente separati dai produttori, tra i quali si evidenzia:

- la vendita di energia elettrica diversificata tra "luce" e "forza motrice", distinzione che è rimasta in essere per quasi un secolo, essendo stata unificata la tariffa in Italia solo negli anni '80 del '900;
- la possibilità di affittare gli impianti elettrici realizzati direttamente da SGE per gli utenti (cosa è la formula in *leasing* di oggi se non una forma di affitto?);

CANDELE	A		B		C		D		E		F		G		H		J		K	
	Dall'imbontire alla ore 21	Dall'imbontire alla ore 22	Dall'imbontire alla ore 22	Dall'imbontire alla ore 23	Dall'imbontire alla ore 23	Dall'imbontire alla ore 24	Dall'imbontire alla ore 1	Dall'imbontire alla ore 2	Dall'imbontire alla ore 3	Dall'imbontire alla ore 4	Tutta notte	Usa diurno parziale	Usa diurno continuo							
5 più la tassa governativa	13 75 0 80	16 1 15	17 50 1 45	19 1 80	20 50 2 10	22 2 45	24 50 3 10	26 3 80	8 1 85	13 50 3 30										
10 più la tassa governativa	27 50 1 60	32 50 2 25	35 2 90	38 3 55	41 4 20	44 4 85	49 5 50	52 6 15	16 3 65	27 6 55										
16 più la tassa governativa	45 2 80	52 3 80	56 4 85	61 5 90	65 6 95	70 8	78 10 10	83 12 10	25 5 75	43 9 75										
25 più la tassa governativa	70 4	81 5 60	88 7 25	95 8 90	102 10 50	109 12 10	122 15 50	129 18 90	37 50 9 10	67 50 16 20										
32 più la tassa governativa	90 5 60	104 7 60	113 9 70	121 11 80	130 13 90	139 16	156 20 20	165 24 20	50 11 50	86 19 50										

▲ Figura 16

Offerta a forfait per illuminazione

- per non dire delle "facilitazioni di acquisto" di cui i genovesi, inventori delle cambiali, sono storicamente maestri.

Interessante osservare che la tassazione era proporzionale alle dimensioni dell'impianto e alla durata del servizio: da meno del 6% per 5 candele in Fascia A, fino a quasi il 15% per 32 candele in fascia H. Ancora superiori le tasse per uso diurno dell'energia (quasi il 23% massimo).

Conclusioni

L'impianto di produzione, distribuzione, e utilizzo dell'energia elettrica realizzato dall'Acquedotto De Ferrari-Galliera di Genova nel 1890 rappresenta la prima realizzazione di questo genere al mondo, e ha comportato la soluzione di problemi tecnici e gestionali unici, con soluzioni che utilizziamo ancora oggi senza conoscerne l'origine e senza rendere il giusto tributo a chi le ha ideate. I primati del sistema sono riassumibili in:

- recupero energetico sul salto di pressione dell'acquedotto;
- utilizzo dell'energia elettrica per fornire "forza motrice" a carichi industriali;
- rete di distribuzione in alta tensione (fino a 15 kV);
- invenzione delle tariffe binomie "fitto delle macchine" e "fitto della forza";
- invenzione delle tariffe multiorarie "cavalli diurni" e "cavalli notturni";
- realizzazione di un sistema di accumulo a batteria per lo *shift* del carico illuminazione;
- separazione tra produzione di energia e servizi agli utenti (*unbundling*).

[19] A. Manzini: Eau et énergie: l'aqueduc de Ferrari Galliera dans le réseau des aqueducs de la ville de Genes, *e-Phaistos*, *Revue d'histoire techniques*, IV-2, 2015.

[20] M. Doria: *L'acqua e la città*, Franco Angeli, Milano, 2008.

[21] S. De Maestri, R. Tolaini: *Storie e itinerari dell'industria ligure*, De Ferrari, Genova, 2011.

[22] R. Borgia: *Tivoli fonte di luce*, Comune di Tivoli - MiBACT, gennaio 2018.

[23] P. Asztalos: Centenary of the transformer, *Periodica Polytechnica Electrical Engineering (Archives)*, 30(1), 1986, pp. 3-16.

[24] D.W. Heinrich: Mill Creek n°1: Pioneering Commercial Electric Power, *Hydro Review*, HCI, ottobre 2002.

[25] D.F. Burg: *Chicago's White City of 1893*, University Press of Kentucky, 1976.

[26] M. Guarneri: The Beginning of the Electric Energy Transmission: Part One, *IEEE Industrial Electronic Magazine*, giugno 2013.

[27] M. Guarneri: The alternating Evolution of the DC Power Transmission, *IEEE Industrial Electronic Magazine*, settembre 2013.

[28] A. Allerhand: A contrarian history of Early Electric Power Distribution, *Proceeding of the IEEE*, v. 105, n. 4, aprile 2017.

[29] C. Wollner: *Electrifying Eden: Portland General Electric, 1889-1965*, Portland, Oregon, 1990.

[30] T. McNichol: *AC/DC: The Savage Tale of the First Standards War*, Jossey-Bass Wiley imprint, 2006.

[31] T. Hughes: *Networks of Power - Electrification in Western Society 1880 - 1930*, The Johns Hopkins University press, Baltimore, 1983.

[32] M. Klein: *The Power Makers: Steam, Electricity, and the Men Who Invented Modern America*, Bloomsbury Press, New York, 2008, p. 267.

[33] V. Smil: *Energy Transition - History, Requirements and Prospect*, Praeger, 2010.

[34] D.F. Burg: *Chicago's White City of 1893*, University Press of Kentucky, 1976.