

mezzo di un lavoro meccanico. Ora nella soluzione di questo problema, la quale permette di sostituire al combustibile zinco, che questa sera abbiamo consumato nella pila, un combustibile ordinario, da ardersi sulla graticola di una macchina a vapore, sta la scoperta che fece della illuminazione elettrica un problema proponibile industrialmente. E venendo a descrivere le macchine che servono a ciò, noi potremo dire di avere incominciata la parte realmente pratica del nostro studio.

CONFERENZA TERZA.

10 maggio 1879.

DELLE MACCHINE D'INDUZIONE.

Abbiamo riconosciuto nella corrente elettrica un mezzo per accumulare entro piccole superficie irradianti quantità grandissime di calore. L'elettro-motore è paragonabile ad un focolaio, ove noi possiamo produrre quantità di calore quanto vogliamo; il circuito fa come un canale, che dissemina e distribuisce quel calore, e ciascuna parte del quale ne ritiene una porzione proporzionale alla propria resistenza. Facendo che una breve porzione di circuito abbia di per sè sola una resistenza uguale ad una notevole frazione della resistenza totale, noi accumuliamo su quella piccola porzione, e quindi entro piccole superficie irradianti, una notevole parte del calore prodotto nel focolaio. E questo, noi lo avevamo stabilito già, il problema da risolvere per *trasformare in luce la più grande parte possibile della energia che si spende*; e l'impiego di una corrente elettrica ne offre una soluzione completa.

Ma perchè la corrente elettrica si potesse proporre industrialmente come mezzo per produrre la luce, non bastava sapere come una grande frazione del calore equivalente alla energia della corrente si potesse trasformare in calore visibile, in luce; bisognava inoltre avere modo di produrre la energia elettrica con piccola spesa. Bisognava avere elettro-motori più economici

di quello che sia la pila, nella quale l'energia elettrica è data dal lavoro chimico, che si compie nella reazione tra lo zinco, l'acido solforico, l'acido nitrico. Per produrre infatti con questa reazione una quantità di calore uguale a quella data da un chilogramma di carbon fossile (litantrace), che costa quattro centesimi, bisogna consumare da 5 a 6 chilogrammi di zinco ed i pesi equivalenti di acido solforico e di acido nitrico, il che, col mercurio necessario per l'amalgamazione, può costare da 15 a 20 lire.

Questo secondo problema è oggidi risolto. Noi possiamo attualmente produrre poderose correnti elettriche consumando e trasformando in energia elettrica non l'energia troppo costosa delle affinità chimiche tra lo zinco e gli acidi, ma la energia meccanica, la quale si può avere o per mezzo di cadute d'acqua, od almeno con macchine motrici a fuoco, a vapore, od a gas, nelle quali non si consuma altro che carbone ordinario ed ossigeno atmosferico.

Gli apparecchi di induzione hanno in questi ultimi anni ricevuto le forme, le dimensioni, la robustezza, l'architettura delle vere macchine industriali, e con queste poterono passare dai laboratori dei fisici alle officine. È la loro invenzione che non solo rese possibile ma impose la quistione tecnica, per trattare della quale noi siamo qui radunati. Io debbo provarmi a darvi un'idea del loro principio e della loro costruzione. Sarà questo il nostro compito per la seduta di questa sera.

Converrà che noi cominciamo a ricordare qualche fatto elementare e che da questo saliamo poi a fatti più complessi e finalmente agli apparecchi. Prenderemo le mosse dalle esperienze che abbiamo veduto verso il fine dell'ultima conferenza.

Avevamo qui una elettro-magnete: un nucleo di ferro dolce coperto da una spirale di filo metallico rivestito, ed un'armatura: un pezzo di ferro dolce che poteva applicarsi alle due estremità del nucleo, che nel nostro esperimento erano vicine l'una all'altra, per essere il nucleo piegato a ferro di cavallo. Per la spirale fecimo passare una corrente, ed osservammo che subito l'armatura era attratta con forza e poteva sollevare pesi considerevoli: il nucleo di ferro era diventato una calamita e quindi aveva attirato il ferro dell'armatura. Sollevando l'armatura, che, cogli annessi, aveva un peso, l'elettro-magnete faceva un lavoro, la corrente faceva un lavoro: io vi feci notare che mentre la corrente faceva questo lavoro, essa si trovava indebolita.

Abbiamo veduto il fenomeno in modo assai chiaro mettendo in azione una piccola macchina, ove la corrente, producendo regolarmente molte volte di seguito ad intervalli uguali di tempo l'attrazione di una armatura, metteva in moto una ruota e produceva un lavoro continuo. In questo apparecchio le diminuzioni di intensità, che succedevano ad ogni pulsazione dell'armatura mobile, si sovrapponevano e producevano una sensibile diminuzione costante nella deviazione di un ago magnetico sottoposto all'azione della corrente. Notiamo bene il fatto: si aveva tra l'armatura e l'elettro-magnete una attrazione in grazia della corrente circolante nella spirale di questa; il moto prodotto da questa attrazione fece diminuire l'intensità della corrente e quindi l'attrazione stessa; l'effetto del moto dell'armatura fu di diminuire la propria causa, il che equivale a crearsi una resistenza.

Se, fatto l'esperimento, avessimo distaccato l'armatura, noi avremmo constatato il fenomeno opposto: un aumento della intensità della corrente. Qui il movimento avrebbe prodotto un aumento dell'attrazione, a dispetto della quale esso si fa; anche qui adunque l'effetto del moto dell'armatura sarebbe stato di creare a se stesso una resistenza.

Ora un aumento od una diminuzione della intensità di una corrente, si possono considerare come un'aggiunta od una sottrazione di una corrente, come la sovrapposizione alla corrente principale di una corrente diretta nel medesimo verso o di una corrente contraria. Dunque possiamo enunciare la cosa dicendo: il moto dell'armatura ha in tutti casi per effetto di produrre una corrente che si oppone ad esso.

Ebbene, o signori, l'esperienza dimostra che il medesimo fenomeno si verifica anche quando nel circuito, di cui fa parte la spirale magnetizzante dell'elettro-magnete, non v'ha inizialmente corrente, con questa sola condizione: di sostituire alla armatura mobile di ferro dolce *una calamita*, sia questa una calamita permanente di acciaio, od un pezzo di ferro tenuto in qualunque modo magnetizzato. Se le estremità polari di una elettro-magnete, la cui spirale faccia parte di un circuito chiuso, vengono avvicinate ai poli di una calamita, oppure allontanate dai medesimi, si manifesta nel circuito della spirale una corrente, la quale dura finchè dura il movimento. Questa corrente dicesi *indotta*; il circuito, in cui si trasmette, *circuito indotto*; la calamita, che col suo moto la produce, *induttrice*; il fenomeno,

fenomeno di induzione. La corrente indotta ha verso tale da opporsi al movimento.

Così, mentre i poli della calamita induttrice si avvicinano, la corrente indotta fa nascere in faccia ad essi i poli omonimi, i quali li respingono; mentre invece i poli della calamita induttrice si allontanano, la corrente indotta fa nascere in faccia ad essi, nel nucleo della spirale, poli contrari, che li attraggono. In ogni caso le azioni reciproche tra i poli della calamita e quelli che, per effetto della corrente indotta, si formano nel nucleo di ferro dolce, costituiscono una resistenza al moto.

Della numerosa serie di fenomeni compresi nella denominazione generica di *fenomeni di induzione*, della conoscenza de' quali la fisica è debitrice al grande Faraday, e che oggidì costituiscono da sè soli un intero e vasto ramo di scienza, questo che io vi ho descritto è il solo di cui noi avremo bisogno per lo studio al quale ci accingiamo, il solo di cui ci sia necessario parlare.

Ma appunto per questo dobbiamo procurare di intenderlo bene, di interpretarlo, e di porlo sotto il suo aspetto più generale e più ampio.

Per intenderlo bene, è utile innanzi tutto che lo vediamo. E a quest'uopo io disposi l'apparecchio che voi vedete qui. La sua parte essenziale è una bussola reometrica a riflessione: un ago magnetico sospeso per una bava di seta assai lunga, tesa sull'asse di un tubo di vetro, quindi mobilissimo, sta nel centro di una spirale di filo metallico isolato, la quale si può inserire mediante opportuni morsetti nel circuito della corrente, di cui vorremo riconoscere l'esistenza ed il verso. Attualmente la linea dei poli dell'ago è parallela ai piani delle spire; ma se una corrente si trasmetterà in queste, ciascun elemento, ciascuna porzioncella di ciascuna di esse agirà sull'ago, come agiva la corrente rettilinea sull'ago vicino nelle esperienze che ricorderete di aver visto nell'ultima nostra seduta: ciascuna spira eserciterà sui poli dell'ago forze tendenti a far rotare l'ago medesimo e a portarlo in una direzione perpendicolare a quella che esso ha in questo momento, col polo nord a sinistra e col polo sud a destra della corrente. Le azioni delle singole spire si sovrapporranno così, ed una corrente anche debole potrà produrre deviazioni sensibili. Egli è perciò che la spirale si dice anche un *moltiplicatore*.

La sensibilità dello strumento è inoltre notevolmente accresciuta in grazia della disposizione che fu adottata per ren-

dere visibili le minime deviazioni dell'ago. All'ago è solidario uno specchietto, il quale parteciperà così a tutti i suoi movimenti. Sullo specchietto io farò cadere un pennello di luce uscito da una lanterna elettrica attraverso ad una piccola apertura circolare. Il pennello si rifletterà, e io, frapponendo in posizione conveniente, tra l'apertura della lanterna e lo specchio, una lente convergente, potrò fare che i raggi riflessi formino sul muro una immagine dell'apertura. — Voi la vedete. Finché lo specchietto starà fermo, quella immagine si manterrà immobile, e, viceversa, dalla immobilità di essa voi potrete concludere che nè lo specchio nè l'ago ad esso uniti si sono spostati. Ma supponete che l'ago roti anche di pochissimo, e che con esso roti, come necessariamente farà, anche lo specchio: l'angolo di incidenza dei raggi luminosi sullo specchio varierà allora di tanto di quanto lo specchio avrà girato; l'angolo di riflessione varierà d'altrettanto, il fascio di luce riflessa devierà di un angolo doppio di quello per cui lo specchio avrà rotato, e l'immagine sul muro si sposterà di una quantità, che per la grande distanza del muro dallo specchio potrà essere notevole. Il fascio di luce riflessa farà quel che farebbe un lungo indice, che rotasse del doppio di ciò di cui rota l'ago della bussola. La grandezza dello spostamento dell'immagine ci darà così in modo visibile a tutti un indizio della grandezza delle deviazioni dell'ago, e il verso dello spostamento ci dirà quale sia il verso nel quale l'ago ha deviato. Se le deviazioni dell'ago saranno prodotte da correnti elettriche circolanti nel moltiplicatore, lo spostamento dell'immagine ci indicherà l'intensità, e quel che più ci interessa in questo momento, *il verso* della corrente.

Ciò posto, io unisco i capi del moltiplicatore con quelli di una doppia spirale ss' , la quale avvolge un nucleo arcuato di ferro dolce, formando una elettro-magnete a ferro di cavallo, e in faccia alle estremità polari di questa metterò in moto una calamità M , facendola ora avvicinare ed ora allontanare da esse (fig. 5). Se è vero il fatto che io ho enunciato, noi dovremo vedere quell'immagine luminosa spostarsi in un senso tutte le volte che questa calamita si avvicinerà alle estremità dei nuclei delle spirali, spostarsi nel senso opposto tutte le volte che la calamita si allontanerà dai nuclei. L'esperienza conferma pienamente la previsione.

Se potessimo esaminare in qual verso sieno qui avvolte le spire, e come stieno situati i poli dell'ago, noi vedremmo facil-

mente che la corrente che si ha nel distacco, nell'allontanamento della calamita mobile induttrice, è diretta in modo da produrre nei nuclei poli contrari a quelli a cui stanno affacciati, quindi esercitanti attrazioni che si oppongono al movimento; vedremmo invece che durante l'attacco, ossia durante l'avvicinamento della calamita induttrice, si

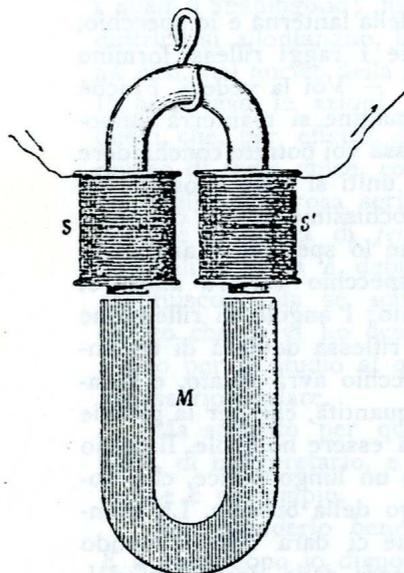


Fig. 5.

produce una corrente indotta di tale verso da far nascere nei nuclei poli omonimi a quelli affacciati, ossia poli che esercitano su di questi forze ripulsive, ossia finalmente, che si oppongono al movimento. È la legge che si trattava di verificare.

Posso dimostrare, se non il verso, almeno l'esistenza delle correnti indotte che si hanno nelle spirali di una elettromagnete, quando in faccia a questa si muove una calamita, anche a quelli che non avessero potuto vedere i moti dell'immagine. L'apparecchio, che avete sotto agli occhi, è munito di parti accessorie, che fanno sì che la corrente indotta nel distacco ne produce una di più breve durata, ma per compenso capace di superare grandi resistenze. Noi non abbiamo bisogno di descrivere queste parti, perchè sappiamo che apparecchi meccanici, di per sè, non possono creare nessuna energia. Noi, dall'esistenza di questa corrente intensa e di breve durata, potremo con certezza, anche senza conoscere i particolari del congegno, concludere l'esistenza di una corrente indotta per mezzo del movimento. Orbene, questa corrente può farsi passare per una porzione di circuito molto resistente e fatta di materia esplosiva, e lo scoppio di questa ci attesterà in modo rumoroso, ma altrettanto sicuro, l'esistenza della corrente indotta. Inserisco nel circuito una spoletta piena di polvere pirica, in seno alla quale sta una miscela di solfuri metallici, di clorato di potassa e di grafite. Attraversata dalla corrente, essa si scaldà, e scoppia, quando si distacca violentemente la calamita dai nuclei delle spirali.

Credo inutile fare esperimenti per dimostrare che gli effetti, che si hanno dal moto di una calamita permanente, si hanno

pure dal moto di una elettro-magnete, o dal moto di un pezzo di ferro magnetizzato per influenza, o dal moto di un pezzo di ferro calamitato con qualunque altro artificio. Noi impareremo di più se, invece di variare la forma degli esperimenti, ci solleveremo ancora una volta alla regione elevata delle teorie, e se interpreteremo i fatti di cui fummo testimoni colla scorta del principio della conservazione della energia. Qui, come sempre, questo grande teorema rischiarerà i fatti così da renderne facile in ogni caso l'applicazione; qui, come sempre, ci guiderà a concetti più larghi, e, ciò che più importa, più precisi.

Movendo una calamita in faccia ad una spirale, noi abbiamo appreso, possiam produrre delle correnti: ma le correnti sono manifestazioni di energie, le correnti producono calore, azioni chimiche, lavori, e siccome l'energia non si crea, così le correnti non si producono senza consumare, senza spendere qualche cosa. Che cosa è ciò che noi spendiamo quando col movimento relativo di calamite induttrici e di spirali indotte noi produciamo correnti d'induzione? Se voi avete posto attenzione a ciò che io ho detto sul verso delle correnti indotte, troverete subito la risposta: la corrente indotta ha sempre tal direzione da produrre forze che si oppongono al movimento col quale essa è generata. Quando il movimento ha per effetto una corrente indotta, questa crea una resistenza, che altrimenti non sussisterebbe; a produrre il moto a dispetto di questa resistenza è necessaria la spesa di un lavoro; è questo lavoro ciò che si trasforma in energia elettrica, e che la corrente ci restituisce, o come calore, o di nuovo, almeno in parte, come lavoro. Così per esempio, per allontanare la calamita in questo apparecchio di cui ci siamo serviti poco fa, io debbo fare un lavoro più grande quando il circuito è chiuso, e produco in questo una corrente, che non quando è aperto; il lavoro che spendo in più nel primo caso non è perduto: produce la corrente. Quando poi la calamita si riavvicina alle estremità dei nuclei delle spirali, essa acquista una velocità, una energia diversa ne' due casi; questa energia è maggiore quando il circuito è aperto che non quando esso è chiuso: la differenza è equivalente al calore svolto nel circuito dalla corrente indotta.

Ecco una interpretazione che ci fa apparire la legge sul verso delle correnti indotte come naturale, necessaria, quasi prevedibile. Io credo che non la si possa sentire senza indovinare subito che ciò che noi abbiamo visto non è che un caso

particolare di una legge molto più generale. Così è infatti, e la legge enunciata dapprima da Lenz, fu completata dal Neumann, che le diede una forma rigorosa, matematica. Io non ho che da tradurla in linguaggio ordinario ed enunciarla, per essere sicuro che voi tutti non solo la comprenderete e saprete farne l'applicazione, ma la giudicherete quasi evidente. La legge è questa: — Si abbia un sistema qualunque A di circuiti chiusi, posti in presenza di un sistema qualunque B di correnti o di calamite; se si imprime ai sistemi A e B un moto relativo, nei circuiti A nasceranno, durante il moto, correnti indotte, oppure non nasceranno. Per vedere se si verificherà il primo caso si immagini che i circuiti A sieno percorsi da correnti in un verso qualunque, e si veda se queste correnti producano forze che durante il moto facciano, od obblighino a fare, un lavoro meccanico. Se ciò succede si avranno correnti indotte, se no, non si avranno.

Nel primo caso poi le correnti indotte avranno un verso tale da opporsi al movimento.

Con questa legge possiamo spiegare l'effetto di tutte le macchine di induzione. Nell'applicazione che noi ne faremo a queste, essa ci si farà chiara e familiare; negli effetti poi che otterremo, mettendo in azione le macchine, troveremo una conferma sperimentale della sua verità.

Noi possiamo ottenere una macchina d'induzione semplicemente così: collocando in faccia ad una calamita fissa una

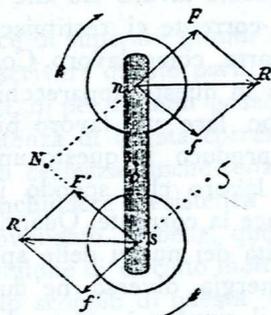


Fig. 6.

elettromagnete, la quale possa farsi rotare attorno ad un asse O in modo che le sue estremità polari n, s vadano in modo periodico avvicinandosi ed allontanandosi dai poli N, S di quella (fig. 6). Se alle estremità della spirale si attaccano i capi di un circuito esterno e si forma così un circuito chiuso, questo circuito è, finché dura il moto, la sede di una successione di correnti indotte. Appliciamo il principio ora enunciato e ce ne convinceremo.

Immaginiamo a quest'uopo che le spirali mobili sieno percorse da una corrente. Il nucleo per effetto di questa si magnetizza allora, e presenta alle due estremità i due poli nord e sud. Il primo, n , sarà attratto dal polo sud S con una forza f e respinto dal polo nord N con una forza F ; l'altro, viceversa, sarà respinto dal polo sud ed attratto dal polo nord

colle forze f' ed F' . Le spirali saranno così sollecitate da una coppia R, R' a rotare, come indica la freccia nella figura. Dunque, se noi produciamo questo movimento, esso genera nelle spirali una corrente. Il verso? Il verso sarà quello che si oppone al moto; quello adunque che produce un polo nord in s finché il nucleo s va avvicinandosi al polo nord N , che lo respinge; quello che produce in s un polo sud quando il nucleo s ha oltrepassato il polo N e va allontanandosi da esso. Si hanno adunque così correnti, che cambiano di verso ogniqualvolta i nuclei mobili passano davanti ai poli fissi N ed S . Con un commutatore, il quale inverte (fig. 7) le riunioni dei capi delle spirali coi capi del circuito esterno

nel momento in cui la corrente nella spirale indotta cambia di segno, si può fare che nel circuito esterno si abbia una corrente diretta sempre nel medesimo verso. Questo commutatore è semplicissimo: consiste in un cilindro coibente O rotante insieme alla spirale, e coperto da due gusci metallici l, m comunicanti colle due estremità della medesima. I capi del circuito esterno sono riuniti in a, b con due molle A, B , le quali si appoggiano sul

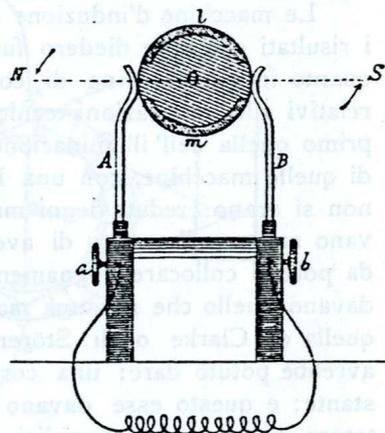


Fig. 7.

cilindro O sfregando alternativamente i due gusci. I contatti tra le molle ed i gusci si invertono due volte per ogni giro e precisamente nell'istante in cui la corrente nella spirale indotta cambia segno.

Io ho descritto sommariamente la macchina notissima di Clarke. Essa è una delle più antiche che si abbiano, e forma come un tipo, dal quale non differiscono se non ne' particolari e nelle dimensioni tutte quelle che si adoperarono prima del 1872.

Ma non l'ho descritta che per fare su di un apparecchio certamente noto alla massima parte dei miei uditori una applicazione del principio generale che noi abbiamo enunciato, ed in questo modo renderlo loro viemmeglio chiaro e familiare. Io non mi sono proposto infatti di fare in queste conferenze la storia delle invenzioni che si collegano con quella della illumi-

nazione elettrica, storia che troverete assai più completa di quella che si potrebbe svolgere nel limitato numero de' nostri convegni, in tutti i trattati; mi sono invece proposto, come dissi cominciando, di dare dello stato presente di questa applicazione scientifica una nozione sufficiente per poterne dedurre qualche indizio sul suo probabile avvenire. Sono quindi le macchine attualmente in uso che io debbo descrivere, e più particolarmente quelle conosciute col nome di macchine di Gramme, alla teoria delle quali si collega intimamente quella di tutte le altre macchine moderne, e le quali sono fra noi le più diffuse.

Le macchine d'induzione di Gramme comparvero nel 1872; i risultati che esse diedero furono tali da far dimenticare tutto quanto in quest'ordine di cose si era fatto prima. I problemi relativi alle applicazioni tecniche della corrente elettrica, fra cui primo quella dell'illuminazione elettrica, si ripresero in grazia di quelle macchine, con una lena e con una fede di cui prima non si erano creduti degni mai; le macchine Gramme non avevano soltanto il merito di aver forme solide, e dimensioni tali da potersi collocare degnamente fra le macchine industriali, ma davano quello che nessuna macchina anteriore, fatta sul tipo di quella di Clarke o di Störer, non esclude quelle del Nollet, avrebbe potuto dare: una corrente continua, assolutamente costante; e questo esse davano senza bisogno di alcun commutatore, e con organi semplici, robusti, di funzionamento sicuro.

Dissi: le macchine Gramme comparvero nel 1872; ma l'invenzione che ne forma la base data fin dal 1860, ed è dovere che io lo dica: appartiene al nostro paese. La parte caratteristica delle nuove macchine, alla quale essenzialmente esse debbono le proprietà di cui parlai, sta in una forma speciale data alla spirale indotta, e di questa forma speciale di spirale, fin dal 1860 pubblicava una descrizione il dott. Antonio Pacinotti di Pisa. Il Pacinotti costruì anche una macchina, ma, coi mezzi di cui egli poteva disporre, non fu possibile che egli ne ottenesse tali risultati da chiamare su di essa l'attenzione che essa si meritava. Dodici anni dopo, come dissi, nel 1872, il Gramme rifaceva l'invenzione, ma a Parigi e con mezzi di gran lunga migliori. La macchina si presentava al pubblico veramente perfetta, e siccome usciva allora dalle sue mani, prese e riterrà il suo nome. E veramente noi stessi non potremmo negare che, senza l'ingegno e l'attività che quest'uomo spiegò nel migliorare

le parti de' suoi apparecchi, la spirale del Pacinotti sarebbe tuttavia un progetto, e fors'anche sarebbe dimenticata.

La spirale di Pacinotti, che, come dissi, forma la parte caratteristica della macchina di Gramme, è anulare: è un anello circolare di ferro dolce, tutto vestito di spire di filo di rame isolato. Per farvene un'idea dovete immaginarvi una elettromagnete inizialmente diritta, la quale sia poi stata piegata in cerchio e della quale si sieno poi saldate insieme le due estremità, ferro con ferro, filo con filo, così da formare un tutto continuo. Schematicamente voi la vedete qui disegnata (fig. 8). Essa

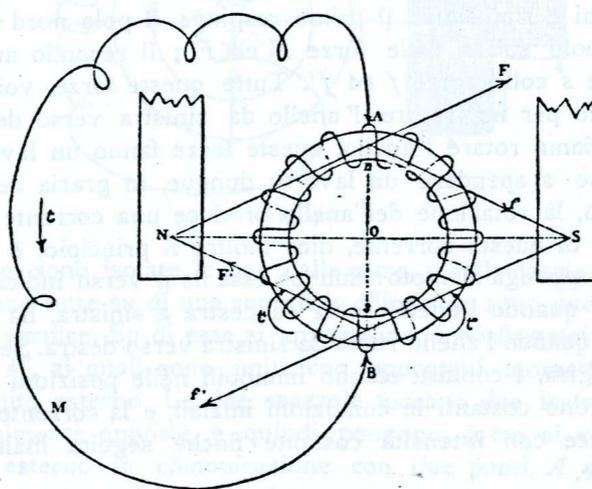


Fig. 8.

