

Come l'energia praticamente utilizzabile è minore di quella totale immagazzinata nella pila secondaria, così questa energia immagazzinata è necessariamente minore di quella somministrata dalla macchina dinamo-elettrica, con cui si fa la carica. Una parte di questa si trasforma inevitabilmente in calore durante l'operazione. Riferendosi all'opinione dello stesso signor *Bottomley*, il *Faure* crede che la perdita di energia durante la carica dell'accumulatore si possa sempre ridurre a non superare il 10 per cento.

Le due perdite di effetto utile, di cui abbiamo parlato, sono tanto minori, quanto più lentamente si compiono le operazioni della carica e della scarica; i numeri su riferiti corrispondono al caso delle migliori condizioni pratiche.

Bisogna finalmente ricordare che nè la macchina dinamo-elettrica, per mezzo della quale si fa la carica, nè il motore elettrico, per mezzo del quale si ritrasforma in lavoro meccanico l'energia accumulata, possono avere un coefficiente di rendimento uguale all'unità. Per le buone macchine dinamo-elettriche di *Gramme* o di *Siemens* il coefficiente di rendimento può avere in alcuni casi un valore prossimo a 0,90; ma nello stato attuale, e nel lavoro corrente, non si deve realmente contare su di un rendimento maggiore di 0,85, con un *minimum* di 0,80, per cui i costruttori di queste macchine sogliono rendersi garanti.

Oltre alle perdite di effetto utile, che hanno luogo negli apparati elettrici, si hanno quelle che si verificano nella trasmissione del movimento dalla macchina motrice alla macchina dinamo-elettrica caricante, e dal motore elettrico alle macchine che si vogliono attivare col medesimo, e di queste si può in ogni caso tener conto nei modi usati nella meccanica.

Se, come possiamo nelle circostanze medie ordinarie, riteniamo che la perdita di effetto utile dovuta alla trasmissione del movimento dal motore alla macchina dinamo-elettrica servente alla carica degli accumulatori sia eguale al 20 per cento del lavoro speso, e se facciamo uso dei coefficienti di rendimento sopra riferiti, deduciamo che:

Per un lavoro sull'albero del motore, uguale a . . .	1,00
Si ha sull'albero della macchina dinamo-elettrica, che serve alla carica, un lavoro uguale a	0,80
Nella corrente caricante si ha una energia uguale a .	0,68
Si immagazzina nell'accumulatore una quantità di energia	0,61

Se ne ricava nella scarica una corrente, la cui energia è *0,52
E si ottiene finalmente sull'albero motore del motore
elettrico, ossia della macchina dinamo-elettrica ricettrice
un lavoro uguale a 0,44

Sono questi i dati che noi abbiamo relativamente agli accumulatori di *Faure*; e con questi dati possiamo tentare di renderci conto del loro valore industriale, delle loro possibili applicazioni, e, per quanto è possibile, del loro avvenire probabile.

12. La società *La force et la lumière* esordì con un progetto altamente grandioso, il quale attrasse, come era destinato ad attrarre, sugli accumulatori del *Faure* il più vivo interesse del pubblico. La società si proponeva d'impiantare in opportune località centrali potenti motori, a vapore od idraulici, di accumulare, per mezzo di macchine dinamo-elettriche, il lavoro di questi motori in grandi batterie di accumulatori voltaici, e di distribuire giornalmente gli accumulatori caricati ai diversi opifici, soprattutto ai piccoli laboratori, dove per mezzo di macchine dinamo-elettriche adoperate come ricettori, o con appositi motori elettrici, si sarebbe trasformata un'altra volta in lavoro meccanico l'energia accumulata. Si sarebbe così realizzata una distribuzione del lavoro meccanico, o, come si suol dire impropriamente, della forza, a domicilio, senza bisogno di gomene conduttrici, e, secondo i programmi che si pubblicavano sui giornali e sulle cantonate, ad un prezzo minimo, tale da detronizzare tutti i piccoli motori a vapore ed a gas, che animano oggidì la piccola industria.

Un progetto di questa natura merita di essere studiato, e noi possiamo studiarlo, almeno quanto basta per decidere sulla sua praticabilità, per mezzo dei numeri che abbiamo riferito qui sopra. A quest'uopo io considererò un esempio numerico, e per evitare il pericolo di incorrere in errori che possano mascherare la convenienza del progetto, lo sceglierò nelle condizioni più favorevoli. La condizione di massima convenienza economica per un'intrapresa come quella di cui si tratta è quella di un impianto su vasta scala, per la distribuzione di una grande quantità di forza motrice; io supporrò adunque che nello stabilimento centrale si voglia produrre ed accumulare tanta energia che basti per distribuire agli abbonati 10000 cavalli-vapore per 12 ore al giorno. Per pormi poi nelle condizioni della più grande

economia, supporrò che la forza motrice si possa ottenere con motori idraulici, e nel calcolo, che farò del costo per l'impianto di questi motori, farò tutte le ipotesi più favorevoli.

Valuterò, per ordine, in parte, le spese generali d'impianto e di provvista di materiale, e le spese giornaliere per la distribuzione degli accumulatori. Ne dedurrò un limite inferiore, minimo, del costo che potrà avere un cavallo-vapore dato a domicilio ad uno degli utenti.

Comincio dalle spese generali d'impianto, e considero per prima cosa l'impianto dei motori.

Benchè dai numeri che ho dato più sopra risulti che nel passaggio dell'energia dall'albero della macchina motrice all'albero del ricettore elettrico situato in casa dell'utente, attraverso agli accumulatori, si perde il 66 per cento del lavoro speso, tuttavia pel desiderio di errare piuttosto in favore che a scapito del progetto, riterrò che, per le buone disposizioni di tutto il sistema, la perdita complessiva di effetto utile sia soltanto del 50 per cento. In questa ipotesi, per distribuire agli utenti 10000 cavalli per la durata giornaliera di 12 ore bisogna che i motori producano giornalmente $12 \times 20\,000$ cavalli-ore; quindi, ammesso che lavorino tutte le 24 ore, basterà che essi abbiano la potenza di 10000 cavalli. Le migliori condizioni per l'economia dell'impianto dei motori idraulici corrispondono al caso di una caduta di altezza piuttosto grande; io supporrò perciò che si abbia un salto di 20 metri, e che lo si voglia utilizzare con 50 turbine di 200 cavalli ciascuna. Ciascuna di queste potrà pesare approssimativamente 16000 chilogrammi e costare 20000 lire. Si avrà adunque il costo:

Per le 50 turbine	L. 1 000 000
Per la muratura occorrente	„ 500 000
Per la copertura di una parte	„ 50 000
Per lavori di scavo	„ 20 000
	Totale L. 1 570 000

Sul quale numero bisogna osservare, che esso è certamente minore del vero, giacchè nel calcolarlo si sono supposte le opere di muratura ridotte al minimo, e si è fatta l'ipotesi che non occorressero lavori pel canale di arrivo e per quello di fuga.

Considero in secondo luogo la spesa per la provvista degli accumulatori.

Se si ammette, secondo i dati dell'inventore, che il coefficiente di rendimento nella scarica sia 0,85, e che il coefficiente di rendimento della macchina dinamo-elettrica ricettrice sia ugualmente 0,85, se ne deduce che per avere 10000×12 cavalli-ore utilizzabili, occorre immagazzinare negli accumulatori $\frac{10,000 \times 12}{0,85 \times 0,85}$ cavalli-ora, ossia 166 667 cavalli-ora. Siccome poi sono necessari 50 accumulatori per contenere 20 cavalli-ora, per contenere 166 667 cavalli-ore ne abbisognano $166\ 667 \times \frac{50}{20}$, ossia 416 667.

Per fare la distribuzione dell'energia, secondo il progetto, è necessario avere due batterie di accumulatori, delle quali una sia allo stabilimento centrale per la carica, mentre l'altra è in azione presso gli utenti; inoltre è indispensabile una riserva di accumulatori uguale, al *minimum*, ad una mezza batteria, ossia al quarto delle pile in opera; dunque il numero degli accumulatori da provvedersi nel primo impianto non potrà essere inferiore a $416\ 667 \times 2,5$ ossia a 1 041 668. Tuttavia per fare una ipotesi in favore dell'economia, arrotonderemo il numero riducendolo ad 1 000 000.

Il prezzo, a cui la società *La force et la lumière* vende attualmente gli accumulatori è di lire 100 per ciascuno. Ritenendo che nell'avvenire questo prezzo possa diminuire notevolmente, io sostituirò ad esso un prezzo minimo calcolato in base a quello del materiale di cui la pila è composta, prezzo al di sotto del quale non si potrà discendere senza cambiare del tutto la composizione della pila.

Per 8 chilogrammi di piombo laminato	L.	6,40
Per 11 chilogrammi di minio	"	11 "
Per 3 metri quadrati di feltro	"	9 "
Pel truogolo	"	6 "
Pei morsetti, filo d'unione, acido, accessori	"	3 "
Mano d'opera	"	5 "
	Totale L.	<u>40,40</u>

Io assumo, tralasciando i centesimi, il valore di 40 lire, e facendo certamente un notevole errore in favore dell'economia, lo considero come realizzabile. Con questo prezzo, 1 000 000 di accumulatori importano la spesa di lire 40 000 000.

Considero in terzo luogo le macchine dinamo-elettriche necessarie per la carica. Queste macchine dovranno consumare il lavoro di 10000 cavalli. Siccome non si può dire, per ora, se le grandi macchine come quella di *Edison* potranno entrare e diffondersi nella pratica, nè si può per ora stabilire il loro prezzo, così riterrò, come approssimazione, che le macchine dinamo-elettriche che adoperansi, analoghe alle massime oggidi costruite dal *Siemens*, costino lire 200 per cavallo, e quindi in tutto 2 000 000 lire.

Finalmente terrò conto delle spese per l'edifizio delle macchine, dei magazzini, degli uffizi, per le trasmissioni e per gli accessori, ammettendole, sicuramente con un errore in meno, uguale a 500 000 lire.

Con ciò, e colla certezza di errare in meno, possiamo calcolare la spesa d'impianto:

Pei motori, compreso l'edifizio e le opere di scavo	L. 1 570 000
Per gli accumulatori	„ 40 000 000
Per le macchine dinamo-elettriche	„ 2 000 000
Per l'edifizio delle macchine, dei depositi, dell'amministrazione, ecc., e per le trasmissioni „	500 000
	<u> </u>
Totale L.	<u><u>44 070 000</u></u>

Passando alle spese annue dell'esercizio, noi troviamo in primo luogo quella rappresentata dall'ammortizzazione e dall'interesse del capitale impiegato nell'impianto. Trattandosi di un materiale di cui la parte più costosa, costituita dagli accumulatori, è per sua natura di breve durata, e necessita inoltre frequenti operazioni di pulitura e di riadattamenti, la quota di ammortizzazione deve ritenersi molto elevata. Pensando che lo stesso inventore non promette per gli accumulatori una durata maggiore di 15 anni, e che questa durata deve necessariamente essere diminuita dai giornalieri trasporti; considerando inoltre che in questo intervallo di tempo la pila non può a meno di richiedere operazioni di riadattamento corrispondenti, per la spesa, ad un completo rifacimento, io credo di stare molto al disotto di quel che bisognerebbe in un preventivo, dando alla quota di ammortizzazione e d'interesse il valore complessivo del 12 per cento. Ne risulta una spesa annua di 5288 400 lire.

Troviamo poi un'altra spesa gravissima: quella pel trasporto quotidiano degli accumulatori carichi dallo stabilimento centrale agli opifici degli utenti, e pel ritorno da questi allo stabilimento centrale, dopo che si sono scaricati. Un accumulatore pesa 25 chilogrammi; i 416667 accumulatori che si debbono portare e riportare ogni giorno, pesano adunque 416667×25 chilogrammi, ossia 10 416 tonnellate. Se, per fare anche qui un'ipotesi favorevole, supponiamo che la media distanza degli utenti dallo stabilimento centrale sia appena di due chilometri, talchè, compreso il ritorno, si abbia a percorrere la media distanza di 4 chilometri, abbiamo giornalmente $10\,416 \times 4$, ossia 41 664 tonnellate-chilometri. Trattandosi di un materiale che richiede nel maneggio qualche riguardo, non sarà possibile, anche nelle migliori condizioni, fare i trasporti con una spesa inferiore a lire 0,50 per tonnellata-chilometro, onde risulta una spesa giornaliera di 20 832 lire. Se il trasporto si fa per 300 giorni all'anno, la spesa annua pel trasporto ammonta a 6 249 600 lire.

Oltre a queste sarebbero a considerarsi le spese per lavori di riparazione e manutenzione, le spese pel personale, quelle per l'amministrazione, le imposte, i diritti degli inventori, ecc., le quali, insieme, potrebbero elevarsi ad una somma dell'ordine di grandezza di quelle che abbiamo calcolato. Per lo scopo nostro, però, è inutile che ci affatichiamo a calcolarle: per giudicare della praticabilità della intrapresa, ci basta la conoscenza della quota d'ammortizzazione e d'interesse, e quella della spesa dei trasporti.

Se sommiamo infatti le due spese che abbiamo calcolato, troviamo la somma di 11 538 000 lire. Per coprire *questa sola parte* delle spese si dovrebbe far pagare agli utenti la somma annua di lire $\frac{11\,538\,000}{10\,000}$, ossia circa 1154 lire per ogni cavallo-vapore dato per 300 giorni e per 12 ore al giorno.

E siccome l'utente dovrà essersi provveduto di una macchina dinamo-elettrica per farla funzionare come motrice mediante la corrente somministrata dagli accumulatori, la quale macchina, installata, può costare almeno 1000 lire, così bisognerà aggiungere, come quota d'ammortamento e d'interesse 100 lire.

La spesa adunque a cui l'utente dovrà sottostare per un cavallo sarà, tenuto conto delle sole spese di cui abbiamo parlato, uguale a 1254 lire all'anno, oltre a quelle pel meccanico, per la sorveglianza e per la condotta dell'apparecchio.