è posta fra i poli N ed S di una calamita permanente o temporaria, ed è portata da un albero O , attorno al quale si può far girare come una ruota. Il filo non ha capi, come non ne ha il nucleo, ma con un artificio, di cui diremo fra poco, esso può mettersi in comunicazione metallica con un circuito esterno M , e precisamente così che i capi di questo comunichino in ogni istante coi due punti A e B della spirale, posti alle estremità del diametro perpendicolare alla retta dei poli NS della calamita induttrice. Per fissare le idee supponete che i due punti A e B sieno toccati dalle estremità del circuito M , e che, mentre gira la spirale anulare, i contatti A , B passino da una spira alle successive in modo da stare sempre nella medesima posizione.

Noi possiamo vedere subito che la rotazione della spirale deve produrre nel filo M una corrente costante. Infatti, appli-

chiamo la regola generale: immaginiamo che il filo M sia percorso da una corrente, per esempio nel verso della freccia t . Questa corrente nei punti A e B si dividerà fra le due metà della spirale, e circolerà come indicano le frecce t' e t'' . Le sinistre delle due correnti sono in entrambe le metà rivolte verso l'alto, verso il punto A . Dunque per effetto di queste correnti le due metà dell'anello di ferro si trasformano in due calamite, aventi entrambe il polo nord in alto, in vicinanza del punto A , ed il polo sud in basso, nel punto B . Su questi poli n ed s i poli N ed S della calamita induttrice fissa esercitano attrazioni e ripulsioni: il primo respinge il polo nord n ed attrae il polo sud s colle forze F ed F' ; il secondo attrae n e respinge s colle forze f ed f' . Tutte queste forze, voi vedete, cospirano per far rotare l'anello da sinistra verso destra. Se noi facciamo rotare l'anello, queste forze fanno un lavoro o ci obbligano a spendere un lavoro: dunque, in grazia del nostro principio, la rotazione dell'anello produce una corrente indotta. Il verso di questa corrente, dice inoltre il principio, è tale che essa si opponga al moto: dunque essa ha il verso indicato dalla freccia t quando l'anello ruota da destra a sinistra, ha il verso opposto quando l'anello ruota da sinistra verso destra. Se, mentre l'anello gira, i contatti stanno immobili nelle posizioni A , B , si mantengono costanti le condizioni iniziali, e la corrente indotta si produce con intensità costante finchè seguita inalterata la rotazione.

Le attrazioni magnetiche dovute alla esistenza della corrente indotta oppongono costantemente una resistenza al moto, agiscono come un freno, e la rotazione non si fa se non spendendo un lavoro meccanico, che non si avrebbe da fare quando il circuito fosse aperto. Questo lavoro meccanico si trasforma in energia elettrica ed è restituito dalla corrente.

Tale è il principio; per tradurlo in atto, bastava trovar modo di realizzare almeno approssimativamente questa condizione: che le estremità del circuito esterno comunicassero costantemente coi punti della spirale passanti nelle posizioni A e B , mentre questa gira. Ora ecco come ciò si ottiene.

La spirale, di filo isolato, è fatta di tante porzioni uguali, che possiam dire *spirali elementari*; è formata da una serie di molte piccole spirali uguali s , s , s , infilzate l'una dietro all'altra sul nucleo anulare (fig. 9). Queste spirali sono congiunte l'una all'altra, capo a capo, così da formare una spirale unica continua,

come abbiamo detto; ma nei punti d'unione esse sono legate a lastre metalliche r, r, r , le quali son piegate ad angolo retto ed hanno uno dei bracci, r , diretto come un raggio dell'anello, e l'altro a diretto parallelamente all'asse di rotazione, e collocato sulla superficie di un cilindro ab di diametro minore dell'anello, il quale ruota con esso. Le porzioni a , che coprono l'albero di

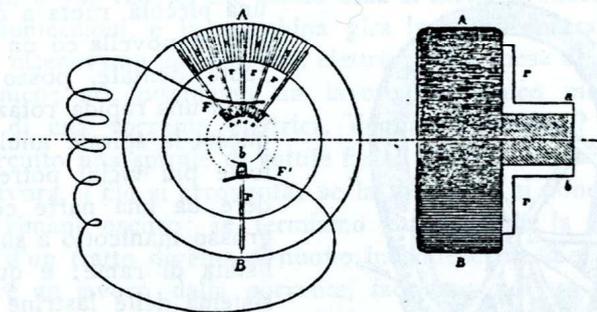


Fig. 9.

rotazione, sono isolate le une dalle altre, e sulle faccie esterne, che stanno tutte su di una superficie cilindrica, sono nude, prive di ogni vernice. Su di esse si appoggiano due sfregatoi a spazzola F, F' , ai quali sono uniti con opportuni morsetti i capi del circuito esterno. Le due spazzole toccano due lastre a, b diametralmente opposte, e quindi pongono, come si voleva, il circuito esterno in comunicazione con due punti A e B diametralmente opposti della spirale. Siccome poi le spazzole toccano sempre più di una lastrina ad un tempo, così la comunicazione della spirale indotta col circuito esterno è sempre chiusa, e la corrente è realmente continua e costante.

La fig. 10 rappresenta la struttura della spirale anulare quale è nelle macchine del Gramme. Il nucleo A è costituito da una matassa di filo di ferro; le spirali elementari B , delle quali nella figura sono disegnate, per chiarezza, soltanto alcune, sono di filo di rame isolato; i pezzi a squadra R passano, col loro braccio orizzontale, dentro della spirale.

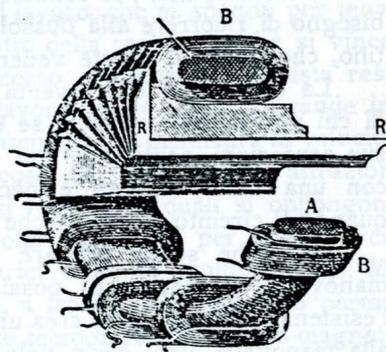


Fig. 10.

Abbiamo sotto agli occhi, in condizioni da poter lavorare, una macchina di Gramme di piccolo modello (fig. 11). In essa la calamita induttrice è una calamita permanente d'acciaio, di quelle a lastre sovrapposte, che il Jamin ci mostrò a costruire recentemente, e che, come sapete, hanno in piccola massa molta potenza. Fra i poli, che stanno qui in basso, voi vedete come

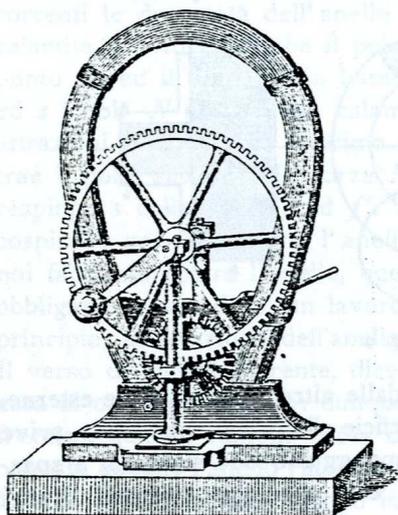


Fig. 11.

una piccola ruota a cui, con una manovella ed un paio di ruote dentate, posso imprimere una rapida rotazione: è questa la spirale anulare. Se foste più vicini potreste vedere da una parte come un grosso manicotto a superficie listata di rame: è questo il sistema delle lastre *a* e su di esso si appoggiano sopra e sotto due spazzole metalliche. Due morsetti servono a mettere queste spazzole in comunicazione col circuito esterno. Se, chiuso il circuito, noi poniamo in moto la manovella, abbiamo la corrente, e questa

è così intensa, che, per renderla sensibile a tutti voi, io non ho bisogno di ricorrere alla bussola: essa arroventa un filo di platino, che voi tutti potete vedere.

La corrente, che arroventa questo filo, è prodotta dal lavoro di chi girà la manovella; e se egli potesse comunicare a voi le sue sensazioni, sentireste che a tenere in moto la manovella con una certa velocità è necessario uno sforzo più grande quando il circuito è chiuso che non quando è aperto.

Ma anche senza provare a tenere col nostro braccio la manovella in moto, noi possiamo vedere che effettivamente l'esistenza della corrente crea una resistenza. Se noi imprimiamo alla manovella una certa velocità e poi l'abbandoniamo a sè, noi vediamo che essa si ferma assai più presto quando il circuito è chiuso che non quando esso è aperto: la corrente fa quello che noi abbiamo detto, agisce come un freno. È un freno che come gli ordinari converte in calore l'energia meccanica degli organi rotanti, ma con questa differenza, che questo calore

si manifesta distribuito lungo tutto il circuito secondo la legge di Joule.

Se è esatta la nostra teoria, la spirale anulare e tutti gli organi annessi debbono porsi in moto quando si attaccano i morsetti ai reofori di un altro elettro-motore. E così è in realtà. Pongo la macchina nel circuito di una pila di pochi elementi Bunsen, e voi vedete, che subito essa si mette in moto. Inverto le comunicazioni, e la macchina gira in verso contrario. Poco fa noi ottenevamo una corrente elettrica colla spesa di un lavoro meccanico; ora otteniamo un lavoro meccanico mediante la spesa di una corrente elettrica. Vogliamo vederlo? Poniamo nel circuito una spirale di sottile filo di platino. Se la macchina non lavora, il filo si arroventa; se la macchina si pone in moto, il filo rimane oscuro; se fermiamo rapidamente la manovella, il filo d'un tratto diventa di nuovo incandescente. Se, invece di far fare un lavoro dalla corrente, facciamo noi un lavoro, se giriamo la manovella nel verso opposto a quello in cui essa si muove per effetto della corrente della pila, la corrente prende una intensità più grande, e l'incandescenza vivissima della spirale ce lo addimostra.

Se abbiamo capito bene il modo di agire di questo piccolo apparecchio, non avremo adesso difficoltà ad intendere la teoria e l'uso delle grandi macchine adoperate nelle industrie. L'apparecchio è, nella sostanza, sempre identico a questo, soltanto è fatto in modo da poter convertire in energia elettrica un grande lavoro meccanico. Ora il lavoro, che si spende per tener in moto la macchina, è il prodotto della resistenza che si vince, dello sforzo, per lo spazio percorso a dispetto di questa resistenza. Per avere un grande lavoro speso ed una grande intensità di corrente, senza dover aumentare a dismisura la velocità, bisogna adunque disporre le cose in modo, che le attrazioni magnetiche, dovute alle correnti indotte, le quali si oppongono al moto della spirale, sieno molto grandi. E per ottenere ciò bisogna adoperare come induttrici calamite molto potenti. Ma noi sappiamo, che potentissime, a fronte delle calamite permanenti d'acciaio, sono le calamite temporarie, le elettro-magneti: dunque per avere macchine d'induzione potenti conviene adoperare come induttrici, non calamite d'acciaio, ma calamite temporarie. Il Wilde, al quale è dovuta questa idea, adoperava, per magnetizzare le elettro-magneti induttrici, la corrente di una piccola macchina magneto-elettrica con calamite permanenti:

ma Siemens e Wheatstone dimostrarono che a ciò poteva servire la corrente stessa prodotta dalle macchine. Il ferro, costituente il nucleo delle elettro-magneti induttrici, ritiene sempre in sè, dopo che fu magnetizzato una volta, una traccia di magnetismo, la quale si dice il *magnetismo rimanente*. Con questa traccia di magnetismo esso può agire, pei primi giri della spirale indotta, come una vera calamita permanente, soltanto è debole, e produce deboli correnti indotte. Ma se queste correnti si fanno circolare nella spirale magnetizzante in verso conveniente, esse aumentano lo stato magnetico induttore. La corrente indotta si fa perciò anch'essa più intensa. Ma seguitando a circolare nelle spirali magnetizzanti, questa corrente più intensa aumenta ancor più la potenza delle calamite induttrici. Le quali, a loro volta, producono una induzione più energica... così seguitando, si vede che, dopo alcuni giri della spirale indotta, i nuclei delle elettro-magneti induttrici si porteranno ad uno stato magnetico massimo, che dipende dalle dimensioni dell'apparecchio e dal lavoro con cui lo si tiene in azione.

Così si fa in tutte le grandi macchine moderne, così si fa nelle macchine che il signor Gramme costruisce per usi industriali.

Ecco il primo modello di queste grandi macchine: quello che figurò alla esposizione di Vienna del 1873 (fig. 12). Le elettro-magneti induttrici sono costituite da sei sbarre di ferro verticali collegate dallo zoccolo e dal capitello di ghisa della macchina. Queste sbarre sono coperte da spirali in cui dovrà circolare la corrente magnetizzante, e queste spirali sono avvolte in tal modo che, quando la corrente vi circoli, si forma un polo nel punto di mezzo delle sbarre e due poli opposti ad esso alle due estremità. I poli che si formano sul mezzo delle sbarre di sinistra sono contrari a quelli che si formano nel mezzo delle sbarre a destra. Questi poli mediani sono gli induttori; e per questo sono in questi punti di mezzo unite alle sbarre di ferro ganasce che abbracciano, senza toccarla, la spirale indotta. L'insieme delle sbarre, del capitello e dello zoccolo costituisce come un sistema di due elettro-calamite a ferro di cavallo coi poli omonimi affacciati — come la spirale anulare.

In queste macchine di antico modello si hanno due spirali indotte: una di esse dà la corrente esterna, l'altra, minore, non dà che la corrente magnetizzante. Ciascuna spirale ha il suo sistema di lastrine e le sue spazzole; ma, mentre le spazzole

dell'una comunicano col circuito esterno, quelle dell'altra comunicano soltanto colle estremità delle spirali delle elettro-magneti induttrici.

Dopo il 1874 il Gramme modificò, nella posizione delle parti, i suoi apparecchi e con ciò li rese meno voluminosi, più

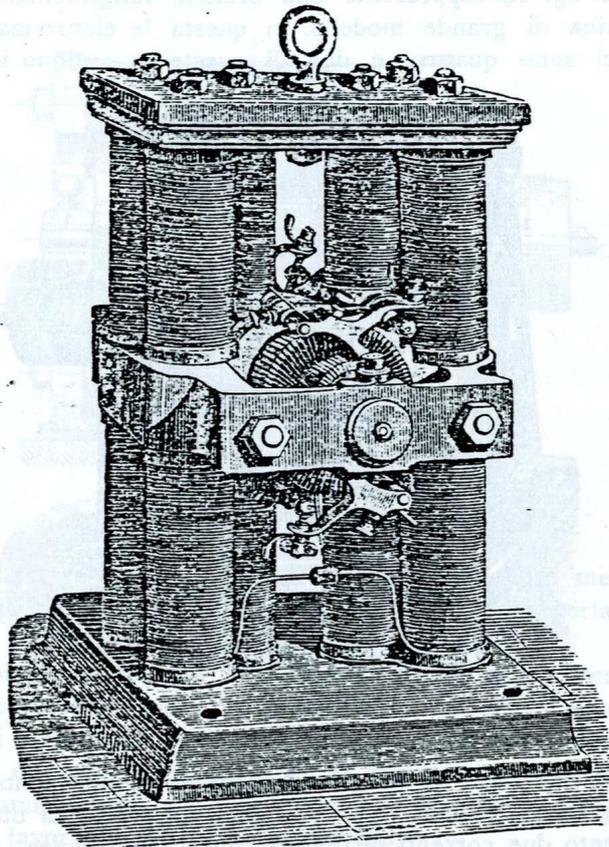


Fig. 12.

semplici, più leggeri, meno costosi (fig. 13). Le modificazioni essenziali sono due:

1.° Le elettro-magneti induttrici sono orizzontali, sono in numero minore (ordinariamente 2 sole), e son collegate dai montanti di ghisa, invece che dallo zoccolo e dal capitello della macchina.

2.º V'ha una sola spirale indotta, e serve come corrente magnetizzante la stessa corrente esterna.

La spirale magnetizzante è a quest'uopo inserita nel circuito esterno: un medesimo circuito contiene il filo esterno, la spirale indotta, le spirali magnetizzanti. Il vantaggio di queste modificazioni è considerevole.

La fig. 14 rappresenta una sezione longitudinale di una macchina di grande modello. In questa le elettro-magneti induttrici sono quattro, e due di queste si vedono in figura.

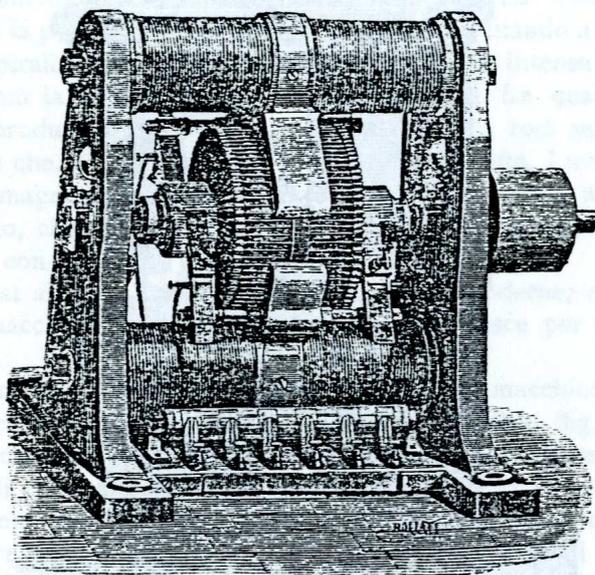


Fig. 13.

V'hanno due copie di sfregatoi a spazzola; e ciò, mentre rende più regolare l'azione della macchina, permette di ottenere a piacimento due correnti distinte od una grande unica.

Avremo molte occasioni, nel seguito delle nostre conferenze, di vedere gli effetti di queste macchine, e ne ebbimo già fin dalla prima sera che noi ci siamo radunati. Ma poichè questa sera io ho qui due macchine, voglio farvi un esperimento che confermerà in modo evidente non solo il teorema fondamentale dell'induzione, ma il grande principio delle energie, al quale più che per vezzo, per un vero sentimento di dovere io ricorro ad ogni piè sospinto.

Farò passare nella macchina di nuovo modello la corrente prodotta dalla macchina di modello antico; quella si metterà in moto e trasformerà in energia meccanica una porzione dell'energia della corrente. Avremo così nel sistema una duplice trasformazione di energie, due trasformazioni inverse: una conversione di lavoro meccanico in corrente, nella grande macchina,

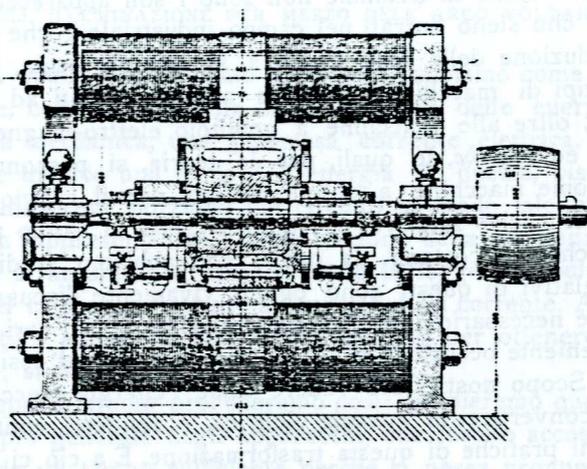


Fig. 14.

una trasformazione di energia elettrica in lavoro meccanico, nella macchina minore. Risultato: un lavoro trasportato a distanza.

Voi vedete che per moderare la velocità della piccola macchina occorre uno sforzo considerevole. Una serie di esperimenti che noi eseguiamo ci diedero anche la misura del lavoro consumato dal freno. Per 907 giri al minuto trovammo 28 a 30 chilogrammetri per 1''; è il lavoro che potrebbero fare quattro uomini lavorando su di una manovella.¹

Questo lavoro è fatto a spese della corrente. E noi lo verificiamo ripetendo qui con altre proporzioni l'esperimento già

¹ Il lavoro equivalente alla energia elettrica svolta nella grande macchina magneto-elettrica era, in questo esperimento, uguale a circa 100 chilogrammetri per minuto secondo. Il lavoro trasmesso a distanza per mezzo della combinazione delle due macchine è adunque uguale ai $\frac{28}{100}$ del lavoro speso. Si potrebbe dimostrare che con questo sistema non è possibile ottenere un rendimento notevolmente maggiore.

fatto. Poniamo nel circuito una spirale di platino: vediamo che essa si fa incandescente quando la macchina non gira, si fa oscura quando la macchina è in moto.

Queste sono digressioni; ma famigliarizzandoci coi grandi principi, io ne sono sicuro, e lo riconoscerete anche voi, ci torneranno utilissime nelle nostre ricerche ulteriori.

Le macchine di Gramme non sono i soli apparecchi di induzione, che sieno entrati nel campo industriale e che servano alla produzione della luce elettrica su grande scala. Oltre ai diversi tipi di macchine a spirale anulare dovuti ad altri costruttori, oltre alle macchine a gomito elettro-magnetiche di *Siemens* ed *Halske*, le quali, per la teoria, si possono considerare come macchine a spirale anulare ove il raggio di curvatura del nucleo anulare è ridotto a zero, si hanno parecchi sistemi, che si scostano da quello che abbiamo studiato; e i meriti relativi di questi sono oggidì vivamente discussi. Ma a noi non è necessario entrare in particolari su questi vari sistemi, nè conveniente occuparci delle controversie che ad essi si riferiscono. Scopo nostro era vedere come l'energia meccanica si potesse convertire in energia elettrica, e renderci conto delle condizioni pratiche di questa trasformazione. E a ciò ci bastava la conoscenza di una macchina, scelta fra quelle che nella pratica trovarono più estese applicazioni. Per la discussione, che ci proponiamo di fare, delle condizioni economiche della illuminazione elettrica, i dati numerici, che abbiamo sulla macchina da noi scelta e descritta, basteranno. La scelta del tipo della macchina dinamoelettrica influisce per un coefficiente di rendimento; ma siccome il coefficiente di rendimento delle macchine di Gramme è senza dubbio molto elevato, così si può con sicurezza asserire che la sostituzione ad esse di macchine di altri tipi non potrà migliorare le condizioni economiche della illuminazione elettrica tanto da infirmare le conclusioni, a cui noi arriveremo in queste conferenze. Le quali, d'ora in poi, si aggireranno propriamente sui vari sistemi di illuminazione per mezzo della elettricità.

CONFERENZA QUARTA.

17 maggio 1879

SULL' ILLUMINAZIONE PER MEZZO DELL' ARCO VOLTAICO.

Con quello che abbiamo detto, noi sappiamo come si possa produrre, colla spesa della meno costosa delle energie, dell'energia meccanica, una poderosa corrente elettrica. Per trasformare in luce una parte dell'energia di questa, bisogna disporre una breve porzione del circuito in modo tale, che da sè sola essa rappresenti una grande frazione della resistenza totale, cosicchè si accumuli in essa, secondo la legge di Joule, buona parte del calore equivalente all'energia della corrente. All'esame degli artifici adoperati, o tentati, o proposti per ottenere questo risultato, si riduce ormai il nostro studio.

In questo studio procederemo così: Studieremo questa sera il principio generale degli apparecchi, che furono accettati dalla pratica da un tempo sufficiente perchè si possa pronunziare un giudizio sicuro sulla loro convenienza attuale e sulle loro applicazioni possibili.

Senza perderci in descrizioni di particolari dei congegni meccanici, che ove, come qui, sono ancora in discussione i principi, non farebbero che intralciare inutilmente le questioni, cercheremo di renderci esatto conto dei fenomeni su cui l'uso degli apparecchi riposa; senza preoccuparci per ora delle innovazioni con cui si tentò o si potrebbe tentare di allargarne le applicazioni o correggerne i difetti, esamineremo i risultati delle più attendibili esperienze fatte su di essi.

Lo studio dei sistemi tentati o proposti recentemente, e la discussione dei meriti loro, formerà l'oggetto di un'altra conferenza, nella quale, guidati dalle nozioni che avremo appreso questa sera, d'accordo coi principi teorici, sui quali ci siamo dianzi intesi, potremo toccare la meta che ci siamo proposto: quella di farci un'idea del vero stato attuale del problema, e del suo probabile avvenire.

I sistemi, di cui vogliamo occuparci in questa seduta, riposano tutti su di una classica esperienza che il Davy esegui

nel 1813. Fu questa la prima che facesse pensare alla possibilità di produrre colla corrente elettrica sorgenti di luce intensa. Ai due reofori di una pila di 2000 elementi il Davy aveva attaccato due bacchette di carbone di tre centimetri di lunghezza e di quattro millimetri di diametro, separati da una distanza di $0^{\text{mm}},5$. Egli vide allora una luce abbagliante brillare fra le due punte, e continuare senza rumore. Allontanò allora progressivamente i carboni l'uno dall'altro fino a 10 od 11 centimetri, e la luce continuò ancora con uno splendore paragonabile a quello del sole e con uno sviluppo di calore intenso, pel quale i carboni diventavano incandescenti fin verso la metà della loro lunghezza. Quella luce emanava dalle punte dei carboni e da un arco brillante stabilito come un ponte sulla interruzione del circuito. A questo ponte luminoso fu dato il nome di *arco voltaico*.