Se avessimo tenuto conto delle altre spese che abbiamo tralasciato, avremmo certamente trovato, invece di 1254 lire, 1500 lire o più, senza contare il profitto di chi fa la distribuzione.

E se invece di assegnare ad una pila *Faure* il prezzo minimo di 40 lire, avessimo introdotto nel calcolo il prezzo attuale di lire 100, col quale la pila viene venduta, avremmo trovato per la spesa, a cui l'utente dovrebbe sottostare per ogni anno e per ogni cavallo, unicamente per coprire le spese di ammortizzazione e di trasporto, il valore di 1874 lire.

Ora supponiamo che, invece di servirsi dell'energia accumulata nelle pile secondarie, il medesimo utente si serva di una motrice propria, e come pel calcolo precedente abbiamo fatto le ipotesi più vantaggiose, così adesso poniamoci nel caso meno favorevole per l'economia. Il meno favorevole dei casi è quello di un utente, che non ha bisogno che di una piccola forza motrice, per esempio, di un cavallo, e che per procurarsela è obbligato a servirsi di un piccolo motore, per esempio, di una macchina a gas. Consideriamo adunque questo caso. Si ritiene che una macchina a gas di *Otto* della potenza di un cavallo ed in buone condizioni consumi approssimativamente un metro cubo di gas per cavallo e per ora. In 12 ore di lavoro giornaliero la macchina consumerà adunque 12 metri cubi, ed in 300 giorni di lavoro 3600 metri cubi di gas. Col prezzo di 25 centesimi per metro cubo questo volume di gas costerebbe 900 lire; e se a questa somma noi aggiungiamo 300 lire, quota d'interesse e d'ammortamento del valore della macchina, valutata in 2500 lire e della spesa d'installazione, valutata in 500 lire, troviamo che la spesa annua per un cavallo vapore, non tenuto conto del personale, è di 1200 lire.

Siccome tanto la macchina dinamo-elettrica quanto la motrice a gas possono funzionare lodevolmente con pochissima sorveglianza, così le spese pel personale si possono ritenere uguali nei due casi. Quindi i numeri che abbiamo trovato si possono confrontare. Il confronto ci dimostra che essi sono pressochè uguali; dunque concludiamo, che il costo di un cavallo-vapore nel caso della minima economia, nel caso cioè di una macchina a gas di un solo cavallo, basterebbe appena a coprire le spese necessarie per l'ammortizzazione della spesa d'impianto e pel trasporto giornaliero degli accumulatori, e ciò anche nell'ipotesi che tutte le condizioni sieno le più favorevoli

all'impiego degli accumulatori, e che il prezzo degli accumulatori si riduca un giorno al 40 per cento di ciò che esso è attualmente.

Non è necessario aggiungere, che se invece del caso di un utente il quale, non avendo bisogno che di un cavallo, deve procurarsi una piccola macchina a gas, si fosse considerato il caso di un industriale che adopera una macchina a vapore di 12 o di 15 cavalli, il confronto sarebbe riuscito assai meno favorevole pel sistema della distribuzione della forza con le pile secondarie.

13. Del resto, indipendentemente da questi confronti, si deve osservare che l'uso degli accumulatori non costituisce il solo modo per la distribuzione della energia per mezzo della elettricità. Invece di immagazzinare l'energia di una corrente elettrica in una batteria di accumulatori, per distribuirla, così immagazzinata, agli utenti, i quali ne ricavano di nuovo una corrente elettrica, si può assai più semplicemente, e, quel che più monta, assai più economicamente, distribuire addirittura fra gli utenti la corrente elettrica prodotta dalle macchine dinamo-elettriche dello stabilimento centrale, trasmettendola lungo conduttori metallici. Invece di fare una distribuzione per mezzo di secchie e di carri, si può fare una distribuzione per mezzo di una canalizzazione, e ciò con maggiore semplicità, e con economia incomparabilmente più grande.

Che col sistema della canalizzazione si guadagni in semplicità è evidente; che si ottenga con esso una economia incomparabilmente più grande di quella che si avrebbe cogli accumulatori, possiamo dimostrare in poche parole.

A quest'uopo supponiamo di volere, come sopra, distribuire ad utenti situati ad una distanza media di due chilometri da un motore idraulico centrale una forza motrice di 10000 cavalli; ma supponiamo questa volta di voler fare la distribuzione inviando direttamente una corrente elettrica dallo stabilimento centrale alla macchina dinamo-elettrica ricettrice di ciascun utente.

Proponiamoci di renderci conto della spesa occorrente in questo caso. Dobbiamo valutare il costo d'impianto dei motori e poi quello delle gomene elettriche con cui si farà la canalizzazione.

È oggidi un fatto universalmente ammesso, come dimostrato da tutte le esperienze, e noi avremo occasione di discorrerne

in altro momento, questo: che nel trasporto del lavoro meccanico a distanza per mezzo di due macchine dinamo-elettriche funzionanti l'una come generatrice della corrente e l'altra come ricettrice della medesima e produttrice di lavoro, si può ordinariamente, mediante buone proporzioni, ottenere un coefficiente di rendimento uguale, od anche superiore a 0,50. Ammesso, che le cose si proporzionino in modo da ottenere questo coefficiente di rendimento, noi, per distribuire agli utenti 10,000 cavalli effettivi, dovremo avere nello stabilimento centrale un sistema di motori di 20 000 cavalli.

Facendo le medesime ipotesi che ci servirono nell'esempio precedente, ma valutando i prezzi più largamente, potremo ammettere che l'insieme dei motori costi 3 000 000 lire.

Il prezzo dei conduttori metallici, si può calcolare come segue:

Abbiamo ammesso che il coefficiente di rendimento della trasmissione del lavoro delle macchine motrici alle macchine dinamo-elettriche generatrici valga 0,80, e che il coefficiente di rendimento di ciascuna delle macchine dinamo-elettriche coniugate sia uguale a 0,85. Ne deduciamo che spendendo un lavoro di 20 000 cavalli, le macchine dinamo-elettriche generatrici trasformano in energia elettrica cavalli $20\,000 \times 0,80 \times 0,85$, ossia 13 600 cavalli; e che le macchine ricettrici, per produrre il lavoro di 10 000 cavalli, consumano una energia elettrica equivalente a $\frac{10000}{0,85}$ cavalli, ossia a 11 765 cavalli. La differenza tra i due numeri 13 600 ed 11 765 è il numero di cavalli-vapore che si consumano nel circuito della corrente trasformandosi in calore. Nel circuito si trasformano adunque in calore 1835 cavalli-vapore, ossia 137 625 chilogrammetri per minuto secondo.