Io non ho a mia disposizione la pila di 2000 elementi, che servì a Davy nel suo esperimento, e non potrò quindi produrre un arco di lunghezza uguale a quella dell'arco che egli otteneva; ma della vivezza del fenomeno luminoso posso farvi testimoni colla semplice macchina di Gramme che voi vedete qui, e che in questo esperimento può equivalere forse ad una pila di settanta o ottanta grandi elementi alla Bunsen. Davy, ho detto, aveva portato, in principio dell'esperimento, i carboni ad una distanza di circa $\frac{1}{2}$ millimetro; con elettromotori di un numero minore di elementi, come diciam noi, di una minore forza elettromotrice, bisogna portare inizialmente i carboni a contatto l'un coll'altro. Così faccio io. Attualmente i due carboni che abbiamo qui si toccano, ed essendo in comunicazione coi reofori della macchina, chiudono il circuito. Metto in moto la macchina, e la corrente passa. E adesso io posso distaccare i carboni: la corrente passerà ancora producendo fra le due punte il fenomeno del Davy (fig. 15). Quelli che son vicini vedono che i carboni *AB*, *CD* stanno separati da uno spazio *M*, e che il fenomeno luminoso avviene in questo spazio: è in questo spazio l'*arco voltaico*, e la distanza dei due carboni ne misura *la lunghezza*.

Allontanando con precauzione e lentamente i carboni, posso aumentare gradatamente questa lunghezza; ma se allora io scosto ancora i carboni, il fenomeno cessa e la corrente si rompe. Voi ne avete una prova evidente: la macchina non fa più lavoro e si accelera sensibilmente. La lunghezza massima che si può dare all'arco dipende, come ho detto già, dall'elettromotore che si adopera, essenzialmente dal numero degli elementi, se si tratta

di una pila; dalla velocità, se si tratta di una macchina d'induzione. Adoperando 600 elementi alla Bunsen, il *Despretz* ottenne un arco voltaico di 16,2 centimetri. In ogni caso la lunghezza dell'arco è notevolmente maggiore di quella distanza a cui, col l'elettromotore adoperato, potrebbe scoccare una scintilla: per avere fra le estremità dei due reofori una scintilla di $\frac{1}{4}$ di

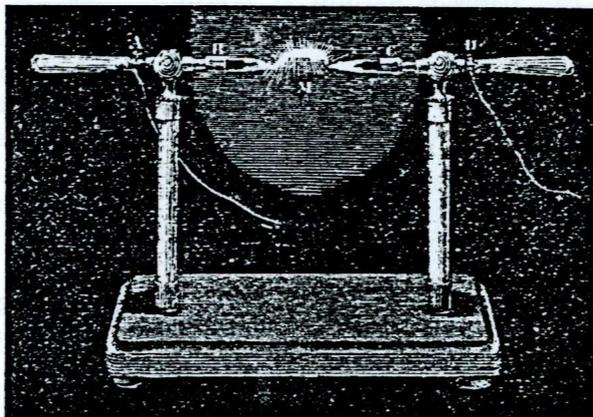


Fig. 15.

millimetro di lunghezza il *Gassiot* dovette adoperare una pila di 3520 tazze.

L'arco voltaico non si produce soltanto fra due carboni; noi potremmo sostituire a queste bacchette due asticcioline di ferro, o di rame, o di stagno, o di platino: purchè la corrente avesse una intensità sufficiente il fenomeno si produrrebbe con apparenze diverse bensì, soprattutto con colori diversi, ma coi medesimi caratteri fondamentali. Però la lunghezza dell'arco ottenibile è diversa a seconda dei corpi adoperati, e questo è provato: che essa è tanto maggiore, quanto più i corpi con cui son fatte le punte si disaggregano e si volatilizzano facilmente. Così l'arco è brevissimo e difficile a mantenersi fra reofori di platino, e più lungo collo zinco e collo stagno, è lunghissimo fra carboni imbevuti di sostanze volatili.

Questo fatto basterebbe a provare che nella produzione dell'arco voltaico hanno una parte la disaggregazione e la volatilizzazione degli elettrodi; ma di ciò abbiamo una prova diretta nella variazione di peso che i reofori subiscono, mentre

dura la corrente. Se si opera nel vuoto, od in un gas inetto ad alimentare la combustione, si trova che, mentre l'arco continua, il carbone positivo va raccorciandosi e diminuendo di peso, mentre il negativo si allunga e cresce di peso. Se si opera nell'aria, diminuiscono di lunghezza e di peso entrambi i carboni, ma diversamente, e più il positivo che il negativo, quello circa il doppio di questo. V'ha nel primo caso un trasporto di materia dall'elettrodo positivo al negativo, e nel secondo v'ha questo medesimo trasporto, a cui si sovrappone una consumazione di entrambi i carboni, in causa della combustione.

La cosa apparisce chiara, se si osserva la forma che assumono le due punte. Noi non possiamo osservare questa forma qui direttamente, in mezzo alla luce abbagliante che emana dalle punte, ma possiamo formare sopra uno schermo una immagine molto ingrandita dei carboni: la luce emessa dalle due punte si troverà così disseminata sopra una larga superficie e sarà indebolita in proporzione. La grandezza poi dell'immagine permetterà a noi tutti di vedere le più minute particolarità del fenomeno.

A quest'uopo disposi un sistema di due carboni in questa lanterna, che non lascia uscire la luce se non attraverso ad una lente convergente portata da un tubo scorrevole. Davanti alla lente collocai un diaframma, che intercetta i raggi passati per le pareti periferiche della lente e quelli riflessi irregolarmente dalla parete della lanterna, i quali confonderebbero l'immagine. Dò passaggio alla corrente elettrica; i carboni si scaldano; un apparecchio, di cui dirò fra poco, tosto li separa e si produce l'arco e la luce. Voi vedete sullo schermo bianco disegnarsi, ingigantite, le figure dei due reofori (fig. 16), vedete che non si toccano e che brillano di viva luce appunto alle estremità che si guardano; l'incandescenza di questa è tale che in presenza di essa riesce quasi insensibile quella dell'arco voltaico che sta frammezzo. Come v'annunziai, voi vedete che i due carboni, che prima erano identici, entrambi acuminati, vanno assumendo forme diverse, e la differenza tra l'uno e l'altro riesce marcata, caratteristica. Quello che vedete in alto è il carbone a cui è unito il polo positivo della macchina di Gramme, il carbone positivo; l'altro, quel di sotto, è il carbone negativo. Il primo ha perduto la punta acuta che gli si era data, e si è anzi incavato, presenta alla sua estremità un vuoto crateriforme. Il secondo invece non solo si mantenne acuto, ma andò allun-

gandosi, e va acuminandosi tuttavia. Voi vedete come questo succeda: dal carbone positivo si distaccano di quando in quando pezzetti, globuli, i quali si agglutinano alla punta del negativo e vi si saldano insieme. Ma questo è secondario; oltre a questo trasporto così visibile, che la materia dei carboni subisce in pezzetti o in gocce, v'ha un trasporto continuo che si effettua



Fig. 16.

sotto forma di un pulviscolo, ed uno scambio continuo, forse il più abbondante, di carbone ridotto a vapore.

La forma dei carboni ed i movimenti che osserviamo ci fanno vedere quello che già ci era indicato dalla variazione di lunghezza e di massa dei due elettrodi: ci fan vedere cioè che il trasporto di materia avviene dal carbone positivo verso il negativo. Questa però è l'apparenza, il fatto nella realtà è più complicato. Nella realtà il trasporto avviene nei due versi: dal

carbone negativo al positivo, come da questo a quello; solamente questo è il più abbondante, e il trasporto risultante, che è la differenza dei due, si fa nel verso di esso. Adoperando due elettrodi di sostanze diverse, noi metteremmo la cosa in evidenza, giacchè troveremmo dopo un certo tempo sull'elettrodo positivo materia dell'elettrodo negativo, e su questo materia di quello.

Voi vedete il carbone, la più refrattaria delle sostanze che si conoscono, rammollirsi come cera, e semifuso scorrere, e foggarsi diversamente; vedete pezzetti vicini riunirsi e saldarsi in un pezzo unico. Ma v'ha di più; quel bagliore che v'ha fra le punte, la luce dell'arco, non emana soltanto dal pulviscolo strascinato, ma da un vero gas, e collo studio dello spettro lo si può riconoscere: è gas di carbonio, è carbonio ridotto a vapore. Della volatilizzazione del carbonio diede una prova diretta il Despretz colla pila di 600 elementi che v'accennai già. Producendo con questa pila un arco voltaico nel vuoto, perchè non potesse intervenire la combustione a complicare i fenomeni, egli trovò le pareti dei recipienti, in cui operava, coperte di uno straterello di *grafite*: era questo il prodotto della condensazione dei vapori. È adunque elevatissima la temperatura che regna sulle punte dei carboni e nell'arco; è la più alta che si conosca, la più alta che si sappia produrre artificialmente. Nessun corpo, è prevedibile dacchè si volatilizza il carbone, regge a questa temperatura; tutti i metalli si volatilizzano ed ardono: lo zinco con luce bianca abbagliante, il rame con luce verde, il ferro collo splendore con cui arderebbe nell'ossigeno; il platino anch'esso si consuma.

La temperatura più elevata si ha nel carbone positivo. Lo si vede nella immagine proiettata, dove la coppa, con cui questo è terminato, appare più illuminata di ogni altra parte. Lo si vede anche senza proiettare l'immagine dei carboni, soltanto osservando che, rotto il circuito, il carbone positivo si trova rovente su di una lunghezza maggiore di quel che faccia il negativo, e si conserva incandescente per un tempo più lungo.

Analizzato così il fenomeno, voi capirete adesso senza difficoltà come l'arco si produca, e per qual modo esso si faccia sede di così abbondante sviluppo di calore e di luce.

Ecco il fatto: Quando le due punte sono a contatto e chiudono il circuito, la corrente, che produce nelle diverse parti di questo quantità di calore proporzionali alle resistenze, e quindi

tanto maggiori quanto minori sono le sezioni trasversali, le scalda, le arroventa. Quando poi esse si distaccano, le particelle ultime a distaccarsi presentano una sezione di passaggio minima: in esse si accumula così, anche nel tempo brevissimo per cui esse durano in contatto, una quantità di calore sufficiente per disgregarle, per fonderle, per volatilizzarle. Il pulviscolo ed il vapore, che ne nascono, danno principio all'arco, il quale tiene in comunicazione le punte distaccate, e seguita a chiudere il circuito. Ma la resistenza di questo brevissimo conduttore vaporoso è grande, e in esso si produce un notevole riscaldamento; in grazia del quale anche le punte dei carboni si mantengono caldissime, e nuove porzioni di esse, distaccandosi, possono venire ad alimentare il brevissimo arco primitivo, che così può allungarsi ed ingrossarsi abbastanza per dar passaggio alla corrente anche quando i carboni si allontanano di più. Così si possono allontanare via via i carboni, e con ciò allungare l'arco, finchè la resistenza così creata non renda troppo debole la corrente. L'arco voltaico non è adunque altro che una porzione di conduttore, breve e di piccola massa, ma avente una grande resistenza; in essa si accumula, conformemente alla legge di Joule, una notevole quantità di calore.

Ora richiamo alla vostra attenzione. I gas sono poco idonei ad irradiare il calore; essi hanno, noi diciamo nel nostro gergo, un piccolo potere emissivo; quindi, del calore dell'arco, solo una piccola parte è direttamente irradiata; la parte più grande è trasmessa per contatto alle punte de' due carboni, e poi irradiata da queste. Siccome le due punte si guardano, esse si scambiano in parte le loro radiazioni; quindi la irradiazione fatta verso l'esterno non arriva ad uguagliare la produzione di calore, che continua in seno all'arco per effetto della corrente, se non quando la temperatura loro è elevatissima. Solo quando la temperatura è elevatissima, l'arco e le punte che lo limitano emettono nell'unità di tempo tutto il calore che in esso si produce nel tempo stesso; solo quando la temperatura è elevatissima questa cessa di aumentare; ciò equivale a dire che la temperatura si fa effettivamente elevatissima. Se ponessimo in luogo dell'arco *A B C D* (fig.17) un conduttore solido avente le

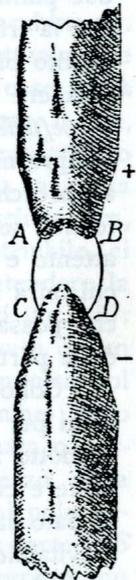


Fig. 17.

medesime dimensioni e la medesima resistenza, questo si scalderebbe meno dell'arco. Infatti la corrente produce calore in entrambi nella medesima misura, ma il corpo solido irradia liberamente da tutta la superficie esterna convessa $ACDB$, mentre l'arco emette il calore soltanto per la irradiazione delle due basi AB , CD , ed anzi per quella parte di questa irradiazione la quale non si fa dall'una all'altra punta, da AB su CD o viceversa. Insisto su questa osservazione a costo di ripetermi e di tediarvi; ma voi capirete forse già dove essa miri, e comprenderete tutta la sua importanza. Coloro che cercano di fare l'illuminazione elettrica ricorrendo invece che all'arco voltaico all'incandescenza di un corpo solido, potranno trovare corpi refrattari, corpi capaci di resistere ad elevatissima temperatura, corpi capaci di farsi tanto incandescenti da radiare una luce bianca e viva, ma quand'anche, cosa assai inverosimile, essi riuscissero a trovare una sostanza refrattaria come il carbone, questa non potrebbe mai, con una data corrente, ossia con una data spesa di energia, riscaldarsi tanto come si riscaldano le due punte fra le quali si forma l'arco voltaico. Ma noi sappiamo che la frazione luminosa del calore radiato è tanto maggiore quanto più è elevata la temperatura, dunque noi possiamo concludere fin d'ora, senza pure esaminare le loro ricerche, che il *coefficiente di rendimento in luce* dei loro apparecchi sarà sempre minore, e forse notevolmente minore di quello degli apparecchi ove la luce è prodotta coll'arco voltaico. Anche qui io non so trattenermi dal ripetere la solita osservazione: l'esame attento e paziente di un fenomeno fisico è spesso, anche per chi mira alle applicazioni, di gran lunga più istruttivo di quello che possa essere lo studio il più minuzioso, il più completo, delle particolarità di ingegnosi congegni.

Collo scopo di non nuocere alla chiarezza delle considerazioni per le quali desiderava condurvi, io considerai il calore prodotto nell'arco voltaico come dovuto unicamente alla corrente e calcolabile colla legge di Joule. Nel fatto al calore sviluppato dalla corrente si aggiunge quello dovuto alla combustione inevitabile dei carboni, e dalla somma dei due si sottrae quello equivalente al lavoro che la corrente deve fare per disgregare e gaseificare gli elettrodi. Questo fatto però non altera le nostre conclusioni: l'effetto risultante dei due fenomeni, della combustione e della disaggregazione dei carboni, è certamente una produzione di calore; ed a parer mio erreremmo se credessimo

che il calore speso per la gaseificazione fosse del tutto perduto; questo calore ci è quasi integralmente restituito nella combustione, giacchè non v'ha dubbio che la combustione del carbone già gaseificato produce più calore di quello che produca la combustione del carbone solido, e che la differenza equivale precisamente al lavoro di gaseificazione.

Per produrre praticamente la luce per mezzo dell'arco voltaico, bisognava trovar modo di fare che le punte dei due carboni stessero a distanza costante l'una dall'altra non ostante il continuo loro consumo. Pei casi poi nei quali la luce volesse proiettarsi con specchi o con lenti in determinate direzioni, bisognava inoltre che l'interruzione tra le due punte si mantenesse in posizione fissa non ostante l'ineguale consumo del carbone positivo e del negativo. Il problema fu risolto da *Foucault*, fin dal 1849, coll'invenzione di un congegno meccanico a cui egli aveva dato il nome di *regolatore*; questo, modificato poi da *Foucault* stesso, dal *Duboscq*, dal *Serrin*, dal *Siemens* e da una schiera di altri elettricisti e meccanici, fu ridotto a tale grado di perfezione, che da più anni lo si vede funzionare regolarmente senza bisogno di speciale sorveglianza o di troppo frequenti riparazioni, sui fari e nelle officine, fra le macchine industriali. Le forme e le disposizioni che esso ha attualmente sono numerosissime, e innumerevoli sono quelle che esso potrà ricevere; senza entrare in nessun particolare su di esse, il che, per quel che dissi cominciando, non ci deve interessare, io cercherò di darvi un'idea del principio sul quale la massima parte di essi sono fondati. Mi gioverò di una figura schematica, che, senza corrispondere a nessun apparecchio costruibile, ci servirà forse meglio che un vero disegno a farci intendere la struttura del regolatore *Serrin*, che è uno dei migliori (fig. 18): *AB* e *CD* sono i due carboni. Il primo è sostenuto da un portacarbone *MRS* che, come ho indicato in *X*, comunica col polo positivo dell'elettromotore (pila o macchina Gramme); esso è il carbone *positivo*; l'altro, *CD*, è portato da un'asta o portacarbone *DE*, la quale con un filo *Z*, e coll'intermezzo della spirale *s*, di una elettromagnete *Q*, comunica in *Y* col polo negativo dell'elettromotore; esso è il carbone *negativo*. La parte *RS* del portacarbone positivo è lavorata a dentiera, ed ingrana con una ruota *H*. Solidario con questa è un tamburo *G* di diametro metà minore, su cui si avvolge una catena *F*, che passando su di una puleggia di rimando *T*, viene a sostenere in *E* il porta-

carbone negativo. Così succede che il portacarbone positivo, abbassandosi pel proprio peso, fa girare la ruota H ed il tamburo G , e fa sollevare il carbone negativo con una velocità uguale alla metà della propria. Se nulla si oppone al moto della

ruota H , i due carboni AB e CD si avanzano l'uno verso l'altro con velocità che stanno fra di loro come i consumi che essi subiscono in un medesimo tempo: essi non si arrestano se non quando le loro punte B e C si toccano.

Consiste in questo l'*apparecchio motore*, l'apparecchio che avvicina i carboni quando non v'ha corrente, o quando, per essere i carboni consumati, l'arco voltaico BC è diventato soverchiamente lungo e colla propria resistenza indebolì la corrente. Oltre a questo apparecchio motore si hanno organi atti a fare sì che, quando la corrente passa, i due carboni si distacchino per dar luogo all'arco, e che il moto d'avvicinamento si arresti automaticamente quando l'arco non supera la lunghezza voluta. L'artificio con cui ciò si ottiene, è semplice quanto ingegnoso: ridotto a forma schematica, esso è il seguente. V'ha un parallelogramma articolato $OILO'$ mobile sui perni fissi OO' , il quale sostiene l'armatura P dell'elettrocalamita Q , ed è sostenuto da una molla m . Quando non v'ha nella spirale s della elettrocalamita una corrente di intensità sufficiente a fare sì che l'attrazione tra questa e l'armatura P superi la forza esercitata dalla molla m , il parallelogramma sta sollevato come nella

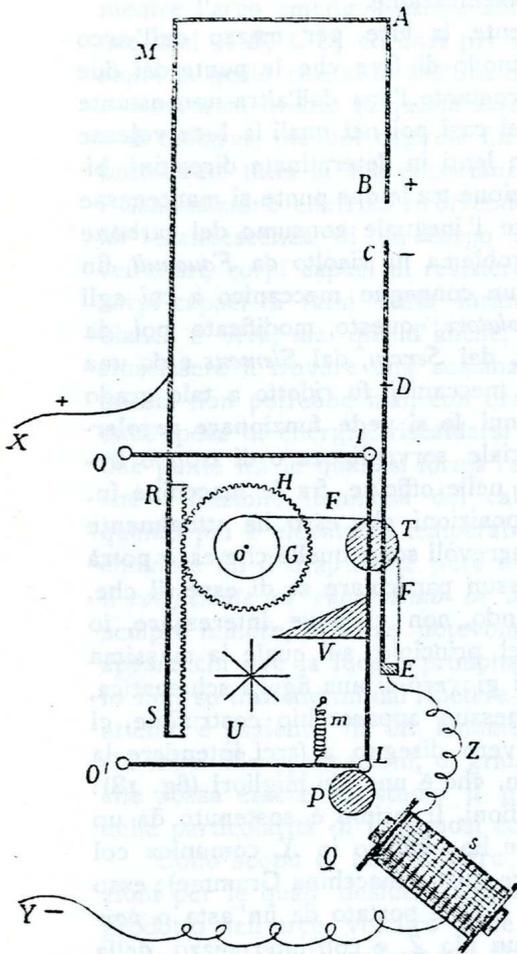


Fig. 18.

sta sollevato come nella

figura; ma se nella spirale s passa una corrente di intensità sufficiente, l'armatura P , attratta, trascina con sè tutto il sistema, le aste OI , $O'L$ ruotano sui perni O , O' e l'asta verticale IL si abbassa alquanto. Orbene, a quest'asta sono solidari:

1.° I sostegni della puleggia di rimando T .

2.° Un pezzo a squadra V , che quando l'asta si abbassa viene ad impegnarsi colla sua punta fra le palette di una ruota a stella U .

Questa ruota U poi è l'ultimo mobile di un rotismo mosso dalla ruota H ; riceve da questa un rapido movimento quando è libera, arresta il tutto quando è fermata. Ora ecco come l'apparecchio funziona. Finchè la corrente non passa, le punte B , C , sollecitate dal peso del portacarbone positivo, stanno a contatto. Ma si chiuda il circuito e passi la corrente; questa magnetizza la elettromagnete Q , e questa, attraendo l'armatura P , fa abbassare l'asta IL , la puleggia T ed il portacarbone negativo: le punte B , C si distaccano, l'arco voltaico si stabilisce; la squadra V , che si è abbassata anch'essa, tiene imbrigliato il rotismo ed impedisce che i carboni si riavvicinino. Il tutto sta immobile finchè l'arco non s'è allungato soverchiamente. Ma quando pel consumo avvenuto nei carboni l'arco sia cresciuto in lunghezza così da affievolire soverchiamente la corrente, l'attrazione della elettrocalamita Q sulla sua armatura P si fa minore della forza antagonista della molla m , e questa risolve il parallelogramma $OIL O'$ portandolo nella posizione che esso ha in figura. La squadra V , che si solleva coll'asta IL , cessa di imbrigliare la ruota U ; il rotismo è libero e pel peso del portacarbone positivo MRS la ruota H gira; gira con essa il tamburo G , e la catena FF solleva il carbone negativo. I due carboni si avvicinano finchè, diminuita sufficientemente la resistenza, la corrente acquista di nuovo l'intensità sufficiente perchè l'armatura P sia attratta. Quando questo succede, di nuovo il rotismo è arrestato ed i carboni si fermano. Se uno dei carboni si rompesse e la corrente cessasse, il rotismo sarebbe posto in libertà; esso farebbe avanzare i pezzi di carbone fino al contatto e l'arco si riaccenderebbe da sè.

Nella fig. 19 è rappresentata una sezione dell'apparecchio nella sua disposizione effettiva e con tutti i suoi particolari. B è la colonna del portacarbone positivo, H è il morsetto che tiene il carbone positivo, C è il portacarbone negativo. La vite T serve a fissare la parte superiore del portacarbone po-

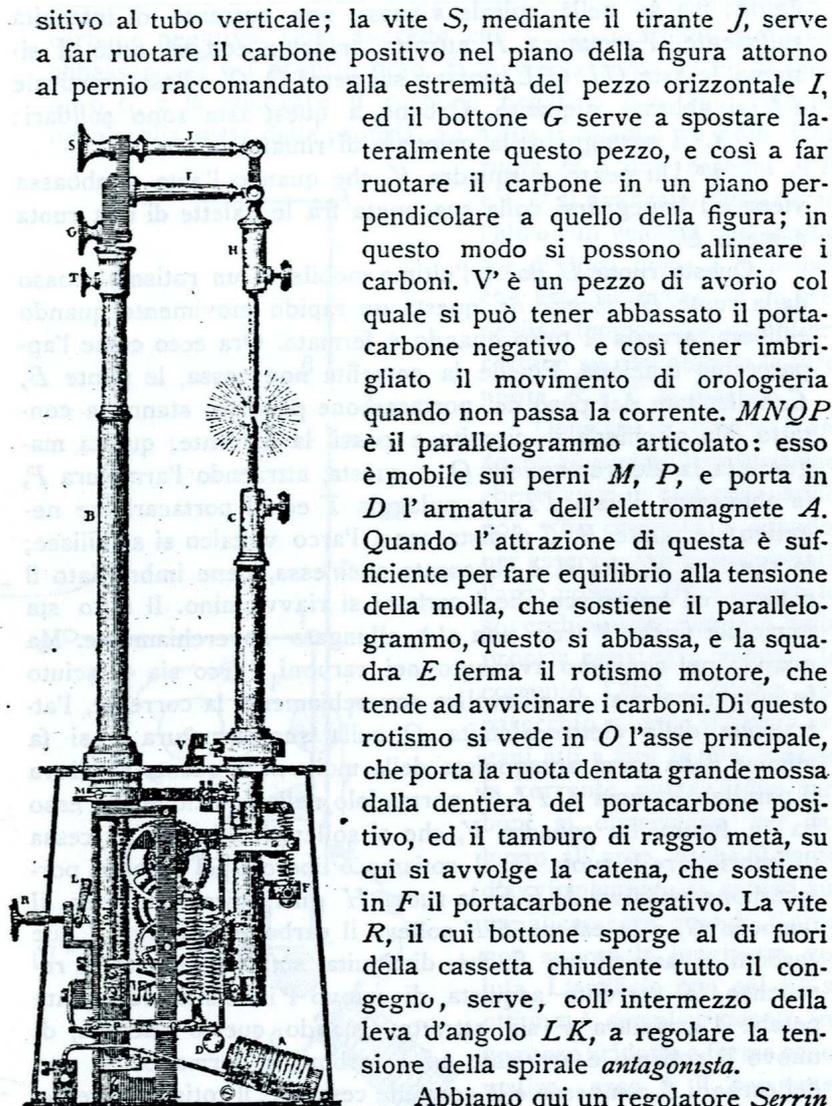


Fig. 19.

stabilisco la comunicazione coll'elettromotore la corrente può passare; ma appena essa comincerà a trasmettersi, l'elettromagnete che sta qui sotto, attrarrà l'armatura, abbasserà il parallelogrammo articolato, e con questo il carbone negativo. Si formerà così l'interruzione necessaria per avere l'arco voltaico.