Ora, se si rappresenta con L questo numero di chilogrammetri trasformato in calore nel circuito in ogni minuto secondo, e se con i e con r si rappresentano l'intensità della corrente espressa in ampère e la resistenza totale del circuito espressa in ohm, si ha dicendo g l'accelerazione della gravità:

$$gL = ri^2.$$

Se d'altra parte si rappresenta con e la differenza tra la forza elettro-motrice della macchina dinamo-elettrica generatrice e la forza elettro-motrice inversa della macchina ricettrice, si ha

$$i = \frac{e}{r}.$$

Dalle due uguaglianze deduciamo

$$r = \frac{e^2}{g L}.$$

Questo valore di r cresce con e , e siccome il peso ed il prezzo del metallo crescono col diminuire della resistenza r , così, per fare una ipotesi sfavorevole alla economia, attribuiremo alla differenza di potenziali e un valore minore di quelli che si avrebbero certamente quando si facesse un impianto studiato a dovere. Supponiamo che le due forze elettro-motrici, di cui e è la differenza, siano uguali a 400 ed a 200 volt, e che quindi sia $e = 200$. Ponendo nella ultima formula questo valore, e ponendo $g = 9,81$, $L = 137625$, ricaviamo

$$r = 0,030 \text{ ohm}.$$

Di questa resistenza totale una parte sarà rappresentata dalla resistenza interna delle due macchine. Ritenendo che la somma delle resistenze interne delle due macchine rappresenti la metà della resistenza totale, avremo pel valore della resistenza esterna, ossia del conduttore che congiunge le due macchine il valore di 0,015 ohm.

Se adunque diciamo ρ la resistenza specifica del metallo con cui il conduttore è fatto, l la sua lunghezza in centimetri, ed s la sua sezione in centimetri quadrati, abbiamo

$$0,015 = \frac{\rho l}{s}.$$

Ponendo $\rho = 0,0000162$, com'è pel rame, e ricordando che l vale quattro chilometri ossia 400 000 centimetri, ne deduciamo

$$s = 43^{\text{c}9,2}.$$

Questa è, in centimetri quadrati, la somma delle sezioni di tutte le gomene con cui si farà la distribuzione delle correnti; il volume loro, espresso in litri, vale $\frac{l s}{1000}$, ossia 17 280. Siccome il rame ha il peso specifico 8,9, così il peso totale delle gomene risulta uguale a $17\ 280 \times 8,9$, ossia a 153 792 chilogrammi, che al prezzo di 4 lire per chilogrammo costano lire 615 168.

Possiamo adunque calcolare come segue l'ammontare delle spese generali d'impianto del sistema:

Per i motori idraulici	L. 3 000 000
Per le macchine dinamo-elettriche generatrici. „	4 000 000
Per le gomene di rame per la trasmissione delle correnti.	„ 615 168
Per l'isolamento e per la posa delle medesime, una metà del costo	„ 307 584
	<u>Totale L. 7 922 752</u>

Se, come abbiamo fatto studiando il caso degli accumulatori, tralasciamo di considerare le spese per il personale, per la manutenzione, per l'amministrazione, l'unica spesa annua che si abbia a considerare è l'ammortizzazione e l'interesse delle spese d'impianto. Ritenendo anche qui che la quota d'ammortamento e d'interesse sia del 12 per cento, abbiamo la spesa annua di lire 950 730, che divisa fra 10000 cavalli risulta, per ogni cavallo, uguale a lire 95,07.

Questo numero sta a quello che abbiamo trovato nel caso degli accumulatori, nelle circostanze e colle ipotesi più favorevoli, come 1 a 13,2; e sta a quello che avremmo trovato attribuendo agli accumulatori il prezzo attuale di lire 100, come 1 sta a 19,92.

Possiamo adunque asserire con sicurezza:

1.° Che gli accumulatori voltaici ad elettrodi di piombo come quelli di *Faure*, o somiglianti, non possono convenire nella distribuzione della forza motrice su vasta scala.

2.° Che se la distribuzione della forza motrice per mezzo della elettricità si potrà fare un giorno industrialmente, su grande scala, la si farà certamente distribuendo le correnti elettriche per mezzo di una ramificazione di conduttori metallici, per mezzo di una canalizzazione, piuttosto che per mezzo degli accumulatori.

Chi preferisse una distribuzione per mezzo di accumulatori alla distribuzione per mezzo di gomene metalliche, farebbe l'errore di chi credesse preferibile distribuire alle case di una città l'acqua per mezzo delle secchie, al distribuirla con una tubulazione. Ma l'errore sarebbe assai più grave nel caso della distribuzione della elettricità che nel caso della distribuzione dell'acqua, perchè per l'elettricità le secchie, che sono gli accumulatori, costerebbero carissimo e sarebbero molto pesanti.

14. Insieme alla forza motrice la società *La force et la lumière* si proponeva di distribuire a domicilio la luce, alimentando colla corrente ricavata da una batteria di accumulatori lampade elettriche ad incandescenza come quelle di *Swan*, di *Maxim* o simili. Questo progetto è più razionale del precedente: per la distribuzione dell'illuminazione le condizioni economiche sono alquanto migliori che per la distribuzione del lavoro meccanico. Infatti la corrente ottenuta con una batteria di accumulatori dà direttamente la luce nelle lampade elettriche, senza bisogno di altre trasformazioni, mentrechè chi volesse attivare quelle medesime lampade elettriche servendosi di una macchina motrice e di una macchina dinamo-elettrica, dovrebbe operare la trasformazione dell'energia meccanica in corrente elettrica, per ottenere poi da questa la luce, e nella trasformazione dovrebbe inevitabilmente sottostare ad una perdita di effetto utile. Tuttavia le condizioni non sono abbastanza migliorate perchè la cosa si possa, in generale, dire conveniente. Dobbiamo distinguere due casi.

Il primo caso è quello nel quale i locali da illuminarsi appartengono a stabilimenti industriali, ove sia possibile installare una motrice ed attivare le lampade elettriche direttamente con le correnti di una apposita macchina dinamo-elettrica.

Siccome nel calcolo che abbiamo fatto relativamente al trasporto della forza motrice abbiamo assunto, come coefficiente di rendimento della macchina ricettrice, destinata a trasformare in lavoro meccanico l'energia della corrente di scarica, il numero 0,85, così ad un cavallo-vapore utilizzato corrisponde una energia della corrente di scarica equivalente a cavalli $\frac{1}{0,85}$ ossia a cavalli 1,18; una corrente di uguale energia si otterrebbe mediante una macchina dinamo-elettrica con coefficiente di rendimento uguale a 0,85 attivata da una macchina motrice di cavalli $\frac{1,18}{0,85}$, ossia di cavalli 1,38.

Ora riferendoci ai risultati del calcolo precedente possiamo per approssimazione ritenere che il lavoro di cavalli 1,38 nel caso più sfavorevole di una piccola motrice a gas costi lire $1200 \times 1,38 = 1656$; invece il lavoro elettrico dato dagli accumulatori costa per la sola ammortizzazione delle spese d'impianto e per le spese di trasporto almeno lire 1254, se gli accumulatori costano sole lire 40, e lire 1874 se, come at-

tualmente, costano lire 100. Essendo evidente che il prezzo da noi calcolato, per l'energia trasportata per mezzo degli accumulatori, è molto al di sotto del vero, e forse non raggiunge la metà del prezzo effettivo, il confronto dei numeri precedenti dimostra che nel caso considerato il trasporto dell'energia cogli accumulatori non può essere economico nemmeno per la illuminazione. *A fortiori* ciò si potrebbe dire se si considerasse il caso della illuminazione di stabilimenti industriali nei quali la forza motrice per le macchine dinamo-elettriche si potesse ricavare dai grandi motori che servono agli altri lavori.