Abbiamo qui un regolatore *Serrin* e possiamo vederlo in azione. Attualmente i due carboni si toccano, e se

sitivo al tubo verticale; la vite *S*, mediante il tirante *J*, serve a far ruotare il carbone positivo nel piano della figura attorno al pernio raccomandato alla estremità del pezzo orizzontale *I*, ed il bottone *G* serve a spostare lateralmente questo pezzo, e così a far ruotare il carbone in un piano perpendicolare a quello della figura; in questo modo si possono allineare i carboni. *V* è un pezzo di avorio col quale si può tener abbassato il portacarboni negativo e così tener imbriigliato il movimento di orologeria quando non passa la corrente. *MNQP* è il parallelogrammo articolato: esso è mobile sui perni *M*, *P*, e porta in *D* l'armatura dell'elettromagnete *A*. Quando l'attrazione di questa è sufficiente per fare equilibrio alla tensione della molla, che sostiene il parallelogrammo, questo si abbassa, e la squadra *E* ferma il rotismo motore, che tende ad avvicinare i carboni. Di questo rotismo si vede in *O* l'asse principale, che porta la ruota dentata grande mossa dalla dentiera del portacarboni positivo, ed il tamburo di raggio metà, su cui si avvolge la catena, che sostiene in *F* il portacarboni negativo. La vite *R*, il cui bottone sporge al di fuori della cassetta chiudente tutto il congegno, serve, coll'intermezzo della leva d'angolo *LK*, a regolare la tensione della spirale *antagonista*.

In breve i carboni si consumeranno, ma allora, subito, l'armatura sarà abbandonata dall'elettromagnete e si rialzerà: con ciò essa porrà in libertà il rotismo, il carbone positivo discenderà pel proprio peso, ed il negativo si rialzerà per azione della catena. Le velocità loro saranno come 2 ad 1, come i loro consumi.

Non si può dire di questo, come non si può forse di alcun apparecchio meccanico, che esso soddisfaccia completamente a tutte le condizioni necessarie per un perfetto funzionamento; non si può dire che esso non lasci assolutamente nulla a desiderare; ma si può oramai, dopo parecchi anni di estesissime prove, asserire che questi congegni raggiungono abbastanza bene il loro scopo, perchè l'illuminazione elettrica, fatta col loro mezzo, abbia potuto diventare, come diventò, veramente industriale. La regolarità del lavoro di un regolatore come questo dipende essenzialmente dalla regolarità colla quale si consumano i carboni, e questa dipende dall'omogeneità di questi. E siccome nella preparazione dei carboni sono possibili notevoli perfezionamenti, così noi dobbiamo aspettarci di vedere le condizioni dell'applicazione dell'illuminazione elettrica, fatta coi regolatori, farsi migliori di quel che ora sono.

Intanto queste applicazioni sono fin d'ora numerose ed importanti. Già prima che si avessero macchine di induzione potenti, quando ancora non si poteva aver l'arco voltaico se non con l'impiego costoso ed imbarazzante delle pile, la luce elettrica si adoperava non nei teatri soltanto, e nelle pubbliche feste, ma in cantieri di costruzione, ma su moli di sbarco in tempi eccezionali, ma in operazioni militari, ma in altri casi svariati, ove occorresse o illuminare con pochi centri di luce estese superficie, o render visibili di notte oggetti a grandi distanze. E fin d'allora l'applicazione della luce elettrica aveva spesso recato seco un'economia. Nella costruzione del ponte sul Reno a Kehl si adoperò la luce elettrica per illuminare i lavori durante la notte; nei docks Napoléon 800 operai lavorarono parecchie notti illuminati da regolatori *Serrin*, e l'illuminazione, benchè, ripeto, fatta con pile, non costò più che 9,75 cent. per operaio e per ora. L'ingegnere Brull, addetto ai lavori delle strade ferrate del nord della Spagna, adoperò 20 regolatori *Serrin* alimentati da pile, per ben 9417 ore, ed ottenne sulle torcie a vento un'economia del 60 %.

Era adunque naturale che l'invenzione delle macchine d'induzione di grande potenza facesse pensare a fare della illumi-

nazione elettrica, divenuta immensamente più economica, impianti stabili. Colle macchine dell'*Alliance* si illuminò elettricamente nel 1863 il faro di *La Hève*, presso Havre, e dopo d'allora parecchi fari elettrici si impiantarono in Francia, in Inghilterra, in Russia, in Austria, in Svezia, in Egitto. Fin dal principio essi funzionarono regolarmente, con una economia notevole, e sarebbero certamente molto più numerosi oggidì, se le amministrazioni non esitassero di fronte alla spesa di un rimaneggiamento generale. Colle macchine di induzione moderne, le applicazioni si estesero ad un campo molto più vasto; la illuminazione elettrica si introdusse negli stabilimenti industriali.

Dal 1873, quando la società costituita a Parigi per la costruzione delle macchine Gramme faceva per la prima volta questa applicazione nel suo opificio, parecchi di quegli opifici ove si hanno vasti locali atti ad essere convenientemente rischiarati con pochi centri potenti di luce, come sono le fonderie, gli opifici di montatura, o simili, adoperano regolarmente la illuminazione elettrica. Uno, o due, o tre o quattro regolatori sostenuti da una colonna, od appesi al soffitto con una corda, attivati da altrettante macchine Gramme o *Siemens*, distribuiscono in quei vasti locali una luce che ne rischiarava tutte le parti, che è sicura e calma, che è bianca come quella del sole.

Questi impianti funzionano da parecchi anni, ed oramai noi possiamo portare sulla loro convenienza un giudizio abbastanza sicuro.

La questione si riduce a questa: Quanto costa la luce elettrica?

Il primo dato che ci occorre per rispondere a questa domanda è il lavoro meccanico necessario per produrre coll'arco voltaico una data quantità di luce. Si fecero a questo riguardo da molti e in molte condizioni diverse, molte esperienze, le quali naturalmente non sono sempre in perfetto accordo tra di loro, sia per la difficoltà loro intrinseca, sia perchè non sempre furono pubblicate col solo scopo di far conoscere la verità; ma prese insieme, danno per lo scopo nostro attuale indicazioni più che sufficienti. Le più attendibili di queste esperienze vennero tutte a confermare i risultati ottenuti fin dal 1875 dal Tresca, sicchè oggi come allora noi non potremmo appoggiare i nostri computi a basi più sicure che alle esperienze di questo sperimentatore di provata perizia ed onestà. Senza stancarvi con grande apparato di numeri, io registrarai qui cinque risultati

trovati da questo sperimentatore, coi quali si accordano assai bene molti altri.

Nella prima colonna della piccola tabella seguente è indicata la *intensità luminosa* degli archi voltaici sui quali si fecero gli esperimenti, espressa questa intensità, in *becchi normali Carcel*. Il *becco normale Carcel*, voi sapete, è l'unità di misura abituale per la quantità di luce; è il termine di confronto di cui abitualmente si fa uso per paragonare tra di loro i luminari. È una fiamma ad olio prodotta in una lampada a regolatore, a pompa, con corrente interna d'aria; alta, questa fiamma, 35^{mm}, e consumante 42 gr. di olio purificato all'ora. Questa luce può essere ottenuta con sette candele steariche consumanti ciascuna 10 gr. all'ora, oppure con 105 litri (in media) di gaz-luce consumati in un'ora in un becco *Bengel*. La prima colonna adunque ci dice che le lampade elettriche sperimentate producevano rispettivamente la luce di 1850, di 300, di 150, di 100, di 50 becchi *Carcel*, o, se vuolsi, di 1850, 300, 150, 100, 50, becchi a gaz al titolo di 105 litri.

I numeri scritti nella seconda colonna indicano quanti cavalli-vapore (il cavallo-vapore è il lavoro di 75 chilogrammetri in 1") ciascuna lampada richiedesse per ogni 100 becchi *Carcel*. I numeri di questa colonna rappresentano il lavoro che bisogna spendere per produrre colle diverse lampade sempre una medesima quantità di luce, la luce di 100 becchi normali.

Intensità luminosa dell'arco voltaico in becchi <i>Carcel</i> .	N.º di cavalli-vapore necessari per 100 becchi <i>Carcel</i> .
1850	0,415
300	0,920
150	1,7
100	2,4
50	4,4

Deduciamo da questi numeri una conseguenza importante: il lavoro meccanico, che bisogna spendere per produrre una medesima quantità di luce, 100 becchi *Carcel* per esempio, non è sempre lo stesso, ed è tanto *minore* quanto più potente è l'arco voltaico prodotto; l'economia della produzione della luce, il coefficiente di rendimento in luce è tanto maggiore quanto è maggiore l'energia accumulata nella lampada elettrica; è questa

la conferma sperimentale del principio che noi avevamo stabilito fin dalla prima seduta, ed è una conferma completa.

Torneremo su ciò un'altra sera.

Un altro dato, di cui abbiamo bisogno per calcolare il costo della luce elettrica, è il consumo delle bacchette di carbone. Ora che l'energia elettrica costa così poco, quella dei reofori di carbone figura fra le spese come una delle importanti, ed è pur troppo ancora di valutazione incerta. Per prudenza noi ci atterremo alle indicazioni fornite dai signori *Heilmann* e *Ducommun* di Mulhausen, che da molti anni fanno uso dei regolatori *Serrin* nei loro opifici. Secondo questi industriali il consumo complessivo per ogni lampada è di metri 0,12 per ogni ora d'illuminazione. Ai carboni poi, possiamo attribuire il prezzo di L. 1,60 al metro.

Servendoci di questi dati noi possiamo calcolare ciò che può costare la luce elettrica nei diversi casi.

Io ho scelto uno dei casi più comuni nelle applicazioni agli opifici, quello in cui si abbia un locale illuminato con lampade elettriche di 100 becchi ciascuna, e per fissare le idee su di un caso concreto ho supposto che si abbiano quattro regolatori di questa potenza. Ho raccolti i risultati nel seguente quadro, facendo il calcolo in due ipotesi diverse: nell'ipotesi *A*, che non si abbia nell'opificio forza motrice esuberante e si debbano attivare le macchine d'induzione con un motore apposito, ed il caso *B*, nel quale si abbia forza esuberante, e non sia quindi necessario l'impianto di un motore speciale.

Ho supposto che si abbiano in un anno 1000 ore di illuminazione ed ho riferite tutte le spese ad un'ora di illuminazione.

Spese correnti per ogni ora d'illuminazione	<i>A</i>	<i>B</i>
Interessi ed ammortizzazione della spesa di		
L. 10,000 per impianto degli apparecchi		
elettrici	L. 1	1
Id. id. per L. 10,000, costo della motrice di		
10 cavalli.	" 1	"
Salario del meccanico	" 1,20	"
Combustibile per la motrice, 20 kil. a L. 0,04	" 0,80	0,80
Bacchette di carbone 0 ^m , 48 a L. 1,6	" 0,77	0,77
Lubrificazione	" 0,20	0,20
Totale L.	4,97	2,77

La medesima quantità di luce per essere prodotta col gas richiede il consumo di metri cubi $0,105 \times 400 = 42$ di gas, che col prezzo di 26 centesimi che il gas ha a Torino, costano lire 11 circa. Dunque, a parità di quantità di luce, il gas costerebbe rispettivamente 2,2 e 4,0 volte ciò che costa la illuminazione elettrica.

Bisogna però notare che non sempre il confronto vuol essere fatto a parità di quantità di luce: col gas noi possiamo illuminare precisamente là dove si ha il maggior bisogno di luce; mentre colla illuminazione elettrica noi poniamo il luminaire lontano dalle persone che lavorano, e diamo la massima quantità di luce alle parti del locale che hanno meno bisogno di essere rischiarate. Quindi per una medesima quantità totale di luce si possono avere quantità diverse di luce utilizzate. L'importanza di questa considerazione dipende evidentemente da una quantità di circostanze diverse, di cui sarebbe impossibile tener calcolo in modo generale. Possiamo fare, per avere un criterio, una ipotesi: che quando la luce è data da molti becchi di gas, basti avere di essa la metà di quella che è necessaria quando si fa uso dell'arco voltaico. Allora l'illuminazione a gas costerebbe soltanto L. 5,50. Vedesi tuttavia che anche in questo caso l'illuminazione elettrica offrirebbe una economia del $9 \frac{1}{2} \%$ nel caso A e del 50% nel caso B.

L'economia è evidentemente maggiore quando si può far uso di lampade più potenti. Ce lo dice la tabella su cui abbiamo ragionato.

L'economia è massima quando non si ha bisogno che di un potentissimo centro luminoso destinato ad essere visto da lontano, come succede nei fari. In questo caso:

1.° Il confronto della spesa si deve fare a parità di quantità;

2.° È massimo il rendimento in luce.

E infatti le relazioni ufficiali relative ai fari elettrici esistenti constatano tutte che a parità di potenza e di portata, la illuminazione di un faro elettrico non costa più che la ottava parte di quella di un faro ad olio.

Nei fari anche le spese di impianto riescono forse minori quando si faccia uso della luce elettrica che nel caso contrario: infatti, in questo caso se si ha la spesa della motrice e della macchina d'induzione, si risparmia nell'impianto degli apparecchi lenticolari che possono essere ridotti a minime dimensioni. Le

lenti dei fari debbono avere diametri grandi a fronte delle dimensioni del focolaio, se si vuole che la luce ne esca in un fascio sensibilmente cilindrico, quindi debbono essere notevolmente più grandi quando il focolare è una grossa fiamma ad olio che non quando è un arco voltaico.

Poichè fui condotto a parlarvi delle dimensioni dei focolai dei fari, voglio terminare con una osservazione. I progressi nella disposizione dei fari datano tutti da un secolo in qua. Nel 1784 i fari erano ancora, la maggior parte, illuminati con focolai a legna: erano grandi fuochi, fumanti, fuliginosi; non differivano da quelli con cui si narra che Agamennone telegrafasse a Clitennestra la caduta di Troia ed il prossimo suo ritorno. Nel 1784 Borda rimpiazzò il braciere con lampade ad olio, che munì di riflettori parabolici. Verso il 1822 Fresnel, di concerto con *Arago* e *Mathieu*, perfezionò le lampade facendole a stoppini cilindrici e concentrici. Il focolaio fu così ridotto a circa 9 centimetri di diametro su 10 di altezza. Ora abbiamo una eguale, una maggiore luce in un focolaio elettrico di pochi millimetri cubi. I perfezionamenti successivi si ridussero a successive diminuzioni della superficie in cui si fa la radiazione. Vedete adunque che anche la storia dei fari conferma la verità delle nostre teorie.

CONFERENZA QUINTA.

24 maggio 1879.

NUOVE LAMPADE ELETTRICHE.

DIVISIONE DELLA LUCE ELETTRICA. — CONCLUSIONI.

Ci siamo occupati dell'illuminazione elettrica fatta per mezzo dei *regolatori*: ci siamo in primo luogo fatto un'idea degli apparecchi a cui si dà questo nome, ci siamo in secondo luogo reso conto della convenienza economica del sistema, della sua importanza pratica e delle condizioni da cui questa dipende.

L'apparecchio detto regolatore è un congegno da cui i due carboni, fra le punte dei quali si deve formare l'arco voltaico, sono portati così, che nonostante il consumo loro la distanza fra le due punte si mantenga fra limiti convenienti e che, nonostante il maggiore consumo del carbone positivo rispetto al negativo, l'interruzione del circuito, sulla quale si forma l'arco voltaico, si mantenga immobile nella sua posizione. Mosso dal peso del portacarboni positivo o dall'elasticità di una molla, un rotismo tende a far avanzare i due carboni l'uno verso l'altro con velocità proporzionali ai loro consumi; ma il rotismo è imbrigliato da un nottolino d'arresto comandato dall'armatura di una elettromagnete, nella spirale della quale passa la corrente. Quando l'intensità della corrente è quella che conviene, l'armatura è attratta, ed il nottolino arresta il rotismo; quando invece per essere la lunghezza dell'arco cresciuta a dismisura, la resistenza aumentata fa diminuire sotto ad un certo limite l'intensità della corrente, l'armatura si distacca dalla elettromagnete, ed il nottolino lascia in libertà il movimento di orologeria, e questo fa avvicinare i carboni. Negli apparecchi più completi, come è quello di *Serrin* che noi abbiamo veduto, v'ha una disposizione tale che i carboni, inizialmente a contatto l'uno col l'altro, si distaccano appena passa la corrente, cosicchè l'arco voltaico si produce automaticamente, e la lampada si accende da sè.

La convenienza economica e la importanza pratica del sistema può dedursi da dati sperimentali, che oramai, dopo cinque anni dacchè il sistema è entrato nel campo industriale, formano per un calcolo una base sicura. Trovammo che la convenienza è tanto maggiore, quanto più potenti sono i centri luminosi adoperati. È massima nei fari; è grande negli opifizi ove è possibile fare uso di poche lampade potenti, e dove si ha forza motrice esuberante; sussiste ancora quando l'illuminazione elettrica richiegga l'impianto di un motore apposito, purchè ciascuna lampada produca almeno 100 becchi Carcel.

Ora l'esito felice di molte di queste applicazioni fece nascere più larghi desideri, speranze più ardite. Parve dover essere possibile fare della luce elettrica applicazioni più estese; parve di poter tentare di portare questo modo d'illuminazione nelle strade e sulle piazze, nei luoghi di convegno, nelle botteghe, nelle abitazioni private; parve che la illuminazione per mezzo della corrente elettrica si presentasse come quella dell'avvenire, del prossimo avvenire; e molti ingegni si posero dietro la

guida di tali idee, e molti capitali si dedicarono ad audaci tentativi. Per conseguire la meta bisognava modificare in molte parti gli apparecchi ed il loro uso; sorsero quindi i numerosi sistemi nuovi, dai quali ebbero origine le speranze esagerate ed i timori esagerati, a cui io feci allusione cominciando la prima mia conferenza, su cui si aggirano le controversie per giudicare delle quali, noi abbiamo voluto trovarci in queste serate, e ragionare insieme.

La luce elettrica ottenuta coi regolatori non è applicabile se non nei casi in cui non sia un inconveniente l'aver la luce data da pochi centri radianti, di grande potenza: quindi non è applicabile che in pochi casi. Bisognava adunque frazionarla, dividerla. Ed a quest'uopo bisognava o modificare radicalmente, o togliere affatto il regolatore. Infatti:

1.° Il regolatore non può, per la sua stessa costruzione, funzionare bene se non è *unico* nel circuito: se più regolatori fossero posti in un medesimo circuito, le oscillazioni continue, inevitabili, dei carboni dell'uno facendo variare la resistenza e quindi la intensità della corrente, provocherebbero in tutti gli altri oscillazioni irregolari, le quali ne disturberebbero il funzionamento.

2.° Quando anche parecchi regolatori potessero lavorare regolarmente nel medesimo circuito od in circuiti derivati, essi sarebbero sempre apparecchi troppo complicati, e voluminosi troppo, per essere posti su di ogni lampione. Il bisogno poi di rimettere i carboni di tempo in tempo renderebbe assai incomodo il loro impiego su così vasta scala.

I sistemi proposti sono molto numerosi: ma a noi giova ridurli a pochi tipi per ragionare soltanto su questi.

Io distinguo tre classi principali di apparecchi:

1.° I sistemi ad arco voltaico;

2.° I sistemi ad incandescenza;

3.° I sistemi misti, ove la radiazione di un brevissimo arco voltaico e la incandescenza di una breve bacchetta di carbone sono adoperate insieme.

Nei sistemi della prima classe la luce è data dall'arco, o meglio dalle punte fra cui l'arco si forma, come nel sistema ordinario dei regolatori; ma invece di apparecchi coi delicati rotismi di cui ci siamo fatto una idea, si hanno disposizioni più semplici e tali che le punte dei carboni non oscillino, ma sieno assolutamente immobili alla distanza voluta.

Alcuni di questi apparecchi sono veri regolatori, soltanto semplificati, ove i carboni non hanno bisogno, per mantenersi alla distanza voluta, che di essere spinti innanzi di mano in mano che vanno consumandosi. Ciò si può ottenere come nell'apparecchio di *Staitte* ed *Edwards* (fig. 20), che è il più antico dei regolatori, facendo che i carboni *A, B* sieno spinti contro un pezzo *C* di materia refrattaria, in modo che tra loro resti

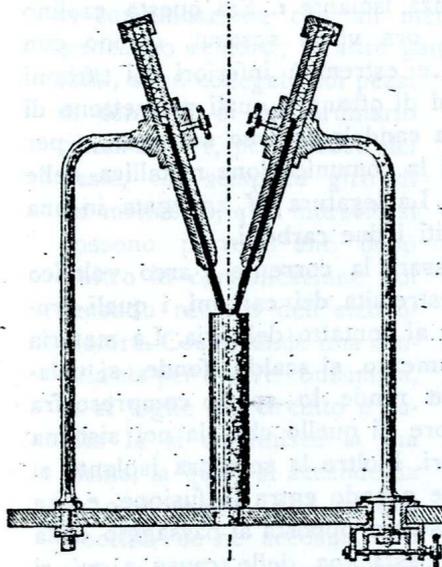


Fig. 20.

sempre lo spazio *ab* per l'arco. Oppure si può ottenere il medesimo risultato, adoperando, in luogo di due carboni, due coppie di carboni *AA'* e *BB'* incontrantisi ad angolo nei punti *a* e *b* (fig. 21). Se i due carboni *A, A'* sono spinti innanzi secondo le loro direzioni, essi, ancorchè si consumino, si incontrano sempre in un medesimo punto *a*; similmente rimane fisso il punto *b* di incontro dei due carboni *B, B'* se questi, chiusi in

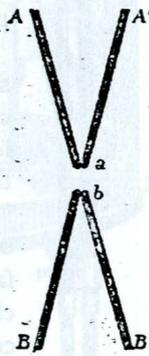


Fig. 21.

innanzi e si avanzano mentre si consumano. Se i due carboni *A, A'* sono in comunicazione col polo positivo, ed i due *B, B'* sono in comunicazione col polo negativo dell'elettromotore, si forma fra *a* e *b* un arco assolutamente fisso. Tale è il sistema recentemente proposto dal russo signor *Rapieff*.

Di somiglianti congegni ve n'ha degli ingegnosi, ve ne ha però anche molti che non sono altro che un ritorno a cose vecchie e dimenticate. Nessuno di essi, finora almeno, ebbe un esito vero, nessuno fu l'oggetto di esperimenti di qualche importanza, di qualche durata.

Altri sistemi invece sopprimono addirittura il regolatore sostituendovi una *candela* elettrica. È tipo di questi il sistema di *Jablochkoff*, che fra tutti i nuovi sistemi ad arco voltaico, è finora quello che venne sperimentato su più larga scala, quello

che levò più rumore, quello in cui la pratica ha detto già qualche cosa di più decisivo, quello a cui noi dobbiamo, prima che ad ogni altro, rivolgere la nostra attenzione.

Noi abbiamo sotto agli occhi una *candela elettrica* del *Jablochhoff* (fig. 22). È formata di due bacchette *c, d* cilindriche di carbone. (carbone artificiale Carré) collocate l'una di fianco all'altra, parallelamente l'una all'altra e separate da una sostanza isolante *i*. Era questa caolino nelle prime candele, ora vi si sostituisce, dicono con vantaggio, il gesso. Le estremità inferiori dei carboni penetrano in due tubi di ottone, i quali permettono di chiudere facilmente la candela nel suo sostegno, e per mezzo dei quali si fa la comunicazione metallica delle bacchette coi reofori. La legatura *M*, annegata in una pasta solida, tiene uniti i due carboni.



Fig. 22.

L'accensione delle candele si fa automaticamente appena la comunicazione coll'elettromotore è stabilita, e ciò in grazia di una bacchetta di grafite di un millimetro di diametro, collocata all'estremità superiore dei carboni, di traverso, e ritenuta con una legatura *ab* d'amianto.

Lo stesso risultato si ottiene con una semplice legatura di fil di ferro.

La candela viene collocata tra le mascelle di una piccola morsa, le quali si serrano contro di essa per la elasticità di una molla, sono isolate l'una dall'altra, e con opportuni morsetti si possono mettere in comunicazione coi due reofori. Una candela non dura più di un'ora e mezza; quindi per una illuminazione, che debba durare un tempo più lungo, occorrono più candele.

Per fare il cambio delle candele comodamente, e presto, senza interrompere la illuminazione, si fanno *candelieri a quattro morse*, portanti quattro candele (fig. 23). Sono dischi *DD* di materia coibente, per esempio di vetro opalino, su cui sono impiantate quattro morse *M, N, P, Q*, come quella che io descrissi, a ciascuna delle quali si può raccomandare una candela. Le quattro morse hanno una delle ganasce, l'interna, in comunicazione con un medesimo serrafilo, quindi con un medesimo reoforo; le altre ganasce, le esterne, coi relativi serrafili, sono collegate coi pezzi di contatto di un ordinario commutatore, per mezzo del quale, col semplice giro di un manubrio, quei morsetti si possono porre l'uno dopo l'altro in comunicazione col secondo reoforo dell'elettromotore. Così quando una candela sta per essere consumata, la si toglie dal circuito e subito le si sostituisce la sua vicina, la quale si accende da sé così presto, che appena l'occhio se ne accorge. Con quattro candele per candeliera si può così prolungare la illuminazione per sei ore, senza che occorra altro che questo:

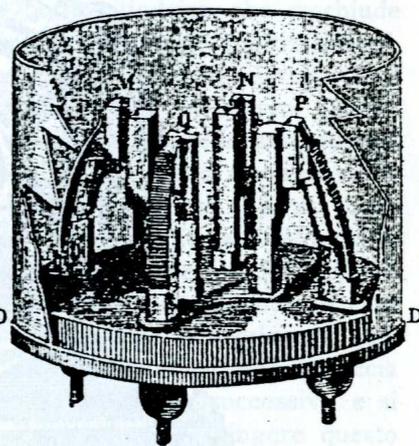


Fig. 23.

che un inserviente venga ad intervalli di un'ora e mezza a dare un giro al manubrio del commutatore. Per una illuminazione, che dovesse durare di più, si potrebbero adoperare candelieri con un numero maggiore di candele, ma identici nella sostanza, a quello che abbiamo descritto.

Se si adoperasse, per attivare una candela elettrica, una corrente costante, diretta sempre nel medesimo verso, i due carboni, noi sappiamo, si consumerebbero diversamente, e il positivo circa il doppio del negativo. La candela si farebbe in breve zoppa, la distanza fra le due punte aumenterebbe gradatamente, e dopo poco l'arco si romperebbe, la luce si spegnerebbe. Bisognerebbe, per evitare questo guaio, dare ai due carboni sezioni diverse, e far maggiore il positivo che il negativo; meglio, più semplicemente e più sicuramente, si evita

l'inconveniente attivando la candela con correnti alternate, dirette, con rapida vicenda, alternativamente in un verso e nel verso opposto. Per tal modo i due carboni si trovano in condizioni identiche, si accorciano ugualmente, e la candela si consuma regolarmente fino alla base come una candela ordinaria.

Essendo fissa la distanza delle punte, non essendovi le oscillazioni inevitabili nei regolatori, riesce facile tenere accese in un medesimo circuito parecchie candele ad un tempo. Negli

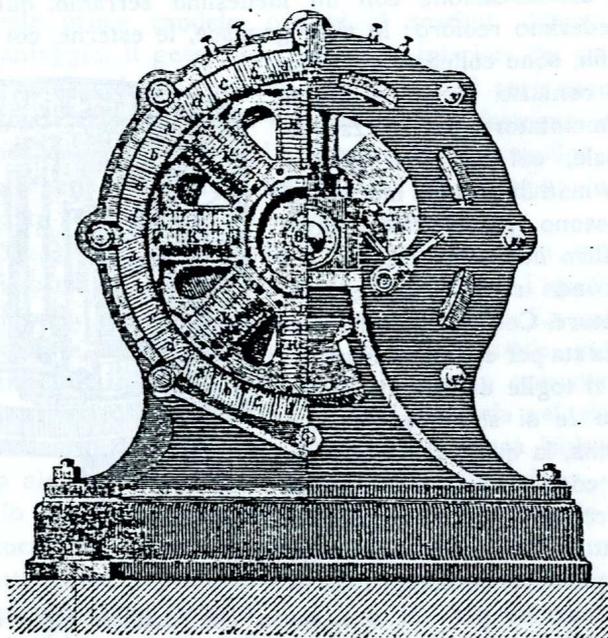


Fig. 24.

impianti che funzionarono e funzionano tuttavia a Parigi, si hanno quattro candele in ogni circuito.

Per produrre le correnti alternate, di cui si ha bisogno per l'alimentazione delle lampade *Jablochkoff*, il Gramme costruì macchine apposite. Voi vedete qui (fig. 24) un disegno di una delle macchine adoperate a Parigi, la quale basterebbe per 16 candele *Jablochkoff* poste quattro a quattro in quattro circuiti diversi. Otto elettrocalamite diritte *K*, i cui nuclei sono grossi lastroni di ferro perpendicolari al piano della figura, e collocati radialmente come le palette di una zangola, sono portate da un albero *B*, a cui con una puleggia ed un cingolo è trasmessa

una rapida rotazione (600 giri o più al minuto). Con due sfregatoi a spazzola, di cui uno è visibile nella figura, le estremità delle spirali di queste elettromagneti sono tenute in comunicazione coi poli di un elettromotore qualunque a corrente costante, per esempio di una ordinaria macchina Gramme di piccolo modello. Così le elettromagneti rotanti sono attivate, e i fili sono avvolti in modo che i poli esterni sono in esse alternati. Sono queste le *elettromagneti induttrici*. Girando, i poli delle elettromagneti induttrici vengono a passare davanti alle spirali *a, b, c, d...* ecc., disposte tutte in giro, avvolte su di un nucleo di ferro, fisso, formante come una botte cilindrica, che racchiude il tutto. Sono queste le spirali indotte. Formano quattro gruppi, e sono congiunte in modo, che le *a* formino un circuito, le *b* un altro, le *c* un altro, le *d* un altro. Così si hanno quattro circuiti indotti, in ciascuno dei quali possono collocarsi quattro candele. Come in questa macchina si producano correnti alternate, noi vediamo subito, dopo quel che abbiamo appreso. Consideriamo una delle spirali indotte, per esempio la *d*. Mentre le si avvicina il polo di una delle elettromagneti induttrici, per esempio di quella, che le sta ora davanti, si produce in essa una corrente che ha tal verso da tendere a respingere quel polo, da opporsi al movimento. Ma poco dopo arriverà in faccia ad essa il polo della elettromagnete induttrice successiva e si produrrà in essa una corrente che tende a respingere questo nuovo polo mobile. Ora io dissi che i poli delle elettromagneti induttrici sono alternati, dunque sono alternate anche le correnti indotte. Nel sistema *Gramme* abbiamo descritto due macchine, una piccola macchina a correnti continue, la quale non fa che magnetizzare le elettromagneti induttrici, e la macchina a correnti alternate, la vera macchina che dà le correnti, con cui si fa la luce.

Si capisce che un gabinetto ed una scuola come questa non possono essere muniti di tutti questi apparati. Tuttavia, se non potremmo fare agire in modo continuo per lungo tempo un sistema *Jablochkoff*, possiamo tuttavia porre benissimo in azione qualche candela e vederne gli effetti. Inserisco un commutatore nel circuito, e con questo di quando in quando, rapidamente abbastanza perchè l'arco non si spenga, invertirò la corrente. L'effetto sarà identico.

Faccio passare dapprima la corrente per una delle due candele poste sul candeliere che ho qui sul tavolo. Tutto qui è

scoperto e si vede. Vedete che, appena chiuso il circuito, la candela si accende. Sulla punta della candela abbiamo l'apparenza di un globo luminoso, e questo è annesso in una fiamma purpurea, che ne smorza la rigidità, che ne sfuma per così dire i contorni. Col commutatore toglierò dal circuito questa candela e vi sostituirò la sua vicina: vedrete che subito si accenderà, e se in questo locale avessimo altre luci, non ci accorgeremmo quasi del cambio.

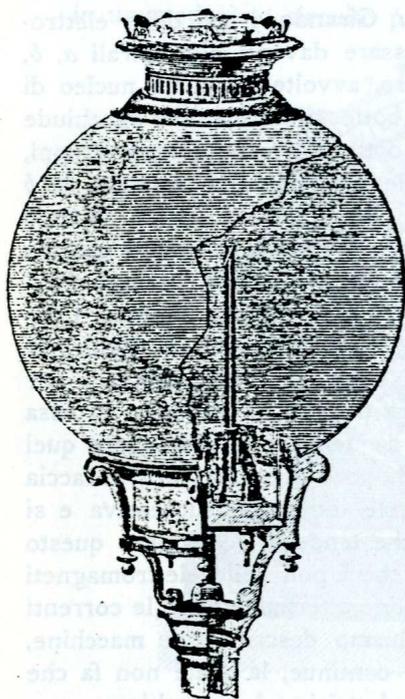


Fig. 25.

Avete visto la candela a nudo: per applicarla alla illuminazione, conviene chiuderla in un pallone appannato di grande diametro. Così la luce che qui, concentrata in piccolo spazio, è insopportabile all'occhio, distribuita in tutta la superficie del pallone si farà meno viva e non potrà più offendere.

Ecco (fig. 25) un pallone, come quelli applicati a Parigi dalla Società Jablochhoff. Là dentro ho disposto una candela; vi mando la corrente, e voi ne vedete adesso l'effetto.

Mentre che noi stavamo guardando l'effetto di questa lampada elettrica, il preparatore ha collocato nella lanterna

di proiezione una nuova candela: ora io farò passare la corrente in quella, e noi potremo vedere proiettata l'estremità della candela su di uno schermo, ed esaminare i fenomeni che avvengono fra le punte dei carboni. Vedete un bagliore rossiccio: questo è l'immagine di una vera fiamma; dentro, assai più splendidi, brillano le due punte: essendo le correnti alternate, esse sono uguali; in mezzo v'è il gesso, che si consuma. La materia coibente che dà passaggio alla corrente, la fiamma conduttrice, che fa altrettanto, diminuiscono la resistenza; si ha un arco pieno, grosso, arrotondato, morbido. Sono pregi questi, per la bellezza, ma vedremo che costano cari.

di proiezione una nuova candela: ora io farò passare la corrente in quella, e noi potremo vedere proiettata l'estremità della candela su di uno schermo, ed esaminare i fenomeni che avvengono fra le punte dei carboni. Vedete un bagliore rossiccio: questo è l'immagine di una vera fiamma; dentro, assai più splendidi, brillano le due punte: essendo le correnti alternate, esse sono uguali; in mezzo v'è il gesso, che si consuma. La materia coibente che dà passaggio alla corrente, la fiamma conduttrice, che fa altrettanto, diminuiscono la resistenza; si ha un arco pieno, grosso, arrotondato, morbido. Sono pregi questi, per la bellezza, ma vedremo che costano cari.

Ecco la candela che illuminò, con tanta attrattiva pei visitatori dell'Esposizione di Parigi, la *place* e l'*avenue de l'Opéra*, i magazzini del *Louvre*, l'ippodromo. Essa fu tipo di numerosi apparecchi diversi immaginati poi, e costrutti da *Rapieff*, *Siemens*, *De Méritens*, *Thurston*, *Wilde*, *Jamin*. E qualunque sia per essere il suo avvenire, comunque oggi stesso siano svanite le speranze di vedere per ora in essa un sistema economico, non si può negare che essa contenga un'idea nuova, semplice, pratica in sè, la quale frutterà forse in altro tempo. Ad ogni modo è essenzialmente alle prove fatte con questo sistema, che noi dobbiamo tutto lo scalpore attuale per l'illuminazione elettrica.

La divisione della luce elettrica permessa dalla candela Jablochhoff è molto limitata; si sperò di poter avere di più, ed a quest'uopo si pensò di ricorrere a lampade presentanti piccole resistenze, così da poter stare in gran numero in un medesimo filo od in circuiti derivati. Quindi le lampade ad *incandescenza*.

Come dice la parola, in queste lampade la luce emana da un corpo incandescente: una bacchetta di carbone, una spirale di platino, una lastrina di platino, un pezzetto di iridio. La soluzione del problema fatta in tal modo era semplice ed ovvia, facilissima ad immaginare, anzi era già immaginata da molto tempo, prima ancora che il *Foucault* desse alla luce il suo regolatore. Nel 1845 il signor *King* prendeva un brevetto di privativa per un apparecchio che è il tipo di tutti. Una bacchetta di carbone *A* (fig. 26), di pochi millimetri, era inserita nel circuito fra due reofori *D*, *C*. Il tutto era chiuso in un tubo *B* vuoto d'aria; talvolta nella camera barometrica. Lo stesso si sarebbe ottenuto in uno spazio pieno di gaz inetto ad alimentare la combustione.

Un brevetto affatto analogo a quello del *King* prendevano nel 1846 *Greener* e *Staute*; un altro ne prendeva il *Patrie* nel 1849, proponendo l'uso dell'iridio. I sistemi proposti da questi signori furono poi dimenticati, finchè nel 1874 un russo, *Lodiguine*, li richiamò in vita riinventandoli. *Kosloff*, *Kann*, poi *Bouliguine* e *Fontaine* migliorarono questo apparecchio e l'ultimo eseguì su di esso molte esperienze. Ed altri fecero proposte analoghe, le quali non diedero mai risultati molto felici. Final-

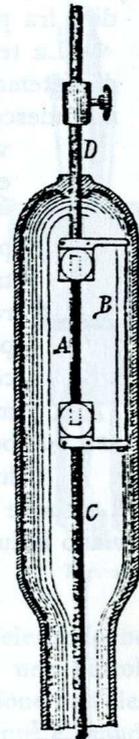


Fig. 26.

mente *Edison* fece brevettare, recentemente, un suo sistema di illuminazione elettrica, che nella sostanza non è che il metodo di illuminazione per incandescenza, con alcuni particolari, non tutti nuovi, relativi ad artifici diversi per regolare automaticamente la temperatura del corpo incandescente, onde evitare che esso si rompa.

Che con questi sistemi si possano porre in un medesimo circuito parecchie lampade elettriche, è chiaro: che la luce ottenuta possa essere economica e bella è da dubitare; e di ciò dirò fra poco.

La terza classe di apparecchi, che io ho distinto, è quella di sistema misto, ove la luce emana in parte da una verghetta incandescente di carbone ed in parte da un brevissimo arco voltaico. Comprende questa classe le lampade di *Reynier* e di *Werdermann*.



Fig. 27.

Il principio è il medesimo in entrambe, ed è semplicissimo (fig. 27): una sottile bacchetta di carbone *C* tagliata in punta *j*, e posta in comunicazione in *iI* col reoforo positivo, preme costantemente dal peso proprio e del sostegno, o da una molla, o da un contrappeso convenientemente proporzionato, si appoggia leggermente contro la superficie di un grosso blocco di carbone *B* in comunicazione col reoforo negativo. Al luogo del contatto si forma un minimo arco voltaico ed il carbone positivo si fa incandescente, l'arco e la bacchetta inviano la luce. L'esperienza prova che la sola asticciuola positiva si consuma, mentre non s'altera sensibilmente il blocco costituente l'elettrodo negativo; l'apparecchio non ha adunque d'uopo di meccanismo di nessuna natura: bastano i contatti ed il contrappeso.



Fig. 28.

Reynier si era preoccupato della necessità di far cadere la cenere che si formava sul carbone negativo, e a quest'uopo aveva dato a questo la forma di una rotellina *B* (fig. 28) girevole su di un asse orizzontale, sulla quale il carbone positivo *C* si appoggiava alquanto eccentricamente, così da provocare ad ognuna delle piccole scosse, ch'ei subiva pel successivo consumo, piccoli moti angolari. Così si rinnovava costantemente la superficie di contatto fra i carboni.

Werdermann trovò inutile questa complicazione ed ottenne un effetto molto regolare disponendo semplicemente il carbone

negativo in alto ed il positivo in basso (fig. 29). Egli diede al primo la forma di un piccolo disco *C*, di 5 centimetri di diametro, coll'asse verticale, e dispose sull'asse medesimo la bacchetta positiva *b*. La bacchetta positiva *b* è tenuta fra due labbra di rame *TR*, che la stringono abbastanza per stabilire la comunicazione col reoforo, senza tuttavia impedire che essa possa scorrere fra di esse. Il carbone è portato da un pezzo munito di due orecchie *t*, le quali sporgono da due scanalature praticate nel tubo *T*, ed è sostenuto a sua volta da due cordicelle, che passando su due puleggie di rimando vengono a riunirsi al contrappeso *P*. Così il carbone *b* è costantemente premuto contro il carbone negativo *C* e viene rialzato dal contrappeso *P* di mano in mano che si consuma. Il reoforo positivo è posto in comunicazione col tubo *T*, il negativo col manicotto *S*, e quindi, mediante l'arco articolato *D*, col disco *C*.

Con questa disposizione semplicissima si ha anche il vantaggio di avere la massima radiazione verso il basso, come d'ordinario conviene.

Per darvi un'idea di questo sistema, disposi l'apparecchio rudimentale che vedete qui. È una lampada Werdermann a rovescio, come conviene qui perchè sia visibile da voi che siete in alto. Un pezzo grosso di carbone è l'elettrodo negativo; su di esso si appoggia pel proprio peso una piccola bacchetta di carbone verticale tenuta in comunicazione coll'elettrodo positivo. Voi vedete: la bacchetta si fa rovente e manda luce; ma la massima luce emana dal punto di contatto ove v'ha tutta l'apparenza di un breve arco voltaico.

Non essendovi rottura nel circuito, non essendovi se non un minimo distacco, è piccola la resistenza. Si possono quindi anche con elettromotori di mediocre forza elettromotrice inserire più lampade nel circuito, o far passare la corrente per più circuiti derivati contenenti ciascuno una lampada. La fig. 30 mostra schematicamente la disposizione con cui Werdermann propone di suddividere la luce fra parecchie lampade. Le lampade sono poste in tanti circuiti derivati; tutti i dischi di carbone sono

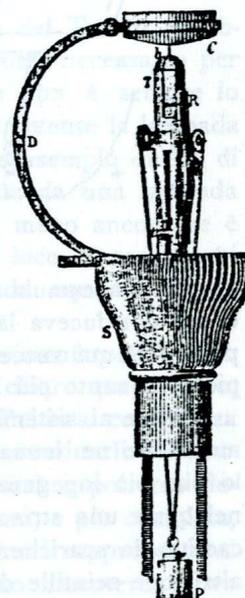


Fig. 29.

collegati col reoforo negativo, tutte le bacchette col reoforo positivo. Le spirali *a, a, a, ...* rappresentano resistenze introdotte in ciascun circuito derivato onde regolare la distribuzione della corrente.

Il sistema, vedremo meglio fra poco, è ragionevolissimo. Per dividere la luce con economia bisognava ridurre lo spazio

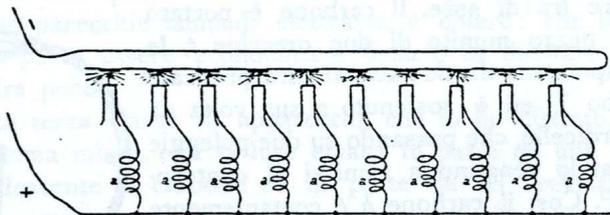


Fig. 30.

in cui si accumula il calore, o meglio la sua superficie radiante, come si riduceva la quantità di calore radiato da ciascuna lampada. Ciò qui succede, giacchè l'arco è piccolissimo, e tanto più piccolo quanto più la luce è suddivisa.

Oltre ai sistemi che classificai e che descrissi sommariamente, se ne immaginarono parecchi altri, ingegnosi, ma per lo più, più ingegnosi che pratici. Cito un sistema di Jablochhoff, nel quale una striscia luminosa è prodotta su di un pezzo di caolino da scariche di induzione, e i sistemi di Le Roux e di altri, ove scintille di rottura son prodotte fra due punte con tale frequenza da dare una luce continua. Basta enunciare, come io fo, i principi di questi congegni per vedere che si tratta di semplici giuochi.

Noi ci arrestiamo ai tipi descritti, che sono i più importanti, che sono quelli che furono realmente provati od almeno che furono accolti come progetti ricchi di avvenire; e ci domandiamo: in quale stato hanno essi lasciato il problema della divisione della luce elettrica? Di quanto, in grazia loro, si è esteso il campo delle applicazioni di questa? Quali speranze essi permettono di concepire in un prossimo avvenire?

Mancano, premetto subito, dati così sicuri come quelli con cui potemmo giudicare della convenienza della illuminazione fatta coi regolatori; per alcuni dei nuovi sistemi non abbiamo anzi che notizie di giornali politici date da penne interessate. Tuttavia credo di non esser temerario se vi dico: scortati dai principi teorici con cui oramai ci siamo fatti famigliari, appog-

giati ai fatti che abbiamo appresi, possiamo tentare una risposta. E se, chiuse le orecchie alle voci sconcordanti, che ci vengono da tutte le parti, miriam fiso ai grandi teoremi di cui ci siam fatto faro, forse non ci discosteremo dal vero.

Prenderemo le mosse da ciò che vedemmo all'ultima conferenza, discutendo i risultati delle esperienze sul lavoro necessario per produrre la luce coi regolatori.

Noi ci siamo appoggiati alla esperienza del Tresca ed abbiamo riconosciuto questo fatto: che il lavoro necessario per produrre una determinata quantità di luce non è sempre lo stesso, ma è tanto maggiore quanto meno è potente la lampada elettrica; una medesima quantità di luce, per esempio quella di 100 becchi *Carcel*, costa meno se è prodotta da una lampada sola che quando è prodotta da due; costa meno ancora se è data da una lampada producente la luce di 200 becchi *Carcel*; meno ancora se la lampada equivale a 300 becchi, e via via.

Cinque numeri trovati dallo sperimentatore, che ho nominato, ci bastarono per porre in chiaro questo fatto, e per lo scopo a cui miravamo nell'ultima conferenza non ebbimo bisogno di altro che di nominarli. Ma esaminiamo più attentamente quei numeri, e potremo dedurre da essi una idea anche più chiara, e più completa, del fatto. Quando si posseggono numeri rappresentanti risultati di esperienze, e si vogliono discutere, giova spesso ridurli a costruzioni grafiche, le quali mostrino in un colpo d'occhio l'andamento dei fenomeni. Facciamo questa rappresentazione grafica pei risultati delle esperienze del Tresca.

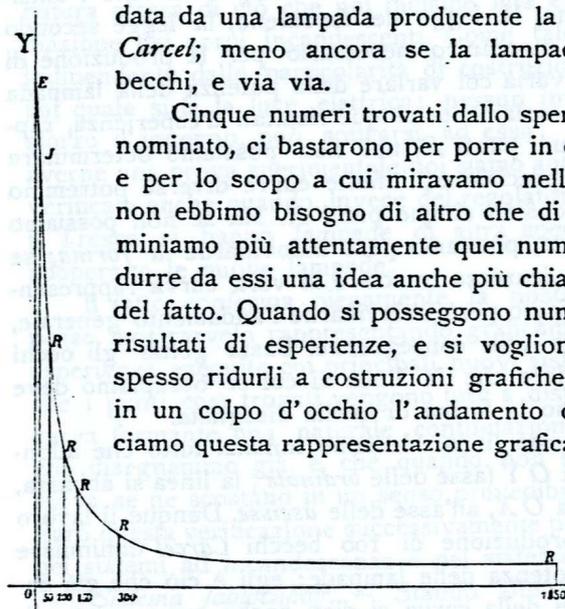


Fig. 31.

Io tiro una retta OX (fig. 31), su cui porto lunghezze proporzionali alle potenze delle lampade elettriche sperimentate; le lampade sperimentate dal Tresca essendo equivalenti a 50, 100, 150, 300, 1850 becchi *Carcel*, io prendo sulla retta OX , a partire dal punto O , le distanze 0-50, 0-100, 0-150, 0-300, 0-1850 tali che stieno fra di loro come i detti numeri. Nei punti 50, 100, 150, 300, 1850, così trovati, elevo perpendicolari alla retta OX , e su queste

perpendicolari porto lunghezze proporzionali ai numeri di cavalli-vapore che, secondo le esperienze del Tresca, e per ciascuna lampada, sono necessari per ogni centinaio di becchi *Carcel*. Col linguaggio dei matematici, direi brevemente: prendo per ascisse le potenze delle lampade, rappresentate dai numeri della prima colonna della tabella, nella quale nell'altra conferenza noi riassumemmo le esperienze del Tresca (pag. 85), e prendo per ordinate i lavori spesi per ciascun centinaio di becchi, rappresentati dai numeri della seconda colonna nella detta tabella. Ottengo così i punti che nella figura sono segnati *R*. Questi punti ci rappresentano in modo visibile i risultati delle esperienze. Se avessimo molti di questi punti, molto vicini gli uni agli altri, noi potremmo far passare pei medesimi una linea continua, la quale ci mostrerebbe in un colpo d'occhio l'andamento del fenomeno, la legge del fenomeno, la legge secondo la quale il lavoro meccanico necessario per la produzione di 100 becchi *Carcel* varia col variare della potenza della lampada adoperata. Avendo solamente cinque risultati d'esperienza, rappresentati dai cinque punti *R*, noi non possiamo determinare la detta legge con precisione; infinite curve diverse potremmo far passare pei medesimi cinque punti *R*. Ma se non possiamo avere la legge esatta, possiamo però indovinarne *la forma*; se non possiamo con sicurezza tracciare la vera curva rappresentante la legge, possiamo però indovinarne l'andamento generale, e da questo dedurre utili conseguenze. Basta gettar gli occhi sulla figura per vedere che la linea di cui ci occupiamo deve avere ad un dipresso la forma di quella disegnata.