Il secondo caso è quello nel quale i locali da illuminarsi appartengono ad abitazioni private, ove non si può pensare ad installare un motore semplicemente allo scopo di fare l'illuminazione. Per questo caso possiamo renderci conto delle condizioni di convenienza economica dell'illuminazione elettrica fatta per mezzo degli accumulatori, confrontando il costo della medesima con quello della illuminazione equivalente fatta col gas. Nell'esame del problema del trasporto della forza motrice abbiamo trovato che, solamente per coprire l'ammortamento delle spese d'impianto e le spese di trasporto, occorrerebbe per ogni cavallo trasportato a domicilio la spesa annua di lire 1874 attualmente, e quella di lire 1254 quando nell'avvenire il prezzo di un accumulatore si potesse ridurre da 100 a 40 lire. Siccome abbiamo fatto il calcolo per 300 giorni di lavoro e per 12 ore al giorno, così ne dedurremo che per la sola parte di spesa su nominata un cavallo-ora trasportato a domicilio deve costare presentemente $\frac{1874}{12 \times 300} = 0,52$ lire, e costerà al minimo nel-

l'avvenire $\frac{1254}{12 \times 300} = 0,35$ lire. Ora un *cavallo-ora* dato da un

ricettore dinamo-elettrico corrisponde ad $\frac{1}{0,85}$ cavalli-ora nella corrente elettrica, e questa corrente si può ottenere spendendo

sull'albero di una macchina dinamo-elettrica cavalli-ore $\frac{1}{0,85} \times \frac{1}{0,85}$

ossia 1,38. E col lavoro di cavalli 1,38 si possono alimentare circa 14 lampade ad incandescenza di *Swan* equivalenti ciascuna a 1,5 Carcel, e così si può ottenere una illuminazione equivalente a 21 becchi Carcel. Dunque concludiamo che una illuminazione di 21 becchi Carcel ottenuta cogli accumulatori costerebbe attualmente per le sole spese d'impianto e di trasporto

lire 0,52 all'ora, ed al *minimum* potrà costare nell'avvenire lire 0,35. Col gas invece la medesima quantità di luce si otterrebbe consumando circa 2,1 metri cubi all'ora, che al prezzo di 25 centesimi costerebbero lire 0,53. Siccome i numeri calcolati per gli accumulatori non rappresentano che una piccola parte del prezzo effettivo, così si può concludere che anche in questo caso l'illuminazione elettrica ottenuta per mezzo degli accumulatori caricati in un opificio centrale e portati a domicilio non può in nessun modo essere economica oggidì, e difficilmente potrà diventarlo in avvenire.

15. Riassumendo ciò che riguarda l'impiego delle pile secondarie per la distribuzione della forza e della luce, impiego, che, secondo le promesse dell'inventore, doveva essere il più importante, e dal quale la società proprietaria dell'apparecchio ha desunto il proprio nome, noi ci formiamo la convinzione che i progetti grandiosi che si sono formati non possono oggidì, e non potranno probabilmente mai essere tradotti in pratica. La distribuzione a domicilio dell'energia meccanica e della luce, fatta per mezzo delle pile secondarie, non potrà convenire se non per piccole applicazioni, nelle quali abbisognino lavori motori minimi o minime quantità di luce. E veramente se noi ripensiamo alle cose che si vedevano esposte nel palazzo dell'industria, troviamo che le macchine che lavoravano animate dalle pile del *Faure* erano unicamente macchine da cucire, ed altri apparecchi somiglianti, pei quali bastava il lavoro di pochi chilogrammetri per minuto secondo. Si fecero bensì durante l'esposizione alcuni esperimenti nei quali colle pile *Faure* si ottenevano lavori di uno o più cavalli; e ad alcuni di questi esperimenti dovetti prendere parte io stesso durante il lavoro dei giurati, ma quegli esperimenti non potevano servire ad altro che a determinare i coefficienti di rendimento meccanici, e non potevano dire nulla sulla parte più grave della questione, che è quella dei prezzi.

16. Oltre alla applicazione della quale abbiamo parlato, la società *La force et la lumière* ne indicava alcune altre, e prima fra queste quella che si sarebbe fatta alla trazione delle carrozze sulle tramvie.

Le considerazioni che ho avuto occasione di fare poc' anzi, relativamente al prezzo ed al peso delle pile secondarie a piombo, bastano a fare presentire che una così fatta applicazione non potrà forse mai convenire. Senza dilungarmi per giustificare con

considerazioni numeriche questa previsione, io citerò in appoggio della medesima un esperimento. Nel giorno 15 giugno scorso, sulla linea della tramvia di Vincennes (tra il *Boulevard Richard Lenoir* e la *Barrière du Trône*) si mise in moto un omnibus per mezzo della corrente elettrica data da una batteria di accumulatori *Faure* collocata su di esso. La velocità ottenuta fu di 10 chilometri all'ora. Il generatore elettrico era costituito da 180 accumulatori *Faure*, che, insieme, pesavano 1700 chilogrammi. Da questo risultato si può trarre la conclusione, che per ottenere il lavoro che potrebbero fare due cavalli d'omnibus del valore di forse 2600 lire, bisognerebbe fare una prima spesa di 20 000 lire, caricare la carrozza di un peso morto di 1700 chilogrammi, ed andare incontro ad una spesa per l'esercizio e per la manutenzione, che, se non si può calcolare, si può però prevedere molto elevata.

Fra le applicazioni possibili degli accumulatori si parlò anche di questa: accumulare durante l'intera giornata il lavoro di una motrice di piccola potenza, per utilizzarlo in operazioni, che richiedono una forza motrice grande, ma per un tempo breve. È questa una delle applicazioni che si presentano prima, da sè, alla mente; ma analizzata colla scorta dei dati numerici che possediamo, si riconosce vantaggiosa soltanto quando il tempo per cui si ha bisogno del lavoro sia brevissimo. Lo scopo dell'applicazione si riduce ad una economia nell'acquisto del motore; e per ottenerlo si fa una nuova spesa per l'acquisto del materiale elettrico. Confrontiamo ciò che si risparmia con ciò che si spende; e a quest'uopo consideriamo, come esempio, il caso nel quale si voglia far servire una motrice di un cavallo, che lavori tutta la giornata, ad accumulare l'energia necessaria per fare un lavoro che richiede 6 cavalli durante 4 ore sole. In questo caso si risparmierebbero nell'acquisto del motore forse $6000 - 2500 = 3500$ lire. Ma per compenso si dovrebbero provvedere:

1.° Per l'accumulazione di $4 \times 6 = 24$ cavalli-ore 60 accumulatori, che costano attualmente lire $60 \times 100 = 6000$, e che al *minimum* potranno costare nell'avvenire lire $60 \times 40 = 2400$;

2.° Una macchina dinamo-elettrica da un cavallo, per la carica, ed una da 6 cavalli, per la scarica, le quali potranno costare almeno 4000 lire.