Esaminiamo questa linea. Vediamo innanzi tutto che allontanandosi dalla retta *OY* (asse delle *ordinate*), la linea si abbassa, si avvicina alla retta *OX*, all'asse delle *ascisse*. Dunque il lavoro necessario per la produzione di 100 becchi *Carcel* diminuisce col crescere della potenza delle lampade: egli è ciò che già sapevamo. Ma l'esame della curva ci dice anche *come* questa diminuzione si faccia; un fatto notevolissimo ci si presenta al primo sguardo: la linea è convessa verso l'asse delle ascisse *OX*, e quindi si abbassa tanto meno rapidamente quanto più la porzione di essa che si considera è lontana dalla retta *OY*. La conseguenza pratica di questo fatto è che, quando la potenza della lampada adoperata è già molto grande, è piccolo il vantaggio economico che si ricaverebbe aumentando ancora quella potenza; quando invece la potenza della lampada adoperata è

piccola, a piccole variazioni della potenza medesima corrispondono variazioni considerevoli del lavoro meccanico necessario per ogni centinaio di becchi, ossia variazioni considerevoli del coefficiente di rendimento in luce. Così, per esempio, si riconosce dal semplice aspetto della nostra figura, che, per potenze luminose superiori ad un migliaio di becchi *Carcel*, il lavoro meccanico necessario per la produzione di una data quantità di luce si può considerare come sensibilmente costante, mentre invece per le minori potenze luminose quel lavoro varia rapidissimamente. Così, per esempio, si vede che il lavoro meccanico necessario per produrre 100 becchi *Carcel* mediante due lampade di 50 becchi ciascuna, è circa doppio di quello necessario per produrre i medesimi 100 becchi mediante una lampada sola.

È questa una legge teorica, la quale ha la sua ragione nella natura stessa di ciò che noi diciamo *luce* e nelle leggi della radiazione dei corpi incandescenti. Come tale essa deve essere indipendente dalle particolarità di costruzione dell'apparecchio col quale si fa la luce elettrica; nessun inventore, con nessun sforzo d'ingegno, può sottrarsi ad essa; ed anche prima di averne una prova sperimentale noi siamo autorizzati a prevederla verificata anche quando, invece del regolatore, su cui sperimentò il Tresca, si hanno lampade di altra specie, anche quando si adoperano le nuove lampade.

Il fatto conferma pienamente la nostra previsione, ed io posso mostrarvelo rappresentando graficamente i risultati delle esperienze eseguite coi principali nuovi sistemi. Verificherò così che i punti così trovati vengono tutti a disporsi sopra una linea curva formante una naturale continuazione della $R, R, R \dots$ che disegnammo già, e che quando non si trovano su questa curva se ne scostano in un senso prevedibile mediante la teoria. Farò questa verifica successivamente pel sistema *Jablochkoff*, pei sistemi ad incandescenza e pel sistema *Werdermann*.

Sistema Jablochkoff. — Stando alle esperienze più attendibili, ed, ultimamente, anche alle dichiarazioni del *Denayrouze*, ingegnere della Società *Jablochkoff*, pare che si debba ritenere come dato medio conveniente, che, nell'applicazione fatta a Parigi sulla piazza e sull'*avenue* dell'Opera, ogni candela elettrica producesse la luce di 16 becchi *Carcel*.

La potenza motrice adoperata corrispondeva, in quella applicazione, ad un cavallo per ogni candela; dunque per ciascun centinaio di becchi *Carcel* si consumavano cavalli-vapore $\frac{100}{16}$

ossia cavalli 6,4. Portiamo nella fig. 31 sull'asse OX l'ascissa 16, e sull'ordinata corrispondente la lunghezza 6,4, e troviamo il punto J . Come vedete il prolungamento più naturale della linea R, R, \dots che noi possedevamo già, passa precisamente per questo punto. Per maggior chiarezza si sono disegnati nella fig. 32 i punti corrispondenti alla prima porzione della linea, adottando scale maggiori ed un rapporto diverso fra queste. I punti R, R, \dots ed J si vedono in questa figura congiunti semplicemente con linee rette, in modo da avere un poligono inscritto nella linea curva di cui si tratta.

Sistemi ad incandescenza. — Su questi sistemi non abbiamo che pochi ed incertissimi dati; ma le considerazioni fatte nell'ultima conferenza ci fanno credere che il rendimento loro sia

anche minore di quello voluto dalla legge che rappresentammo graficamente. E infatti non ci sbagliamo. Noi sappiamo tutti quanto esagerate possono essere le brillanti notizie che ci vengono sui giornali ordinari dall'America, tanto più quando v'hanno bassi speculatori, i quali non temono di mettere a repentaglio la riputazione del grande inventore, di cui patrocinano la causa, a pro' dei propri interessi. Ebbene, qual'è la grande notizia che oggi ci si dà dei risultati offerti dal cosiddetto sistema *Edison*? È questa: quattordici lampade ad incandescenza, equivalenti ciascuna a 18 o 20 candele (*candles*),

furono attivate con una macchina dinamo-elettrica consumante il lavoro di due cavalli-vapore e mezzo. Nessuna fede meritano notizie come queste, le quali sono certamente destinate ad

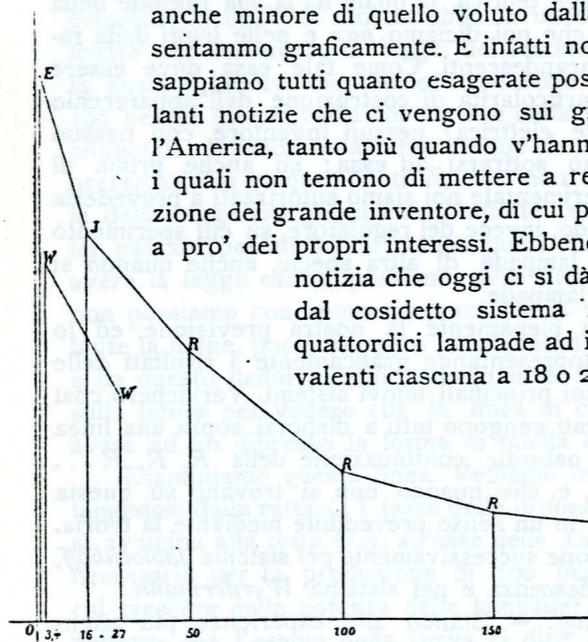


Fig. 32.

esaltare i meriti del sistema di cui si tratta; ma poichè non ne abbiamo altre più attendibili, registriamo graficamente il risultato asserto. Troviamo così nelle due figure il punto E . La nostra linea, prolungata, passerebbe forse sopra di quel punto, e forse di molto. Ma anche condotta per E essa mantiene l'andamento preveduto.

Il sistema *Werdermann* ubbidisce anch'esso alla legge generale. Esperienze fatte a Londra dimostrarono questo fatto: due lampade di 27 becchi ciascuna consumavano il lavoro di due cavalli-vapore; dieci lampade, ciascuna di 3,4 becchi *Carcel* fatte funzionare insieme, consumavano il medesimo lavoro. Il numero di cavalli-vapore speso per ogni centinaio di becchi *Carcel* era 3,7 nel primo caso e 5,9 nel secondo.

Qui adunque, come sempre, il lavoro motore necessario cresce col diminuire della potenza delle lampade. Ma l'accordo tra l'esperimento e le previsioni della nostra teoria va più oltre.

Le lampade *Werdermann* e le somiglianti, nelle quali la superficie radiante del piccolo arco voltaico diminuisce col diminuire della potenza della lampada stessa, debbono avere un coefficiente di rendimento, il quale, col diminuire della potenza, diminuisce meno rapidamente di quello delle lampade ordinarie. Orbene, questa previsione, della quale parlammo già, è confermata dal fatto. Se infatti noi rappresentiamo graficamente i risultati delle citate esperienze, troviamo i due punti *W*, *W*, i quali sembrano appartenere ad una curva analoga a quella da noi disegnata, ma situata al disotto della medesima.

Il lavoro motore non è mai gratuito, nemmeno quando esso è dato da cadute d'acqua; giacchè anche quando non si ha da spendere giornalmente per combustibile, bisogna tuttavia tener conto dell'interesse e dell'ammortizzazione del capitale speso nell'impianto dei motori, e delle spese di esercizio e di manutenzione. Dunque, dalle cose dette, possiamo concludere già che il costo della luce elettrica *sempre* cresce colla suddivisione di questa.

Un'altra spesa cresce colla suddivisione: quella per l'acquisto delle lampade elettriche, per le loro riparazioni, per la loro manutenzione.

E un'altra ancora: quella pel consumo dei carboni nelle lampade. Questa spesa è notevolissima in alcuni sistemi: nel sistema *Jablochkoff* costituisce, fra tutte, la spesa principale. Manca invece questa spesa, od è minima, in alcuni dei sistemi ad incandescenza; ed è questa l'unica considerazione seria che potrebbe consigliare a ricorrere a questi per aver la luce elettrica molto suddivisa.

Tutto adunque quello che abbiamo detto concorre a sconsigliare la suddivisione della luce elettrica. Ma che l'economia della illuminazione diminuisca col crescere della suddivisione

noi sapevamo e potevamo prevedere fin dalla prima nostra seduta; la cosa anzi è così elementare che non è a credere che alcuno degli inventori, che studiarono la suddivisione, lo abbia ignorato. Per decidere veramente se e fino a qual punto la divisione della luce elettrica sia ottenibile economicamente, e se si possa realmente sul serio pensare a fare della luce elettrica un mezzo generale d'illuminazione, bisogna che noi passiamo dalle leggi semplicemente qualitative alle quantitative, bisogna che poniamo a confronto il prezzo prevedibile della luce elettrica frazionata con quello della luce che oggi abbiamo per mezzo del gas. Egli è ciò che noi proveremo a fare.

Dovendo far numeri dobbiamo considerare un caso concreto, ben definito. Immaginiamo adunque di volere illuminare una città. Vi sono diversi modi possibili di disporre gli apparecchi: si può impiantare un unico, grandissimo, motore centrale, o pochi motori di grande potenza, e distribuire il lavoro dato da questi alle macchine d'induzione sparse per la città; oppure si possono impiantare molti motori di piccola potenza, ciascuno dei quali non serva che ad un piccolo numero di macchine d'induzione; oppure finalmente si può adottare un sistema intermedio. Considerando solo le cose nel caso generale, è verosimile che quest'ultimo sistema debba offrire i massimi vantaggi e la massima economia; noi ci riferiremo a questo. Immaginiamo un piccolo quartiere servito da un unico motore, e supponiamo, per fare un caso concreto, che per l'illuminazione di questo quartiere sia necessaria una quantità di luce equivalente a 1000 becchi *Carcel*. Coi numeri di cui abbiamo ragionato finora noi possiamo subito calcolare approssimativamente il lavoro motore che sarà necessario per produrre con uno qualunque dei sistemi d'illuminazione elettrica la luce voluta. Tenendo poi conto, come si può con qualche approssimazione, delle quantità di lavoro consumate nelle trasmissioni, si può calcolare per un dato sistema la potenza del motore che bisognerà impiantare. Si potrà così avere un'idea della spesa d'impianto probabile del motore e delle trasmissioni. Un calcolo sommario si potrà eziandio fare per le spese d'impianto degli apparecchi elettrici e dei conduttori, e quindi si potrà avere un'idea, benchè grossolana, del costo totale d'impianto. Si valuterà allora la quota di ammortizzazione e di interesse di tale spesa, e si aggiungeranno a questa le spese per salari del personale. Si può ritenere come numero annuo massimo di ore di illuminazione per le grandi

città 4000, e come medio per le grandi città 3000; accettando, per metterci in condizioni favorevoli per l'illuminazione, questo numero, e dividendo pel medesimo le spese annue di cui si è detto, noi avremo la quota oraria per la spesa d'impianto e pei salari. Aggiungendo finalmente a questa quota oraria la spesa oraria pel combustibile da bruciarsi nella motrice, quella dell'olio necessario per la lubrificazione dei meccanismi e quella pei carboni che si consumano nelle lampade elettriche, noi otterremo come somma la spesa necessaria per ogni ora di illuminazione, onde produrre i 1000 becchi *Carcel* voluti.

Questi calcoli, fatti coi dati surriferiti pei sistemi *Jablochkoff*, *Edison*, *Werdermann* con lampade equivalenti a becchi *Carcel* 3,4, e *Werdermann* con lampade di 27 becchi *Carcel*, sono riassunti negli specchi seguenti.

SISTEMA JABLOCHKOFF.

Numero di candele necessarie = 64.

Numero di cavalli-vapore = 64.

Per tener conto delle trasmissioni più lunghe di quelle che si avevano negli esperimenti di Parigi, porremo come potenza motrice necessaria quella di 70 cavalli.

<i>Spese d'impianto.</i> — Motrice di 70 cavalli	L.	50,000
Trasmissioni	"	6,000
Caldaia	"	20,000
Edificio e camino.	"	15,000
Apparecchi elettrici calcolati in base ai prezzi indicati nel catalogo della <i>Société générale d'électricité</i> (Lilla, 1878, pag. 23), ammettendo che occorranno 7400 metri di filo		
	"	71,000
	Totale L.	<u>162,000</u>

<i>Spese per ogni ora di illuminazione.</i> — Interesse ed ammortizzazione delle spese d'impianto, valutate nella ragione del 10 % per anno		
	L.	5,40
Combustibile: 1 ^k , 5 per cavallo e per ora per 3550 ore, a L. 0,04 il kilogr.		
	"	4,95
Olio per meccanismi e trasmissione		
	"	3,70

da riportarsi L. 14,05

Riporto L. 14,05

Salari. Un macchinista a . . . L. 5 al giorno	
Un aiutante " 2 "	
Un fuochista. " 4 "	
Un aiutante " 2 "	
Quattro uomini per le macchine	
Gramme e per le lampade. . . " 8 "	
	Totale L. 21 al giorno " 2,55
Consumo orario di 64 candele. " 32,00	
	Totale L. <u>48,60</u>

SISTEMA EDISON.

Numero di cavalli-vapore necessario = 90.

Potenza motrice necessaria, tenendo conto delle trasmissioni

necessariamente lunghe $\frac{90}{0,60} = 150$ cavalli.

Spese d'impianto. — Motrice di 150 cavalli . . L.	75,000
Trasmissioni, supposte ciascuna di 30 cavalli a	
500 metri, a L. 30 il metro "	15,000
Caldaie "	35,000
Edifizio e camino per la motrice "	20,000
Cinque macchine d'induzione da 18 cav. ciascuna "	52,500
Collocamento in opera delle medesime. "	2,000
Cinquecento lampade a 40 lire ciascuna "	20,000
Diecimila metri di conduttore, a lire 2. "	20,000
Cinquecento commutatori a lire 5. "	2,500
Adattamento dei fanali. "	5,000
Accessori ed imprevisi "	10,000
	Totale L. <u>257,000</u>

Spese per ogni ora di illuminazione. — Ammor-	
tizzazione ed interesse della spesa d'impianto L.	8,60
Combustibile: 11, 5 per cavallo per 3550 ore a	
L. 0,04 il kilogr. "	10,06
Olio per la lubrificazione. "	7,00

da riportarsi L. 25,66

Riporto L. 25,66

Salari. Un macchinista a.	L. 5	al giorno	
Un aiutante.	" 2	"	
Un fuochista	" 4	"	
Due aiutanti	" 5	"	
Personale per gli apparecchi di illuminazione e per le macchine d'induzione, 10 uomini a L. 2	" 20	"	
	Totale L. 36	al giorno	" 4,50
		Totale L.	<u>30,16</u>

SISTEMA WERDERMANN

con lampade di 3, 4 becchi Carcel.

Numero di cavalli-vapore necessario = 60.

Potenza motrice necessaria, tenuto conto delle trasmissioni
= 70 cavalli.

<i>Spese d'impianto.</i> — Motrice, caldaie, trasmissioni,			
edificio, camino (come Jablochhoff)	L.	91,000	
Quattro macchine Gramme a L. 10,000	"	40,000	
Collocamento in opera delle medesime.	"	1,600	
Trecento lampade a L. 80 (forse).	"	24,000	
Seimila metri di filo a L. 2	"	12,000	
Trecento commutatori a L. 5	"	1,500	
Adattamento fanali	"	3,000	
Accessori ed imprevisti	"	7,000	
	Totale L.	<u>180,100</u>	

<i>Spese per ogni ora di illuminazione.</i> — Interesse			
ed ammortizzazione della spesa d'impianto	L.	6,00	
Combustibile	"	4,95	
Olio per la lubrificazione	"	3,70	
Stipendi ad un macchinista, ad un aiutante, ad un fuochista, al suo aiutante e ad 8 uomini per le macchine magneto-elettriche e per gli appa- recchi d'illuminazione	"	3,52	
Carboni per le lampade, 0 ^m , 05 per lampada, a L. 1,60 il metro	"	24,00	
	Totale L.	<u>42,17</u>	

SISTEMA WERDERMANN
con lampade di 27 becchi Carcel.

Numero di cavalli necessario = 37.

Potenza motrice necessaria, tenuto conto delle trasmissioni = 50 cavalli.

Numero delle lampade necessarie = 30.

Spese d'impianto. — Motrice, caldaie, trasmissione, edificio, camino. L. 65,000

Tre macchine d'induzione, a L. 10,000. " 30,000

Loro collocamento in opera. " 1,500

Trenta lampade a (forse) L. 80 ciascuna " 2,400

Tremila metri di filo, a L. 2 il metro " 6,000

Trenta commutatori, a L. 5. " 150

Adattamento fanali " 3,000

Accessori ed imprevisti " 5,000

Totale L. 113,050

Spese per ogni ora di illuminazione. — Interesse ed ammortizzazione della spesa d'impianto . L. 3,75

Combustibile per la motrice. " 3,55

Olio per la lubrificazione dei meccanismi. " 2,65

Salari ad 1 macchinista, 1 fuochista, 2 aiutanti ed a 4 uomini per gli apparecchi elettrici, L. 21 al giorno " 2,55

Carboni per lamp. 0^m, 065 per lamp., a L. 1,60 il metro " 3,20

Totale L. 15,70

I risultati dei calcoli precedenti sono riassunti nel seguente specchio:

DENOMINAZIONE DELLE SPESE	JABLO-CHIKOFF	Incandescenza (EDISON)	WERDERMANN	
			con lampade di 3, 4 Carcel	con lampade di 27 Carcel
Interesse ed ammortizzazione delle spese d'impianto . . . L.	5,40	8,60	6,00	3,75
Combustibile per la motrice. "	4,95	10,06	4,95	3,55
Lubrificazione "	3,70	7,00	3,70	2,65
Salari "	2,55	4,50	3,52	2,55
Consumo dei carboni nelle lampade. "	32,00	—	24,00	3,20
Costo orario totale L.	48,60	30,16	42,17	15,70

Fra i sistemi, a cui si riferiscono i calcoli qui riassunti, quello che dà la maggiore suddivisione è quello ad incandescenza, nel quale si hanno lampade equivalenti ciascuna a soli due becchi a gas, e se si esclude il sistema di *Werdermann* con lampade di 27 becchi, il quale, a rigore, non si può considerare come un sistema a luce suddivisa, il sistema ad incandescenza risulta dai nostri calcoli anche il più economico. Bisogna però osservare:

1.° Che il calcolo della spesa necessaria per l'illuminazione con questo sistema è basato in parte su dati incerti e sicuramente errati tutti in favore del sistema medesimo.

2.° Che il risultato da noi trovato, quando non fosse errato in favore del sistema, corrisponderebbe a tutta la massima economia, di cui il sistema stesso è capace, mentre per gli altri sistemi, ove una notevole parte della spesa è dovuta ai carboni, che si consumano nelle lampade, sono possibili ulteriori economie; infatti il prezzo dei carboni potrà diminuire notevolmente sia per miglioramenti arrecati alle lampade, sia per perfezionamenti nel sistema di preparazione dei carboni.

A ciò si aggiunga essere impossibile che nulla si consumi nelle lampade ad incandescenza, come noi, nel fare il calcolo, abbiamo supposto.

Ora vediamo: il sistema che dai nostri calcoli risultò più economico, quello ad incandescenza, può convenire nella pratica? Il costo di 30 lire per ora e per ogni migliaio di becchi *Carcel*, che noi abbiamo trovato, paragonato con quello della illuminazione a gas, è un prezzo accettabile? È facile rispondere: Questa luce di 1000 becchi *Carcel* ci può essere data da 105 metri cubi di gas bruciati in ogni ora, i quali costerebbero a Torino 27 lire e 30 centesimi. E in questo prezzo di 27 lire e 30 centesimi, sono comprese non solo le spese di produzione, ma anche le spese di amministrazione ed i dividendi della società, somme queste che non furono valutate nei calcoli riassunti dalla precedente tabella.

V'ha di più: ordinariamente dopo la mezzanotte nelle strade della città si spegne una parte dei lumi; se l'illuminazione è allora fatta col gas, tutto il gas corrispondente ai becchi spenti è risparmiato; ma non sarebbe risparmiata tutta la forza motrice corrispondente ai lumi spenti quando l'illuminazione fosse fatta coll'elettricità. Il gas permette una suddivisione della luce doppia di quella del sistema ad incandescenza, e ciò, come dissimo già,

reca seco una migliore utilizzazione della luce, e quindi una economia. Finalmente, non v'ha dubbio, che l'illuminazione col gas si fa con apparecchi notevolmente più semplici di quelli voluti dal più semplice dei sistemi elettrici.

Fra tutti i sistemi dei quali ci siamo occupati, quello che, secondo le risultanze dello specchio precedente fa, in quanto all'economia, la peggiore figura, è quello di *Jablochkoff*; e che così debba essere fu provato dall'esperienza. La Commissione municipale di Parigi, che eseguì sull'impianto della piazza e dell'*avenue* dell'Opera, le esperienze più attendibili che si posseggono, conchiuse asserendo che il prezzo della luce data dalle candele *Jablochkoff* sta a quello della luce data dal gas come 73 sta a 23. Una gara si è stabilita a Parigi tra la *Société générale d'électricité*, concessionaria delle private *Jablochkoff*, e la Compagnia del gas, una lotta per l'esistenza. Nella strada *Quattro settembre* 62 lanterne di nuovo modello furono installate dalla Compagnia del gas. Queste lanterne hanno ciascheduna 6 fiamme a gas, e proiettano una luce di 13 becchi *Carcel*; in tutto adunque esse danno 806 becchi *Carcel*. La spesa oraria dicono che sia di lire 11,40; il che equivarrebbe per 1000 becchi a 14 lire. Vedete che anche facendo una tara a questi numeri, il confronto col sistema *Jablochkoff* riesce tutto a danno di questo. S'aggiunga che, in grazia della maggior suddivisione, la luce della via *Quattro settembre* è meglio distribuita che in quelle ove funzionano le candele elettriche.

Queste sono le condizioni economiche del sistema *Jablochkoff*, ed erano forse prevedibili. Ma ho il dovere di ripeterlo: noi avremmo torto se per questo dimenticassimo i meriti incontestabili che il sistema ha per la novità degli apparecchi, e l'importanza che esso conserverà sempre come tipo di una classe nuova di congegni, e come un congegno esso stesso che, in casi speciali, potrà prestare moltissimi servigi.

Fra poco si metterà in prova a Parigi l'altro sistema: quello di *Werdermann*. Noi possiamo prevedere fin d'ora i risultati che si otterranno. Per riguardo all'economia le prove daranno risultati migliori di quelle che offrì il sistema *Jablochkoff*, ma ad una condizione: che non si cerchi di suddividere la luce più di quello che si fosse fatto coll'altro sistema. Una moderata illuminazione costerà col sistema *Werdermann* sempre più che col gas; una illuminazione molto sfarzosa potrà forse costar meno. Il sistema è fra tutti il più razionale; ma per poter per-

mettere la suddivisione ha il torto di avere lampade ove v'ha un carbone costoso, che si consuma. Io vedo nella lampada *Werdermann* un regolatore di estrema semplicità, che funzionerà bene e che si adopererà con vantaggio in quegli stabilimenti industriali ove l'illuminazione elettrica richiederebbe l'uso di regolatori di potenza inferiore od uguale a 50 becchi *Carcel*; vedo un regolatore che in casi speciali potrà sostituire con vantaggio gli apparecchi antichi per illuminare con centri radianti di 30 a 40 *Carcel* sale di filature, di opifici di tessitura, cartiere, magazzini, e forse anche sale di ritrovo, locali da caffè, giardini, o in generale quegli spazi ove la luce elettrica è consigliabile o per la bianchezza, o per dare poco calore oscuro, o per non dare fumo. In tali casi noi vedremo la lampada del *Werdermann* diffondersi certamente. Ma sulle strade e sulle pubbliche piazze? Parleranno su ciò gli esperimenti di Parigi; ma in ogni caso non potrà mai essere che l'illuminazione col sistema *Werdermann* venga a rimpiazzare quella fatta col gas per ragione d'economia: solo potrà sostituirvisi per lusso.

Riassumo e concludo:

1.º La luce elettrica offre una grande economia nei fari, ove il migliore sistema, ed anzi l'unico finora, è quello primitivo col regolatore. L'economia è grandissima: si riduce a circa un ottavo la spesa oraria dell'illuminazione e si riduce spesso sensibilmente anche la spesa d'impianto.