Dunque per risparmiare 3500 lire si dovrà sopportare una maggiore spesa, che, col prezzo attuale degli accumulatori, può

ammontare a 10000 lire, e che nell'avvenire non potrebbe scendere al disotto di 6400 lire. Se la corrente prodotta dagli accumulatori non si dovesse trasformare in energia meccanica, si risparmierebbero sulla spesa ora calcolata lire 3000 per la macchina dinamo-elettrica ricettrice di sei cavalli, la quale non sarebbe più necessaria, e così la spesa totale si ridurrebbe a 7000 lire attualmente e 3400 al *minimum* nell'avvenire. Nemmeno in questo caso non vi sarebbe economia.

L'economia però potrebbe aversi quando il numero delle ore, per cui si ha bisogno della corrente, fosse ancora più piccolo, giacchè in questo caso, mentre rimarrebbe la stessa la spesa per la provvista degli accumulatori, si farebbe maggiore il risparmio nell'acquisto della macchina motrice.

Analoga alla precedente è l'applicazione che si può fare alla utilizzazione di forze motrici, che si hanno a buon mercato o gratuite, ma che non si possono impiegare direttamente, perchè troppo variabili. Non è impossibile che in alcuni casi l'applicazione possa convenire; non lo si potrebbe però dimostrare in generale.

17. Dopo di aver esaminato quelle applicazioni che, benchè dagli inventori poste innanzi per le prime, non potranno essere tradotte utilmente in pratica, o non lo potranno se non in casi speciali, io arrivo ad altre applicazioni alle quali si attribui finora una importanza secondaria, od a cui non si è ancora pensato, e che tuttavia mi si presentano come pratiche e veramente ricche di avvenire.

Colloco fra queste l'applicazione che si può fare delle pile di *Faure* ad utilizzare durante il giorno le macchine dinamo-elettriche, che di notte s'impiegano direttamente per la illuminazione. L'occasione di pensare ad un'applicazione di questa natura si può presentare, per esempio, alle amministrazioni di ferrovie; se su di una linea di strada ferrata si hanno stazioni illuminate di notte con lampade elettriche, il che nell'avvenire sarà il caso generale, può essere ragionevole studiare se per avventura non convenga adoperare durante il giorno le macchine dinamo-elettriche destinate a queste lampade, e caricare con esse batterie di accumulatori destinate alla illuminazione delle sale, degli uffizi, delle carrozze, od anche delle stazioni minori. È questa una questione che non si può decidere in generale, ma che merita d'essere studiata, nei singoli casi speciali, dalle amministrazioni.

Analoga a questa, ma più grandiosa, è l'applicazione che si potrà fare degli accumulatori alla illuminazione elettrica delle abitazioni private, quando, come potrà verificarsi nell'avvenire, la luce elettrica avrà sostituito il gas nell'illuminazione pubblica. Se un giorno avverrà che per le vie e sulle piazze delle città gli attuali becchi a gas si veggano rimpiazzati da lampade elettriche, e se, come a suo luogo dimostrerò essere probabile, queste lampade saranno ad arco voltaico, e perciò inette alla illuminazione domestica, allora potrà accadere che gli accumulatori voltaici vengano collocati nelle abitazioni private ed utilizzate per l'illuminazione di queste con lampade ad incandescenza. La carica degli accumulatori si farebbe allora per mezzo di correnti derivate dai grandi circuiti dell'illuminazione pubblica, e la corrente di scarica, che potrà differire per durata, per intensità, per forza elettro-motrice da quella che ha servito alla carica, potrà sempre, con buone proporzioni e disposizioni degli apparecchi, ridursi alle condizioni più convenienti per le lampade domestiche ad incandescenza. Potrà accadere eziandio che la carica degli accumulatori pei privati si faccia lungo il giorno, riservando, nella sera, tutta l'energia delle correnti alla illuminazione pubblica. Se questa applicazione verrà un giorno a verificarsi, gli accumulatori di *Faure* faranno nelle case, per la distribuzione elettrica, ciò che fanno, nelle distribuzioni di acqua potabile, i serbatoi. E considerando la cosa da questo punto di vista, si può dire: non si può per ora prevedere se l'illuminazione elettrica diventerà un giorno generale e si estenderà alle case private come ai luoghi pubblici, ma si può asserire che se questo avverrà, le pile secondarie diventeranno una delle parti essenziali dell'apparecchio.

Fin d'ora, intanto, si adoperano con profitto gli accumulatori voltaici come regolatori delle correnti per l'illuminazione con lampade ad incandescenza come quelle di *Swan*.

Ma la più importante delle applicazioni, che forse fin d'oggi si potrebbe tradurre in pratica in molti luoghi, è quella che si potrebbe fare per utilizzare nelle ore di riposo la forza motrice già destinata ad altri usi, per farla servire alla illuminazione. Io penso ad una città industriale, come va diventando quella da cui scrivo, nella quale si abbia una poderosa forza motrice idraulica, utilizzata soltanto di giorno e per poche ore della sera, e mi domando se non si potrebbe utilizzare quella forza motrice durante la notte per l'illuminazione. Una difficoltà

si presenta, ed è che il lavoro negli opifici si prolunga alla sera fino ad ora avanzata, e, soprattutto nell'inverno, l'illuminazione, a cui i motori vorrebbero farsi servire, deve cominciare alcune ore prima che gli opifici cessino di averne bisogno. Ebbene, questa difficoltà si potrebbe forse superare ricorrendo agli accumulatori, e, per rispetto all'economia, la cosa potrebbe riuscire più che conveniente.

Poniamo, per esempio, che per 3000 ore per ogni anno si abbiano inoperosi 1000 cavalli di forza motrice idraulica, e che l'unica difficoltà per utilizzarli nella illuminazione della città sia che in alcune stagioni il lavoro dei motori non può distrarsi dalle fabbriche per tutte le prime quattr'ore di notte. Per rimediare a ciò basta impiegare una parte della forza motrice, nelle ore in cui la si ha disponibile, a caricare batterie di accumulatori della capacità complessiva massima di 4000 cavalli-ore.

Per avere questa capacità è necessario il numero $\frac{4000}{20} \times 50$, ossia 10000 di accumulatori, i quali, col prezzo attuale massimo di 100 lire ciascuno, costano lire 1.000.000.

Per caricare poi questi accumulatori si richiedono macchine dinamo-elettriche per la forza complessiva di 1000 cavalli, le quali potranno costare 200.000 lire. Il materiale necessario costerebbe adunque in tutto lire 1.200.000. Con questa spesa si otterrebbe una illuminazione equivalente a quella di 7000 lampade *Swan* di 1,5 becchi Carcel durante 3000 ore; illuminazione che, fatta col gas, e posto uguale a 0,2 il prezzo di un metro cubo di gas, costerebbe 630.000 lire. Così con una spesa d'impianto uguale a 4 si ricaverebbe un reddito brutto annuo maggiore di 2. Se poi, come è possibile, il prezzo degli accumulatori potrà ridursi ad un minimo di 40 lire, la spesa necessaria per ottenere un frutto annuo maggiore di 2 si ridurrà a 2.