2.º La luce elettrica, ottenuta col metodo primitivo dei regolatori, può convenire in quegli opifici ove si hanno vasti locali così disposti da poter essere illuminati da pochi centri di luce di potenza non minore di 100 becchi *Carcel*. L'economia è notevole se nell'opificio si ha la forza motrice sovrabbondante, così che non sia necessario provvedere un motore apposito per far agire le macchine di induzione; essa sarebbe notevolissima se, essendo l'opificio lontano dalle città, la illuminazione a gas non vi si potesse fare se non con la costruzione di un gazometro speciale, che costerebbe assai più che l'impianto elettrico completo.

3.º In questo caso speciale possono convenire ancora regolatori di piccola potenza: di 50 becchi normali o meno. Ma allora, quando non si possano adoperare lampade più potenti, si sostituirà con vantaggio ai regolatori ordinari quello di *Werdermann* o qualche altro somigliante.

4.º Per la illuminazione delle città è poco probabile che si trovi conveniente adottare la luce elettrica suddivisa; e quindi

le lampade elettriche ad incandescenza hanno poca o nessuna probabilità di trovare applicazione. Nelle case private è, per ora, ancor meno probabile che la luce elettrica venga ad introdursi, giacchè, per questo caso, alla considerazione della poca economia devesi aggiungere l'altra, essere assai raro il caso che ad una famiglia possa convenire di sottomettersi al disturbo di avere in casa una macchina motrice pel solo scopo di illuminare i propri appartamenti.

5.° La illuminazione elettrica delle pubbliche strade non rimpiazzerà quella data dal gas, se non quando nelle popolazioni il desiderio di una illuminazione notevolmente più ricca dell'attuale si sia fatto *bisogno*. Allora il sistema, che, fra gli attuali, avrà la maggior probabilità di essere adoperato, è quello di *Werdermann* o qualche altro somigliante.

6.° Fin d'ora v'hanno casi nei quali non solo può convenire la illuminazione elettrica, ma possono essere consigliabili anche i sistemi meno economici, come per esempio quello di *Jablochkoff* o simili. Sono questi i casi di luoghi di riunioni numerose, di luoghi di divertimenti, di locali da caffè, di giardini, di teatri, di scuole serali di disegno, di esposizioni artistiche. In tutti questi casi potrà convenire d'andare incontro ad una spesa maggiore di quella che sarebbe necessaria coi sistemi attuali per raggiungere altri scopi, come sono quelli di: avere una illuminazione brillante; avere una luce accompagnata da una minore quantità di calore oscuro; avere molta luce senza inquinare l'aria dei locali coi prodotti della combustione delle fiamme; avere una luce bianca, che permetta di distinguere i colori come alla luce del sole; evitare il fumo che guasta le decorazioni.

Voglio accompagnare queste conclusioni, che possono essere erronee, ma che sono dettate da profonda convinzione con due osservazioni. La prima osservazione si riferisce allo stato presente, nel quale non sentendosi il bisogno di una illuminazione delle città notevolmente più sfarzosa di quella che abbiamo col gas, non può convenire la luce elettrica applicata all'illuminazione pubblica. L'altra osservazione riguarda il caso opposto, e si riferisce a quel tempo, che forse verrà, nel quale sentendosi il bisogno di una illuminazione pubblica notevolmente più ricca dell'attuale, potrà convenire ricorrere alla luce elettrica.

La prima osservazione è questa: Pare a me, che il problema della suddivisione indefinita della luce elettrica, che si cerca risolvere per sostituire l'illuminazione elettrica a quella

che attualmente è fatta col gas, non abbia ragione di essere proposto. E infatti, perchè mai si parla di illuminazione elettrica? Perchè la si desidera? Perchè si lavora tanto per ottenerla? Egli è perchè essa è bella e piace, perchè il suo splendore ha fatto nascere l'idea che la fumosa fiamma del gas non sia la più perfetta sorgente di luce che si possa immaginare, e che essa non debba essere l'unica dell'avvenire. Ma perchè è bella la luce elettrica? Perchè è intensa e bianca; ed è intensa e bianca perchè è irradiata da un centro ad alta temperatura, da un centro potente, perchè non è suddivisa. Ma dividete la luce elettrica, fatela per esempio emanare da tante piccole spirali roventi, ed avrete una luce mancante di tutte le proprietà che ammiravate nella luce elettrica, e che forse sarà meno bella di quella del gas.

La seconda osservazione è quest'altra: Quello, che pare non sia per verificarsi adesso, potrà verificarsi in un avvenire forse non lontano, e sulle pubbliche strade i nostri figli potranno vedere applicata regolarmente, universalmente, la luce elettrica *non suddivisa*. Quando essi vi si saranno abituati, non tollereranno più la luce del gas, come noi non tolleremmo più quella degli antichi fanali ad olio. I nostri figli avranno un bisogno di più, che noi non abbiamo ancora, come noi abbiamo molti bisogni ai quali i padri nostri non potevano pensare. — È questa, noi lo sappiamo, la legge naturale del progresso. — E succederà, come sempre, che il progresso potrà recar danni ad alcune classi di persone, e turbamenti di molti interessi; ma dopo, definitivamente, si vedrà che esso avrà migliorato l'esistenza dell'uomo e l'uomo stesso, mentre i mali ed i turbamenti saranno stati passeggeri. Venendo al caso concreto io dico: Quello che per ora non può essere per le società del gas altro che un falso allarme dovuto ad illusioni di alcuni ed a colpevoli giuochi di altri, diventerà un giorno o l'altro possibile: la luce elettrica subentrerà sulle pubbliche strade a quella del gas. Ma sarà forse questo il segno di una completa rovina per l'industria del gas? Forse che diventerà inutile la fabbricazione di questa sostanza? Io credo che no. Innanzi tutto il gas costituirà forse sempre l'unico mezzo di illuminazione domestica; ed in secondo luogo si moltiplicheranno, appunto perchè si avrà bisogno di lavoro motore per la luce elettrica, si moltiplicheranno, dico, le piccole motrici a gas: e se il gas non darà la luce direttamente ardendo nelle lampade, la darà indirettamente ardendo nel cilindro

delle macchine motrici. E poichè mi sono lasciato condurre a queste considerazioni, finirò con una osservazione che riguarda particolarmente il nostro paese: Per noi Italiani, che non abbiamo il *boghead* se non a carissimo prezzo dagli stranieri, e che allora potremo servirci di un gas che potrà aversi, meno luminoso, ma egualmente buono come semplice combustibile, mediante combustibili di minor valore, questo, che dovremo alla illuminazione elettrica, costituirà un grande guadagno.

SULLE APPLICAZIONI INDUSTRIALI
DELLA CORRENTE ELETTRICA

ALLA MOSTRA INTERNAZIONALE DI ELETTRICITÀ TENUTA IN PARIGI NEL 1881.

RELAZIONE

A S. E. DOMENICO BERTI

MINISTRO DI AGRICOLTURA, INDUSTRIA E COMMERCIO.

ECCELLENZA!

Quando, delegato dall'E. V. a prendere parte al Congresso internazionale degli elettricisti, che nello scorso autunno si radunò a Parigi, accettai l'incarico di studiare in quella esposizione internazionale di elettricità le applicazioni industriali della corrente elettrica, io sentii di avere assunto un mandato, quanto onorifico, altrettanto importante. Si poteva infatti prevedere che, come l'idea di una esposizione speciale di elettricità era sorta principalmente in grazia delle grandi applicazioni industriali, che l'invenzione delle potenti macchine dinamo-elettriche moderne aveva permesso di attuare o di sperare, così quelle applicazioni avrebbero formato di essa la parte principale.

Oggi, nel presentare una relazione dei principali risultati dei miei studi, debbo dichiarare che l'importanza della parte industriale della mostra di Parigi superò nel fatto le mie speranze. Veramente la rapidità, colla quale oggidi si diffondono i trovati della scienza, rende impossibile che una esposizione di applicazioni scientifiche contenga molte cose non ancora conosciute, ma quando le installazioni sono fatte su di una scala grandiosa come erano a Parigi, esse diventano per ciò stesso

istruttive, e possono modificare profondamente, od assodare potentemente le idee degli studiosi. E in questo sta la grande importanza industriale della recente mostra internazionale di elettricità. Da quella mostra io riportai la convinzione, che alcune delle applicazioni più grandiose della corrente elettrica, come sono quelle che se ne possono fare alla illuminazione, al trasporto ed alla distribuzione della energia meccanica, e ad alcuni lavori della metallurgia, possono diventare, in un prossimo avvenire, effettivamente pratiche ed economiche. E siccome la riuscita di queste applicazioni permetterebbe a noi di sostituire in molti casi la energia dei nostri torrenti e delle nostre cascate a quella, che, accumulata nel carbon fossile, ci viene oggidì venduta, a carissimo prezzo, dagli stranieri, così a quella convinzione va associata, in me, la speranza di un guadagno grandissimo per l'industria del nostro paese.

Se il merito dell'opera mia corrisponde alla importanza della mia missione, io non so; spero bensì che alla gravità dell'argomento corrispondano almeno l'indole e la forma della mia relazione. Io ho creduto che, per trattare questioni tecniche di tanta importanza industriale, fosse anzitutto necessario un esame spassionato e fatto, per quanto era possibile, coi numeri. In tutte le parti del mio studio ove fu possibile avere, o dalla esperienza o dalla teoria, dati sufficienti per fare fra le diverse invenzioni confronti quantitativi, numerici, io ho fatto di questi l'argomento principale della trattazione. Siccome è questo l'unico modo di evitare il pericolo di essere fuorviato da idee preconette, o da speranze troppo accarezzate, così io ho pensato che questo fosse il modo migliore per giustificare la convinzione e le grandi speranze, a cui ho fatto allusione. E se il mio scritto potrà avere la ventura di infondere in chi lo leggerà anche solo una parte di quelle speranze, e di stimolare con ciò a ricerche da cui il nostro paese deve attendere un grandissimo bene, io avrò la soddisfazione di aver fatto opera non del tutto inutile.

In ogni caso però, comunque abbia ad essere giudicato il mio lavoro, rimarrà a me l'instimabile frutto degli studi, che la mia missione mi ha dato occasione di fare; e siccome questo bene debbo tutto alla E. V., così ad Essa io serberò adeguata riconoscenza. Intanto se col presentare questa relazione pongo termine al mio mandato, io non credo in nessun modo di essermi colla medesima sdebitato.

Torino, il 22 gennaio 1882.

Prof. GALILEO FERRARIS.

SCOPO E DIVISIONE DEL LAVORO.

1. Di tutti gli ammaestramenti di cui è stata feconda la esposizione internazionale di elettricità, il più importante è questo: che la corrente elettrica, della quale per l'addietro non erano utilizzate, fuori dei laboratori scientifici, se non alcune delle proprietà chimiche ed elettromagnetiche e l'attitudine a trasmettersi rapidissimamente a grandi distanze, si presenta oggidi come un mezzo pratico, e veramente industriale, per la trasformazione e pel trasporto di poderosi lavori. Essendo stato incaricato di studiare l'esposizione elettrica di Parigi dal punto di vista delle applicazioni industriali, io debbo rivolgere a questo fatto tutta la mia attenzione, e fare del medesimo l'oggetto della mia relazione. In questa relazione adunque io prendo in esame quelle sole applicazioni dell'elettricità, nelle quali questa è il prodotto del lavoro di macchine motrici potenti, e restituisce quel lavoro, trasportato a distanza o trasformato in altre energie equivalenti, e mi propongo di ricercare, colla scorta dei fatti osservati, quale sia lo stato presente di queste applicazioni, quale il loro avvenire probabile, quale l'importanza per l'industria del nostro paese.

Per raggiungere il suo scopo, questa relazione non deve dilungarsi in molte e minute descrizioni di apparecchi speciali. All'opposto, siccome di tali descrizioni sono pieni i giornali tecnici, e siccome le medesime, sia per l'eccessivo numero, sia per la soverchia importanza che in esse si suole dare ai particolari, sono più che mai atte a generare confusione, così questo lavoro dovrà ridurre le descrizioni a quelle dei tipi più importanti, e volgere l'attenzione più ai principi che stanno a base delle invenzioni, che ai particolari della costruzione degli apparecchi. Per tal modo essa potrà mettere in evidenza per ciascuna classe di applicazioni quelle condizioni di attuabilità e di convenienza, che dipendono dalla natura stessa delle applicazioni e dallo stato attuale della scienza, ponendo, come meritano, in seconda linea quelle altre condizioni che dipendono principalmente dall'abilità dell'inventore nel foggare e combinare appropriati organi meccanici.

In una applicazione della corrente elettrica si hanno a considerare:

1.° I mezzi per la produzione della corrente, per la trasmissione e per la distribuzione di essa, e per la accumulazione dell'energia che essa rappresenta.

2.° I mezzi per trasformare la corrente in altre energie e per ricavarne gli effetti, che formano l'oggetto della applicazione medesima.

Quindi questo scritto si deve naturalmente dividere in due parti, la prima delle quali tratti della produzione, della distribuzione e della accumulazione della energia elettrica, e la seconda delle varie applicazioni di questa.

PARTE PRIMA.

PRODUZIONE, ACCUMULAZIONE E DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA.

§ 1.° MACCHINE MAGNETO-ELETTRICHE E DINAMO-ELETTRICHE.

Considerazioni generali, classificazione. — Macchine a correnti alternate. — Macchine a correnti continue, classificazione. — Primo tipo: *Pacinotti, Gramme, Burgin, Golfarelli*. — Secondo tipo: *Hefner-Alleneck* (Siemens), *Weston, Edison*. — Terzo tipo. — Quarto tipo: *Brush*. — Ricapitolazione.

2. Le macchine d'induzione, magnetoelettriche e dinamo-elettriche sono oggidì i soli apparecchi generatori di correnti elettriche, ai quali si possa ricorrere per ottenere correnti poderose, che rappresentino, trasmettano e trasformino le grandi quantità di energia richieste dalle operazioni industriali. L'attuabilità delle applicazioni grandiose che oggidì l'industria trova, o spera, nella elettricità, dipende tutta dall'invenzione e dai perfezionamenti di queste macchine; e senza di queste non avrebbe pur anco potuto nascere l'idea di una esposizione di elettricità come quella a cui abbiamo assistito. Era quindi naturale che le macchine d'induzione occupassero la più notevole parte dell'esposizione e formassero di questa la base. Più di cinquanta espositori installarono nel palazzo dell'Industria macchine magnetoelettriche o dinamo-elettriche, ed alcuni di questi presentarono apparecchi di tipi diversi. Benchè delle macchine

esposte una parte soltanto fosse collegata a motori e funzionasse, essa consumava ciò non ostante circa 1800 cavalli di potenza motrice.

Tuttavia io non debbo dedicare alla esposizione delle macchine generatrici, se non un breve cenno.

Infatti tutte queste macchine, fatta eccezione di alcuni modelli, di cui non si potrebbe ancora apprezzare l'importanza, si riducono a tipi già noti. Nè si potrebbero descrivere qui tutte le differenze di costruzione, per cui esse assunsero tanti nomi diversi e diventarono oggetto di tanti attestati di privativa, senza perdere di mira lo scopo principale delle nostre ricerche. Quello che io debbo fare è scegliere fra le migliori quelle che rappresentano tipi essenzialmente diversi e porre in evidenza, per mezzo del loro esame, la tendenza attuale dei principali costruttori nella ricerca dei mezzi per soddisfare alle esigenze delle varie applicazioni.

3. Abbiamo le macchine a correnti alternate e quelle a correnti continue.

Le prime si riducono ai tre tipi di De-Méritens, di Gramme e di Siemens, che sono nella pratica adoperate su vastissima scala. L'esposizione non ha mostrato a questo riguardo nulla di veramente nuovo, e non ha fatto altro che riconfermare i loro pregi pressochè uguali ed incontestati.

Soltanto si può notare che le esperienze del giuri, favorevoli per tutti tre i sistemi, riconfermarono per quello di De-Méritens il fatto che l'impiego delle calamite permanenti quali induttrici giova sensibilmente alla regolarità del lavoro ed alla bontà del risultato. Questo fatto potrà consigliare, nei casi ove non costituiscono un grave inconveniente le grandi loro dimensioni, a prescegliere per la produzione di correnti alternative le macchine magnetolettriche del De-Méritens, le quali d'altronde sono di una costruzione veramente perfetta. Negli altri casi le macchine a correnti alternative del Siemens, con spirali indotte senza nuclei di ferro, saranno ordinariamente preferite, siccome quelle che, ad uguaglianza di peso, hanno la maggiore potenza.

4. Le macchine a corrente continua, le più numerose, si riducono a quattro tipi: quello delle macchine a spirale indotta anulare, quello delle macchine a spirale indotta a gomito, quello a spirali indotte cilindriche riunite in tensione come gli elementi di una spirale anulare, e finalmente quello di *Brush*.

5. I tre primi tipi costituiscono altrettante modificazioni delle macchine primitive del *Pacinotti*, e sono adoperati da molto tempo.

Il primo è rappresentato dalle macchine conosciute col nome di *Gramme* e dalle congeneri. Figuravano nella esposizione moltissime forme di queste macchine. La *società Gramme* esponeva tutti i modelli da essa costrutti, e presentava così una storia completa dell'apparecchio. Il modello originale di Gramme era poi riprodotto da parecchi costruttori, fra cui meritano speciale menzione *Sautter, Lemonnier e Compagnia* di Parigi, ed *Heilmann, Ducommun e Steinlen di Mülhausen* (Alsazia). Le macchine costrutte da questi ultimi, benchè identiche nella disposizione a quelle ordinarie del Gramme, sono notevolissime per la perfezione meravigliosa della costruzione; su di esse avrò occasione di ritornare trattando della trasmissione della forza.

Molteplici poi si presentarono le modificazioni a questo tipo primitivo. Alcune di queste hanno lo scopo di diminuire il riscaldamento della macchina, favorendo la ventilazione della spirale indotta e delle estremità polari dell'induttore. Cito come esempio interessante la macchina del *Burgin* esposta nella sezione svizzera. In essa, in luogo di un semplice anello coperto da numerose spirali elementari occupanti ciascuna un breve arco, si trova un certo numero (otto) di ruote portate da un albero comune, sulla corona di ciascuna delle quali, formante nucleo, sono avvolte soltanto sei spirali. Le ruote sono calettate con un ritardo dell'una sull'altra, uguale ad un ventiquattresimo di giro, e le spirali che esse portano si collegano ad un raccoglitore di *Pacinotti* analogo a quello delle macchine di Gramme, in modo che una qualunque di esse si trovi unita in tensione con quelle vicine situate sulle ruote successive, epperò in ritardo su di esse di un ventiquattresimo di giro. In questo modo si hanno gli effetti stessi che si avrebbero da un semplice anello di *Pacinotti*, ma le spirali, fatte di pochi strati di filo, e circondate da ogni parte dall'aria, si trovano costantemente rinfrescate.

Altre modificazioni alla macchina del Gramme hanno lo scopo di aumentarne, a parità di dimensioni, la potenza. E fra queste debbo nominare quella che si osservava in una piccola macchina dinamo-elettrica esposta nella sezione italiana dal *Golfarelli*, direttore dell'*officina Galileo* di Firenze. Le estremità polari della elettromagnete induttrice sono, in queste macchine,

foggiate in modo da abbracciare l'anello rotante non solo all'esterno, ma anche nell'interno, producendovi per tal modo un campo magnetico più intenso. La medesima disposizione si trova anche nelle macchine costrutte dal *W. Fein* e brevettate nel 1880, ma nella macchina *Golfarelli*, che è anteriore, la costruzione è molto bene studiata e perfettamente eseguita.

6. Il secondo tipo di macchine a corrente continua, quello che ho denominato: a spirale indotta a gomitolò, è rappresentato dalla macchina di *Hefner Alteneck* costrutta dalla casa *Siemens ed Halske* di Berlino, e dalle case dei *fratelli Siemens* a Londra e a Parigi. La macchina, come si sa, differisce da quelle a spirale anulare in questo: che nella sua spirale indotta il filo è avvolto solamente all'esterno, e non nell'interno dell'anello; una spirale anulare si trasformerebbe nella spirale di *Hefner Alteneck* quando si sopprimessero in essa tutte le porzioni di filo situate nell'interno dell'anello e si congiungessero tra loro le porzioni esterne diametralmente opposte, così che la corrente circolasse in queste nel verso stesso in cui circola quando la spirale anulare è completa. L'avvolgimento del filo si ottiene come in un ordinario gomitolò: sopra di un nucleo cilindrico vuoto si formano alcune spire parallele ad un certo piano diametrale, poi si fa rotare di un determinato angolo il nucleo e si formano altrettante spire parallele ad un altro piano diametrale, poi si gira ancora e così di seguito.

Le macchine così costrutte sono notissime ed oramai più diffuse di quelle di Gramme; sono eziandio note le numerose esperienze che ne misero fuori di dubbio la perfezione. Alla esposizione se ne osservavano modelli di tutte le dimensioni e di tutte le potenze, per luce elettrica o per trasporto di energia, e per galvanoplastica, esposti in grande numero nella sezione tedesca dalla casa *Siemens ed Halske*, esposti nella sezione inglese dalla casa *Siemens brothers* di Londra, ed esposti nella sezione francese dalla casa *Siemens frères* di Parigi. Notevoli sopra tutti erano i tipi per galvanoplastica che figuravano nella mostra della casa di Berlino; in questi, nelle spirali magnetizzanti dell'induttore, era sostituita al filo una sbarra di rame, nuda, a sezione rettangolare, grossissima. La sbarra era ripiegata a spire rettangolari compatte, isolate con un sottile strato coibente, e formava attorno al nucleo appiattito, di ferro, un blocco parallelepipedo compatto. Il raccoglitore era lungo ben diciotto centimetri, e le lastrine del medesimo erano congiunte colle

spire del gomito indotto per mezzo di grossi pezzi di ferro foggiate a squadra.

Fra le macchine analoghe alla *Siemens* esposte da altri costruttori sono notevoli quella di *Weston* e quella di *Edison*.

La macchina di *Weston*, esposta in parecchi esemplari nella sezione americana dalla *Weston Electric Light C.*, presenta nella struttura della spirale indotta alcune disposizioni destinate a facilitarne la ventilazione, e quindi ad impedire in essa il riscaldamento, che costituisce il principale, od unico, inconveniente della macchina *Siemens*. Il cilindro, sul quale s'avvolge il filo, invece di essere di un solo pezzo, è costituito da una serie di 36 ruote di lastra di ferro portate da un asse comune e poste in piani paralleli equidistanti. Queste ruote hanno ciascheduna quattro razze, ed alla periferia portano ciascheduna sedici denti quadri. I vani tra i denti, posti in fila su di una parallela all'asse formano una scanalatura, l'insieme presenta la forma di un cilindro con sedici scanalature longitudinali. Egli è in queste scanalature che si avvolge il filo; il modo di avvolgimento è quello stesso che si ha nella macchina *Siemens*, con questa sola differenza che le spire sono adagiate nei vani fra i denti delle ruote. È chiaro che in questo modo la ventilazione è perfettamente assicurata, poichè l'armatura, non solo è cava, ma presenta inoltre, distribuite su tutta la superficie, 16×36 , ossia 576 aperture, che unite ad altre finestre lasciate sulle basi emisferiche della spirale, permettono all'aria di circolare liberamente e di rinfrescare tutte le parti del sistema. Il collettore è analogo a quello delle macchine del tipo Gramme, ma con questa differenza, che le lastrine sono semplicemente separate dall'aria ed invece di essere diritte sono leggermente piegate ad elica. Quest'ultima disposizione ha per oggetto di assicurare il contatto di ciascuno degli sfregatoi con almeno due lastrine simultaneamente, e di dare per tal modo una maggiore regolarità alla corrente.

La macchina dinamo-elettrica di *Edison* è più importante; benchè, nel principio, non presenti nulla di veramente nuovo, e benchè forse non tutte le sue parti abbiano le disposizioni più razionali, essa è senza dubbio una delle più notevoli macchine dell'esposizione. La macchina di *Edison* è infatti la più potente che si sia costruita finora; mentre le più grandi macchine di *Siemens* consumano al più 15 cavalli-vapore, quella è stata preventivata per la potenza di 120 cavalli; e se le appli-

cazioni della corrente elettrica al trasporto della forza motrice ed alla illuminazione dovranno assumere un giorno quello sviluppo grandioso che l'odierna esposizione ci lascia intravedere, si può dire che la macchina di *Edison*, se non è perfetta, è, per le dimensioni, il primo passo verso le macchine veramente industriali, verso le macchine dell'avvenire.

La macchina di *Edison* arrivò alla esposizione molto tardi, ed i lavori per la sua installazione cominciarono quando le operazioni del Giurì internazionale stavano per terminare; posso tuttavia dare su di essa alcune nozioni.

La macchina dinamo-elettrica e la motrice a vapore sono riunite sopra di una medesima intelaiatura, e la biella motrice trasmette direttamente il moto rotatorio all'albero della spirale indotta. La spirale indotta fa adunque un solo giro per ogni corsa completa dello stantuffo motore: 325 per minuto. Però gli alberi della manovella motrice e della spirale indotta, benchè posti sul prolungamento l'uno dell'altro, sono distinti e stanno riuniti soltanto per mezzo di un innesto, col quale si possono separare le due macchine in caso di accidente. Fra i due alberi è interposto un regolatore di velocità, a molle ed a forza centrifuga, il quale agisce sull'eccentrico della distribuzione. Il regolatore della velocità è chiuso nell'interno da una grande puleggia di legno, la superficie cilindrica della quale è stata utilizzata per mettere in movimento, mediante un cingolo, un ventilatore, che manda correnti d'aria sull'armatura indotta per impedirne il riscaldamento. L'elettro-calamita induttrice, a ferro di cavallo colle braccia orizzontali, ha otto nuclei di ferro coperti da spirali. Cinque di questi nuclei sono in alto, e tre in basso; una tale disposizione anormale non può essere dovuta che ad una riforma fatta a costruzione già incominciata, per essersi riconosciuto insufficiente un sistema di sei nuclei. Le masse di ferro che costituiscono le estremità polari dell'induttore, e che avvolgono la spirale indotta, sono grandissime, paragonate coi nuclei, e tanto più se si confrontano con quelle esistenti nelle macchine dinamo-elettriche, a cui si è abituati. È possibile però che questa disposizione non sia cattiva, se si ammette la regola del *Dub*, secondo la quale la condizione di *massimo* di una elettro-calamita chiusa corrisponde all'uguaglianza di massa delle quattro parti, che la costituiscono.

La spirale indotta ha un nucleo cilindrico, vuoto, di ferro, ed è formata da un sistema di sbarre cilindriche di rame, pa-

rallele, le quali tengono il posto del filo delle macchine ordinarie. Queste sbarre comunicano tra loro mediante dischi di rame collocati alle due estremità del sistema, ai quali le sbarre si uniscono l'una dopo l'altra, avanzando da un disco al successivo per ogni sbarra, in modo da formare un serie continua. Le sbarre sono in numero di 138. I collettori sono simili a quelli delle macchine di *Gramme* e di *Siemens*; essi portano 138 sezioni corrispondenti ai successivi dischi di rame. Vi sono due sfregatoi composti ciascuno di parecchie spazzole.

La forza elettro-motrice di questa macchina dicesi che sia di 103 volt. La resistenza della spirale indotta è appena di 0,008 ohm, e quella delle spirali magnetizzanti dell'induttore è invece di 30 ohm. Queste spirali magnetizzanti sono poste in derivazione. Se la macchina dovesse governarsi da sè, tale disposizione sarebbe difettosa; infatti siccome le lampade, ad alimentare le quali la macchina è destinata, sono poste in altrettanti circuiti derivati, così l'introduzione di qualche lampada ha per effetto di far diminuire l'intensità della corrente derivata magnetizzante, e la soppressione di qualche lampada ha per effetto di far crescere la corrente magnetizzante. Il campo magnetico in cui ruota la spirale indotta varia così in senso tale da aumentare le variazioni di intensità delle correnti nelle lampade. Ma bisogna considerare che nel sistema dell'*Edison* si ebbe in vista di affidare il governo dell'apparecchio ad un impiegato speciale, il quale agisce mediante un apposito reostato, sulla resistenza del circuito della corrente magnetizzante, guidato dall'osservazione di un reometro o di una lampada-tipo.

Che in tutte le sue parti il colossale apparecchio di *Edison* sia disposto nel modo più razionale è discutibile. Quello però che è certo si è che l'avvenire delle grandi applicazioni della corrente elettrica dipende dalla soluzione che riceverà il problema della costruzione di macchine di grande potenza, e che la macchina ora descritta rappresenta un passo fatto verso questa soluzione. Sopra ogni cosa la struttura ideata dall'*Edison* per la spirale indotta è ingegnosa ed eminentemente pratica.

7. Come terzo tipo di macchine a correnti continue, ho nominato quello delle macchine a spirali indotte cilindriche, riunite in tensione come gli elementi di una spirale anulare. Di tali macchine somiglianti per la disposizione a quella nota di *Vallace-Farmer*, figuravano all'esposizione alcuni esemplari, che come non avevano nulla di veramente nuovo, così non presen-

tavano disposizioni degne di nota. Meno ancora credo degne di essere menzionate le macchine costrutte analogamente alla *Lontin*, le quali si possono classificare nel medesimo tipo.

8. Meritano invece una speciale menzione le macchine di *Brush*. Queste macchine, delle quali la *Anglo-American Brush Electric Light Corporation Limited* ha fatto nella sezione inglese una mostra grandiosa, e che servivano alla illuminazione di una estesissima porzione del palazzo dell'industria, vanno oggidi diffondendosi rapidamente, ed hanno acquistato una importanza incontestabile. Esse poi presentano rispetto alle macchine di *Gramme* e di *Siemens* differenze abbastanza essenziali per costituire un tipo distinto.

I tratti caratteristici di una macchina *Brush* si trovano nella disposizione dell'armatura indotta, nel collegamento dei fili, nel commutatore, nelle resistenze e nella forza elettromotrice.

L'armatura ha la forma anulare, ma invece di avere un nucleo intieramente coperto dalle spirali, essa presenta solamente otto spirali, due a due diametralmente opposte, separate da ampi settori occupati da rigonfiamenti nudi del nucleo. Il nucleo poi presenta sulle faccie laterali settori rigonfiati, e sulla superficie convessa esterna, profonde scanalature destinate a tagliare le correnti di Foucault.

Le spirali non sono collegate tutte insieme in serie, come le spirali elementari di una ordinaria armatura anulare di *Pacinotti*, ma sono collegate soltanto due a due, ciascuna con quella che le è diametralmente opposta. Le due spirali diametralmente opposte sono riunite colle estremità interne, e per mezzo delle estremità esterne sono collegate col commutatore.

Il commutatore finalmente si compone di quattro coppie di semi-anelli isolati (tante quante sono le coppie di spirali indotte), delle quali coppie di semi-anelli ciascuna costituisce un commutatore analogo a quello delle antiche macchine di *Clarke* e di *Saxton*. Una coppia di spirali unite colla corrispondente coppia di semi-anelli rappresenta, in realtà, una di queste antiche macchine. Ma le coppie di spazzole raccogliatrici non sono che due, e sono così larghe che ciascuna spazzola tocchi costantemente due semi-anelli; in questo modo si ottiene nel circuito esterno una corrente non mai interrotta e sensibilmente costante. La medesima corrente circola nelle spirali magnetizzanti delle elettro-magneti induttrici.

Una particolarità vuole essere notata nel commutatore. I semi-anelli del commutatore non sono completi, non hanno una ampiezza angolare di 180° , talchè ciascuna coppia di essi lascia libero un ottavo della circonferenza, il quale è occupato da un pezzo metallico, isolato da tutto il resto dell'apparecchio, e destinato unicamente a sostenere la spazzola per quella porzione di giro. Il pezzo isolato or nominato viene a passare sotto ad una spazzola nei momenti in cui la coppia di spirali corrispondente passa nella posizione neutra, ove è nulla la forza elettromotrice indotta. Così si ottiene che ciascuna coppia di spirali si trova tolta dal circuito, isolata, per un quarto di ogni giro, e precisamente nei momenti in cui, essendo in essa nulla o minima la forza elettromotrice, essa non farebbe che aumentare inutilmente la resistenza.

Nelle resistenze passa tra la macchina di *Brush* e quelle di *Siemens* o di *Gramme* una notevole differenza. La resistenza delle macchine *Brush* è molto grande; per le macchine *Brush* del modello usuale, per sedici lampade, la resistenza interna, tra i morsetti è in media di $10,55 \text{ ohm}$. Questa grande resistenza è dovuta alla notevole lunghezza dei fili (275 metri per ogni spirale) e quindi va accompagnata ad una forza elettromotrice anche notevole: 839 volt . Questi numeri valgono per una macchina consumante il lavoro di circa 15 cavalli e mezzo.

Nelle macchine per 40 lampade elettriche, le quali consumano circa 36 cavalli-vapore, la resistenza interna è di 23 ohm , l'intensità della corrente prodotta normalmente è di 12 ampère , e la forza elettromotrice raggiunge l'enorme valore di 2200 volt .

Questi dati relativi alla resistenza ed alla forza elettromotrice dovevano essere citati, siccome quelli che più d'ogni altra cosa caratterizzano la macchina di *Brush* ed indicano le applicazioni speciali a cui essa è destinata. Sono queste le applicazioni ove grandi resistenze esterne debbono essere superate, come quando con un unico circuito si vogliono alimentare lampade elettriche molto lontane, o quando si voglia inviare a notevoli distanze la forza motrice.

9. Se riassumiamo il fin qui detto, possiamo concludere: Oltre ai tipi di macchine di induzione, conosciuti coi nomi di *Siemens* e di *Gramme*, tipi che per moderate potenze e piccole resistenze dei circuiti prestano da tempo utili servigi nelle applicazioni, e sono da tutte le esperienze dimostrati perfetti, l'esposizione di elettricità ci ha presentato apparecchi che di-

mostrano la possibilità di proporzionare le macchine generatrici in modo da poter trasformare col loro mezzo grandissime quantità di energia e trasmetterle a distanza vincendo notevoli resistenze.

E noi avevamo bisogno di questo dato, prima di venire all'oggetto principale del nostro lavoro: quello di giudicare dello stato presente e dell'avvenire probabile delle applicazioni industriali.

§ 2.º ACCUMULATORI DELL'ENERGIA ELETTRICA.

Pila secondaria di *Gaston Planté*. — La società *La force et la lumière* e l'accumulatore di *Faure*. — Costo della forza motrice distribuita per mezzo degli accumulatori *Faure*. — Confronto tra una distribuzione di energia fatta cogli accumulatori e quella fatta con una canalizzazione di correnti elettriche. — Costo della luce elettrica ottenuta con accumulatori *Faure* caricati in uno stabilimento centrale e trasportati a domicilio. — Conclusione sull'impiego degli accumulatori nella distribuzione dell'energia. — Altre applicazioni proposte dalla società *La force et la lumière*. — Applicazioni nelle quali gli accumulatori potranno realmente essere utili. — Conclusioni sulle applicazioni degli accumulatori.

10. È noto che se, dopo di avere scomposto con una corrente elettrica un elettrolito, si toglie dal circuito l'apparecchio generatore della corrente, e si congiungono semplicemente insieme i reofori che vanno agli elettrodi, si manifesta nel circuito così formato una corrente elettrica detta secondaria o di polarizzazione, opposta alla corrente principale, con cui si era fatta l'elettrolisi. La forza elettro-motrice, a cui è dovuta la corrente secondaria, risiede nel voltmetro che funziona allora come una vera pila, mentre in esso si vanno ricombinando i corpi separati nella precedente elettrolisi; esso dicesi effettivamente *pila secondaria*.

La ricomposizione chimica che si compie nel voltmetro dopo la soppressione della corrente principale e la chiusura del circuito secondario, restituisce, sotto forma di corrente elettrica, il lavoro che si era speso nella decomposizione; il lavoro, che la corrente secondaria può fare, è la restituzione di un lavoro che si era accumulato nel voltmetro per mezzo della corrente principale. Perciò ad una pila secondaria può darsi il nome di *accumulatore voltaico* o di accumulatore dell'energia elettrica; ed oggidì, che si è intraveduta la possibilità, e si è concepita la speranza di servirsi di tali apparecchi per immagazzinare

considerevoli quantità di lavoro a servizio delle industrie, la denominazione si è imposta da sè, e si è fatta accettare universalmente dai tecnici.

Gli stessi motivi, che giustificano la denominazione degli accumulatori, rendono questi apparecchi degni di tutta l'attenzione di chi studi il problema del trasporto e della distribuzione del lavoro per mezzo della corrente elettrica.

La conoscenza dei fenomeni di polarizzazione voltaica e l'invenzione delle pile secondarie è molto antica; è notissima la pila secondaria del *Ritter*, la quale data dal 1803; sono note le ricerche numerose di cui i fenomeni di polarizzazione furono l'oggetto, ricerche alle quali si collegano i nomi di *Volta*, di *Marianini*, di *Bequerel*, di *Matteucci*, di *Faraday*, di *Wheatstone*, ecc., ed è noto come il *Grove* abbia trasformato un voltmetro ad acqua in una pila a gaz. Tuttavia alla possibilità di adoperare le pile secondarie, come accumulatori di energia, nelle applicazioni industriali non si poteva pensare prima che il signor *G. Planté* inventasse la sua pila secondaria ad elettrodi di piombo.

I lavori di *G. Planté* datano dal 1859 e la sua pila secondaria fu presentata dal *Bequerel* all'Accademia di Francia nel 1860. Questa pila si compone di due lunghe e larghe lastre di piombo, isolate l'una dall'altra per mezzo di striscie di gomma elastica ed immerse, l'una in faccia dell'altra, a piccola distanza, in acqua acidulata con un decimo di acido solforico. Per ottenere in piccolo spazio una grande superficie, le lastre di piombo sono, nei modelli più diffusì delle *Pile Planté*, incartocciate a spirale; possono però essere piane, o foggiate in qualunque altro modo. I due reofori si attaccano a due punti presi l'uno sull'una e l'altro sull'altra lastra, e questi punti sono i due poli della pila. Se si uniscono ai due poli, i due poli di una pila composta di due elementi *Bunsen*, l'acqua, nella pila, si scompone; la lastra di piombo positiva si copre su tutta la superficie di uno strato di perossido di piombo; la lastra negativa è tenuta dall'idrogeno allo stato metallico puro. Se allora si tolgono le comunicazioni colla pila di *Bunsen*, e si congiungono insieme con un filo le due lastre di piombo, si osserva nel filo d'unione una corrente inversa a quella che si aveva prima, corrente di breve durata, ma che può essere molto intensa, e può bastare ad arroventare un filo di platino di un millimetro di diametro e di qualche centimetro di lunghezza. Intanto lo strato di pe-

rossido che si era formato sull'anodo si ridiscioglie e le due lastre si riducono alla medesima condizione. L'efficacia della pila è poca nei primi esperimenti, ma cresce notevolmente ricaricando più volte e scaricando alternativamente l'apparecchio. Dopo un certo numero di cariche lo strato di perossido assume una grossezza conveniente, e la pila arriva alla condizione sua normale, della massima efficacia; si dice, che è *formata*.

Le pile secondarie semplici descritte si possono riunire in pile composte come le pile ordinarie. Ora il *Planté* ideò un semplice commutatore, per mezzo del quale si possono collegare gli elementi della pila, a piacimento, in quantità od in tensione. Se col commutatore si riuniscono gli elementi in quantità, e se si attaccano ai poli della batteria i due reofori di una pila Bunsen di due elementi, la corrente passa, giacchè la forza elettro-motrice di due elementi Bunsen supera la forza elettro-motrice di polarizzazione della pila secondaria, la quale vale poco più di due *volt*; così tutti gli elementi della pila secondaria si caricano simultaneamente. Se allora si gira il commutatore e con ciò si riuniscono gli elementi in tensione, si ottiene una pila, la cui forza elettro-motrice vale quella di un elemento, ossia 2 *volt*, moltiplicata pel numero degli elementi. Con siffatta pila si possono allora ottenere effetti grandiosi, che non si potrebbero avere coi due elementi di Bunsen adoperati per la carica; si può, per esempio, con venti elementi, arroventare un filo di ferro di un metro di lunghezza, e produrre l'arco voltaico fra due carboni. La pila secondaria restituisce così in breve tempo l'energia che, per mezzo di due elementi di Bunsen, vi si era accumulata lavorando per un tempo più lungo.

Gaston Planté andò più oltre, costruì un condensatore elettro-statico a fogli di mica composto di un grande numero di coppie, e lo munì di un commutatore analogo a quello della pila secondaria, girando il quale si possono collegare le coppie alternativamente in quantità ed in tensione. Se si attaccano ai morsetti del condensatore i due reofori della pila secondaria disposta in tensione, e se le coppie del condensatore sono collegate in quantità, ciascuna di queste si carica con una differenza di potenziali uguale a quella che misura la forza elettro-motrice della pila. E se allora, girando il commutatore, si riuniscono le coppie del condensatore in tensione, si sommano le differenze di potenziali di tutte le coppie, si moltiplica la

differenza di potenziali che si aveva ai due poli della pila pel numero delle coppie del condensatore. La differenza di potenziale così ottenuta è sufficiente per produrre scintille di grande lunghezza, e per ripetere colla elettricità delle pile tutte le esperienze di elettro-statica. Girando rapidamente il commutatore del condensatore, si ottiene in uno spinterometro una serie frequente di scariche, quali si avrebbero da una potente macchina di *Holtz*. L'ingegnoso apparecchio è stato denominato dall'inventore: *Macchina reostatica*.

Gli apparecchi del *Planté* figuravano alla esposizione nella sezione francese, classe terza, e, benchè conosciuti, formavano una delle cose più notevoli dell'esposizione.

Benchè il *Planté* mirasse soprattutto alle ricerche scientifiche, tuttavia non gli era sfuggita l'importanza che la sua pila avrebbe per avventura potuto avere nelle applicazioni. Egli accenna infatti a queste applicazioni e ne enumera parecchie in una pubblicazione fatta nel 1879.

Oltre a quelle che si possono fare alla galvano-caustica, all'illuminazione delle cavità oscure del corpo umano, all'accensione delle mine, alla produzione di segnali ottici, ecc., si presentano infatti da sè queste, che colla tendenza odierna delle applicazioni elettriche assumono un'importanza speciale:

1.° A produrre per un breve tempo una luce elettrica intensa per mezzo di una piccola forza motrice adoperata per un tempo più lungo.

2.° Ad accumulare in batterie di pile secondarie il lavoro meccanico, l'energia, equivalente alla corrente di una macchina dinamo-elettrica, per conservarla, trasportarla, distribuirla, ed utilizzarla poi come lavoro meccanico, o come luce.

Il non essersi finora tradotte in pratica queste applicazioni così ovvie, se non su minima scala, dimostra che nella pila secondaria a lamine di piombo non si verificano i rapporti quantitativi, le condizioni di potenza, di dimensioni, di peso, di prezzo, di rendimento, necessarie per un impiego veramente industriale.

11. Tuttavia l'idea di portare l'accumulatore a lastre di piombo nel campo dell'industria e di adoperarlo su vastissima scala per la distribuzione della forza motrice e della luce, venne nella scorsa primavera rimessa innanzi come nuova, e, passata dal mondo scientifico al mondo finanziario e commerciale, venne ingrandita ed esaltata con tutti i mezzi di cui suole valersi la

speculazione. Si fondò con sede a Bruxelles ed a Parigi una società anonima che si intitolò *La force et la lumière*, la quale si propose per iscopo principale la distribuzione industriale della forza e della luce per mezzo di una pila secondaria a piombo, analoga a quella di *Planté* e combinata dal signor *Camillo Faure*. Come era prevedibile, le esagerate promesse della società non si poterono finora realizzare; non si può tuttavia negare che l'opera della speculazione commerciale abbia giovato assai a porre in evidenza il vero stato attuale del problema, ed a far avere agli accumulatori voltaici quelle applicazioni più modeste, ma di incontestabile utilità, che essi possono ricevere fin d'ora.

Nella esposizione internazionale di elettricità la società *La force et la lumière* presentava, insieme ad alcuni oggetti di minore importanza, alcune batterie di accumulatori *Faure*, e ne mostrava l'applicazione alla illuminazione elettrica con lampade ad incandescenza, ed alla produzione del lavoro meccanico con una macchina dinamo-elettrica di *Siemens* funzionante come motore. Inoltre numerosi accumulatori di *Faure* si trovavano sparsi in tutte le sezioni della Esposizione, ed erano adoperati per attivare piccoli gruppi di lampade ad incandescenza, o per alimentare piccoli motori elettrici per macchine a cucire, e simili.

Tre macchine dinamo-elettriche mosse da una macchina a vapore locomobile caricavano giornalmente circa 130 elementi, dei quali una parte veniva poi trasportata nelle diverse sezioni dell'esposizione, per produrvi il lavoro meccanico, o la luce.

L'accumulatore del signor *Faure* è, come quello del *Planté*, una pila secondaria ad elettrodi di piombo immersi nell'acqua acidulata con $\frac{1}{10}$ di acido solforico. La sola differenza tra i due apparecchi è questa, che, mentre nella costruzione della pila di *Planté* si adoperano lastre di piombo a superficie nuda, nella costruzione della pila di *Faure* si adoperano invece lastre di piombo coperte sulle due faccie da un grosso strato di minio applicato in forma di pasta ad acqua. Questo strato di minio fa sì, che la pila non ha bisogno del lavoro lungo e delicato della *formazione*, che per quella di *Planté* è necessario prima che essa acquisti tutta la sua efficacia. Una pila di *Faure* dà subito, la prima volta che la si carica, il suo effetto intiero. Questa circostanza ha indubbiamente qualche valore nelle applicazioni tecniche.

La forma primitiva della pila *Faure* era analoga a quella usuale della pila *Planté*, le lastre di piombo erano incartocciate

a spirale e collocate in un vaso cilindrico. Quelle ora presentate alla esposizione hanno invece la forma seguente, che per la pratica è certamente buona. L'elettrodo positivo è costituito da tre lamine di piombo eguali, di forma rettangolare e ripiegate in due. Le ripiegature delle tre lamine sono dalla medesima parte e ad esse si attaccano tre linguette di piombo che si riuniscono, fuori del truogolo, in un morsetto per costituire uno dei poli dell'elemento. Queste tre lastre ripiegate in due presentano così sei fogli verticali paralleli ed equidistanti. L'elettrodo negativo è ugualmente formato con tre lamine di piombo ripiegate ciascuna in due e formanti così sei fogli paralleli; ma le ripiegature di queste tre lamine sono dalla parte opposta di quelle delle tre precedenti ed i sei fogli negativi passano fra i sei positivi, coi quali sono alternati. Per impedire che i fogli si vengano a toccare, essi sono involuppati in altrettanti sacchi di feltro; la quale disposizione ha anche per effetto di impedire la caduta dello strato di minio e di perossido. Il tutto è immerso nell'acqua acidulata e contenuto in un truogolo parallelepipedo di legno incatramato, lungo circa 40 centimetri, profondo 30 e largo 12 a 13. Ciascun elemento contiene 11 chilogrammi di minio ed 8 chilogrammi di piombo metallico; il suo peso totale è di circa 25 chilogrammi. Il prezzo attuale, probabilmente assai maggiore di quello che la pila potrebbe avere in seguito, quando le applicazioni si moltiplicassero, è di 100 lire.

La forza elettro-motrice di un elemento Faure è uguale a 2 volt o poco più; la resistenza interna, variabile da elemento ad elemento, come quella di tutte le pile, vale in media, secondo l'asserzione dell'inventore, circa $\frac{1}{200}$ di ohm.

Con questi valori si può calcolare l'intensità della corrente, che una data batteria di accumulatori può produrre in un dato circuito. Ma il dato più importante a conoscersi per giudicare del valore industriale, che l'apparecchio può avere come accumulatore, è la quantità di energia che si può immagazzinare in una pila contenente un dato peso di piombo e di minio, è il numero di chilogrammetri che si possono accumulare per ogni chilogrammo di piombo e minio. E questo dato dipende oltrechè dalla forza elettro-motrice, anche dalla grossezza utile dello strato di perossido che si può produrre sulle lamine di piombo; questo dato, quindi, non si può conoscere se non con l'esperienza.

A questo riguardo l'inventore, appoggiandosi sull'autorità del W. Thomson, dà il risultato seguente: se tutti gli elementi

sono in perfette condizioni, la quantità di energia che si può immagazzinare in 50 elementi contenenti ciascuno 20 chilogrammi di piombo e di minio è di poco più di 20 cavalli-ora, ossia è quella sufficiente per produrre durante un'ora 20 cavallivapore. Se si accettasse questo dato, se ne dedurrebbe che il numero di chilogrammetri accumulabile in una tonnellata di piombo e minio è uguale a $20 \times 75 \times 3600$, ossia a 5,400,000; e quindi il numero di chilogrammetri che si può accumulare per ogni chilogrammo di piombo e di minio sarebbe 5400.

Se non potesse nascere il dubbio che questo risultato sia esagerato, o che almeno esso sia dovuto ad eccezionali condizioni di bontà dell'elemento di pila sul quale il Thomson eseguì le sue esperienze, esso farebbe credere che lo strato di minio disteso sulle lamine di piombo nella costruzione della pila di *Faure*, oltre a servire a togliere il bisogno della formazione, giovi notevolmente ad aumentare la capacità di accumulazione della pila. Risulta infatti da alcune esperienze eseguite da *Frank Géraldy* e da *Trouvé* su pile secondarie di *Gaston Planté*, che queste non possono accumulare, per ogni chilogrammo di piombo, più di 3450 chilogrammetri, e siccome la sola differenza importante fra i due accumulatori consiste nello strato di minio, così non si può spiegare la disparità dei due numeri su riferiti, qualora essa sia reale, se non attribuendola all'esistenza di quello strato in uno solo dei due apparecchi.

La capacità di accumulazione, di cui si è parlato, rappresenta la quantità totale di energia che può accumularsi nella pila secondaria caricandola quanto è possibile; praticamente però la quantità di energia utilizzabile è minore di quella espressa dal numero che abbiamo dato. Prima infatti che l'accumulatore sia completamente scaricato, la sua forza elettro-motrice, necessariamente, comincia a diminuire, e prima di ridursi a zero diventa insufficiente per gli effetti che si vogliono ottenere. Il *Faure*, valendosi dell'autorità del signor *T. Bottomley*, membro della società reale di Edimburgo, asserisce che la perdita di effetto utile dovuta alla carica residua, di cui non si può trarre partito, è, in media, uguale a 0,15 della carica totale. È però prudente supporre che la perdita in discorso possa essere maggiore di quella rappresentata da questo numero, giacchè alcune esperienze fatte sugli accumulatori di *Planté* indicarono una perdita approssimativa del 25 per cento, e la differenza tra i due numeri non si saprebbe facilmente spiegare.