18. Riassumendo i risultati dei confronti e delle considerazioni che ho fatto relativamente alle applicazioni industriali delle pile secondarie adoperate come accumulatori dell'energia, io posso concludere:

1.° Pel loro prezzo elevato e pel loro grande peso gli accumulatori voltaici ad elettrodi di piombo non possono, nè potranno forse mai, essere adoperati, su grande scala, come mezzo pel trasporto a distanza e per la distribuzione della energia meccanica. I soli casi in cui essi potranno forse essere adoperati sono quelli nei quali si hanno a distribuire forze

motrici minime, equivalenti ad una piccola frazione d'un cavallo-vapore.

2.° Benchè gli accumulatori si prestino meglio alla distribuzione della luce che a quella dell'energia meccanica, tuttavia le condizioni economiche di questa applicazione sono talmente sfavorevoli, che si può asserire con sicurezza che gli accumulatori attualmente conosciuti non saranno mai adoperati su vasta scala pel trasporto e per la distribuzione della luce. E ciò anche quando il loro prezzo diventasse minore della metà del prezzo attuale.

3.° In questo caso il trasporto e la distribuzione dell'energia, data da un motore centrale, si farà con una economia incomparabilmente più grande trasmettendo direttamente le correnti elettriche dalle macchine generatrici centrali alle macchine ricettrici situate presso gli utenti, mediante gomene metalliche, che non portandola e distribuendola immagazzinata negli accumulatori.

4.° L'applicazione che è stata proposta delle pile di *Faure* alla trazione delle carrozze sulle tramvie difficilmente diventerà pratica ed economica.

5.° L'utilità degli accumulatori considerati come mezzo per far servire un motore di piccola potenza, che lavori continuamente, a produrre effetti che richieggono per un breve tempo una grande forza motrice, non può sussistere se non nei casi ove il tempo, per cui si fa uso dell'energia accumulata, sia brevissimo.

6.° Non è impossibile che in qualche caso gli accumulatori possano servire ad utilizzare forze motrici gratuite ma troppo variabili per potersi impiegare direttamente; ma la convenienza economica di quest'applicazione non si potrebbe dimostrare in generale. In questo caso poi le pile secondarie non rappresentano il solo mezzo a cui si possa ricorrere, nè fra i mezzi adoperabili sono il migliore.

7.° Possono tornare utili le pile secondarie per adoperare lungo il giorno le macchine d'induzione destinate a dare di notte direttamente le correnti per l'illuminazione.

8.° Le pile secondarie avrebbero un'applicazione sicura ed importante qualora per l'illuminazione pubblica nelle città si adottasse generalmente la luce elettrica. In questo caso le pile secondarie darebbero un modo per estendere in buone condizioni l'illuminazione elettrica anche alle abitazioni private. Fin

d'ora gli accumulatori si vedono adoperati per regolare le correnti nell'uso delle lampade ad incandescenza.

9.° Un' applicazione grandiosa, che può essere attuabile fin d'ora, è quella che si può fare in una città industriale ove si abbia una forza motrice idraulica, che nella notte, durante il riposo degli opifici, vada tutta perduta. Colle pile secondarie si può risolvere il problema di far servire quel lavoro, attualmente perduto, all'illuminazione.

Da questo riassunto poi scaturisce questa conclusione generale: che, fatta astrazione da qualche caso specialissimo, le pile secondarie, quali ora sono, non possono prestare servizi nelle applicazioni industriali se non quando ciò che si vuole utilizzare col loro mezzo e ciò che col loro mezzo si vuole produrre sia una corrente elettrica e non un lavoro meccanico. Inoltre, le migliori condizioni per l'impiego industriale di questi apparecchi si hanno quando i medesimi non debbono essere trasportati da luogo a luogo.

§ 3.° DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA

PER MEZZO DI CORRENTI ELETTRICHE.

Problema da risolvere. — Vari modi di risolverlo. Regolatori a mano e regolatori automatici: *Edison, Brush, Maxim*. — Loro insufficienza. — Sistema di *A. Gravier*. — Sistema di *Marcel Deprez*.

19. I confronti numerici, di cui ci ha dato occasione lo studio delle applicazioni possibili degli accumulatori voltaici, ci hanno portato a questa conclusione: che se verrà un giorno, nel quale si possa risolvere su grande scala, per mezzo dell'elettricità, il problema di distribuire a molti utenti, suddivisa a piacimento e trasmessa a grandi distanze, l'energia somministrata da grandi motori centrali, questo si farà per mezzo di una canalizzazione di correnti elettriche. Siccome la soluzione di questo problema costituirebbe la più grandiosa delle applicazioni industriali, che i risultati attualmente ottenuti abbiano permesso sperare, così noi troviamo nella esposizione di Parigi parecchie proposte ed alcune invenzioni che la riguardano.

Per poter dividere e distribuire fra molti apparecchi ricettori, come motori elettrici, lampade elettriche, bagni elettrochimici, ecc., l'energia elettrica prodotta da un generatore cen-

trale, e per fare ciò in buone condizioni tecniche, bisogna potere, prima, risolvere questo problema: disporre le macchine ed i conduttori in tale maniera, che si possano introdurre nel sistema o sopprimere, attivare od arrestare, quanti si vogliano apparecchi ricettori, senza che le correnti che animano gli altri risentano variazioni sensibili. Acciocchè poi il sistema sia in perfette condizioni economiche, è necessario che la costanza delle correnti elettriche sia ottenuta senza bisogno di consumare in effetti inutili il lavoro delle macchine generatrici; è mestieri in altri termini che la costanza delle correnti sia ottenuta, non già introducendo nei circuiti resistenze variabili, le quali trasformino in calore l'energia elettrica nei momenti in cui essa diventa eccessiva, ma sia invece ottenuta agendo sul generatore in tal modo che in ogni istante esso non consumi più di quella quantità d'energia meccanica di cui in quell'istante si ha bisogno.

Il problema si era presentato, benchè sotto una forma assai meno generale, fino dal tempo dei primi tentativi di applicazione della luce elettrica alla illuminazione pubblica. Ma per questo caso speciale, molto ristretto, bastava una soluzione parziale, la quale si ottenne costruendo macchine d'induzione con più spirali indotte indipendenti e poste in circuiti distinti. Con questo artificio, che noi troviamo già nelle antiche macchine dell'*Alliance* e vediamo riprodotto nelle macchine del *Lontin* e nelle macchine a correnti alternative di *Gramme* e di *Siemens*, l'attivazione delle lampade di un circuito e la loro soppressione non influisce direttamente sulle lampade degli altri circuiti; e se la macchina motrice è munita di un regolatore che ne mantenga costante la velocità, le intensità delle correnti nei circuiti che rimangono chiusi rimangono costanti, ed il lavoro consumato dalla macchina cresce o diminuisce in proporzione dei circuiti che si chiudono o che si interrompono.

In questi giorni però, coll'ingrandirsi e moltiplicarsi degli impianti e dei progetti per l'illuminazione, e soprattutto col sorgere del progetto assai più generale e grande dell'applicazione delle correnti elettriche al trasporto ed alla distribuzione dell'energia, la soluzione parziale, ora accennata, è diventata insufficiente. Quindi il problema si è ripresentato nella sua forma generale; e la sua importanza è stata tanto sentita, che in pochi mesi si videro parecchie proposte di soluzioni. L'esposizione ci ha posto innanzi esempi istruttivi dei principali si-

stemi tentati e fra le altre ci ha mostrato una soluzione che forse è completa.

20. Per far variare l'intensità della corrente data da una macchina dinamo-elettrica, senza modificare la resistenza del circuito, ci sono due modi: far variare la velocità della spirale indotta, o, tenendo costante la velocità, far variare l'intensità del campo magnetico nel quale la spirale indotta si muove.

Il primo modo sarebbe pessimo meccanicamente, inammissibile elettricamente. Pessimo meccanicamente per principio generale, e fondamentale nella teoria delle macchine, per cui la costanza della velocità è una condizione essenziale pel buon rendimento di qualunque meccanismo. Inammissibile elettricamente, perchè, qualunque fossero gli artifici adoperati per far variare, a seconda delle variazioni della intensità della corrente la velocità angolare dell'armatura indotta, le variazioni si farebbero sempre troppo lentamente per servire allo scopo. Le variazioni di intensità di corrente, che possono verificarsi per cause accidentali o per le variazioni del numero dei ricettori in azione, sono sempre rapidissime e possono produrre, anche in tempi brevissimi inconvenienti assai gravi, contro i quali il rimedio, che può arrecare la variazione della velocità della macchina, arriverebbe sempre troppo tardi. Cito come esempio il caso di un sistema per l'illuminazione con lampade ad incandescenza, nel quale basterebbe che la intensità della corrente eccedesse durante pochi minuti secondi un limite determinato, perchè molte lampade venissero distrutte.

Convieni dunque agire sulla intensità del campo magnetico, ed a questo mirano i vari sistemi che hanno figurato nell'esposizione.

Un modo di far diminuire od aumentare, a seconda del bisogno, l'intensità del campo magnetico, in cui ruota la spirale indotta, consiste nel far variare, a seconda del bisogno, la distanza tra i poli dell'induttore e l'indotto che ruota fra di essi. Lo spostamento delle braccia dell'induttore, a ciò necessario, si può ottenere a mano, o meglio automaticamente. Un esempio di quest'ultima disposizione era rappresentato da una piccola macchina dinamo-elettrica esposta nella sezione francese da certo signor *Chameroy*. L'apparecchio però era più ingegnoso che pratico od imitabile; infatti oltre all'essere difficile a regolarsi, oltre al presentare, nei grandi modelli, difficoltà gravi di costruzione, esso ha, sebbene in minor proporzione, l'inconve-

niente di cui abbiamo parlato poc' anzi, di essere troppo lento nella sua azione.

Assai più comodo e più ragionevole è modificare l'intensità del campo magnetico, facendo variare opportunamente l'intensità delle correnti nelle spirali magnetizzanti delle elettro-magneti induttrici. Per fare ciò è necessario adoperare come corrente magnetizzante dell'induttore una corrente distinta dalla corrente principale. La cosa si può fare in due modi, o mettendo le spirali magnetizzanti dell'induttore in un circuito derivato, o separando queste spirali completamente dal circuito principale della macchina, e mandando in esse la corrente data da una macchina *eccitatrice* apposita. La disposizione che figurava nelle antiche macchine di *Ladd* e nelle prime grandi macchine a luce del *Gramme*, nelle quali si avevano due spirali indotte destinate l'una a produrre la corrente principale e l'altra la corrente magnetizzante, rientra in questo secondo caso. Quelle macchine infatti si possono considerare come sistemi di due macchine, una principale e l'altra eccitatrice, riunite insieme.

Disposti i circuiti in una di queste maniere, si può agire sulla corrente eccitatrice, per farne variare l'intensità, in due modi: o per mezzo di un regolatore *a mano* governato da una persona dietro le indicazioni di un galvanoscopio appropriato alla specie di applicazione in cui la macchina è impiegata, oppure per mezzo di un regolatore automatico.

Il primo modo è quello che si trova applicato nella grande macchina di *Edison* alla quale ho dedicato più sopra alcune parole di descrizione. Quella macchina colossale deve, secondo i progetti dell'inventore, essere il centro di una grande distribuzione di energia per l'illuminazione con lampade ad incandescenza, e siccome queste lampade hanno bisogno di una corrente moderata e costante, e potrebbero essere distrutte da un accidentale aumento della intensità, così quella macchina doveva necessariamente essere provvoluta di un regolatore. — *Edison* ha creduto che l'ufficio importante e delicato di regolatore dovesse essere tenuto da una persona. Nella grande macchina esposta le elettro-calamite induttrici sono eccitate da una corrente derivata dai poli della macchina stessa; in altri modelli della macchina di *Edison*, esse lo sono invece dalla corrente di una macchina eccitatrice apposita. In ogni caso, sul circuito della corrente eccitatrice è inserita una cassa di resistenze, a quadrante ed a manovella. La manovella è alla portata di un

sorvegliante, il quale, regolandosi dietro le indicazioni di un galvanoscopio, oppure a seconda dell'aspetto di una lampada normale, fa variare la resistenza del circuito della corrente eccitatrice, e con questa l'intensità del campo magnetico, in modo da mantenere costante l'intensità della corrente principale, oppure, a secondo del modo di collegamento delle lampade, la differenza dei potenziali ai due poli della macchina. Lo scopo per cui l'inventore ha creduto di dovere preferire questo sistema è certamente quello di sottrarre il governo della corrente, così importante in un'applicazione su grande scala, alle incertezze inevitabili nel funzionare di tutti i meccanismi automatici. Si potrebbe dubitare però che così facendo egli sia andato incontro ad un inconveniente anche più grave: quello che per una disattenzione, troppo facile, della persona incaricata della sorveglianza, l'uniformità della corrente venga in qualche momento a mancare, od almeno non si ristabilisca colla necessaria prontezza. A questo riguardo, l'esposizione non ci ha insegnato nulla, giacché il regolatore che era stato applicato, nei primi giorni, alla piccola macchina, venne in seguito soppresso, e poi riapplicato alla macchina grande; ma non ha mai funzionato. Nell'esposizione, infatti, ove l'apparecchio, regolato nel momento della messa in moto, si trovava in condizioni eccezionalmente buone di invariabilità, il regolatore non poteva essere necessario.

La società *Brush (Anglo-American Brush Electric-light Corporation limited)* nella sezione inglese, presentava due regolatori, uno dei quali doveva essere, come quello di *Edison*, governato da una persona, e l'altro era automatico. Con questi apparecchi, invece di far variare la resistenza del circuito della corrente eccitatrice, si fa variare quella di un circuito derivato. La variazione della resistenza è fatta, nel primo apparecchio, a mano, in modo analogo a quello adoperato da *Edison* nel suo regolatore. Nell'altro apparecchio è fatta automaticamente; in questo secondo regolatore la resistenza variabile è data da una pila di tavolette di carbone, ed è regolata dalla pressione esercitata su detta pila dall'armatura di una elettro-calamita, per la spirale della quale passa la corrente principale.

Il primo di questi sistemi ha tutti gli inconvenienti di quello più semplice di *Edison*, ed ha inoltre quello di deviare continuamente, in pura perdita, una parte della corrente eccitatrice. Il secondo sistema poi, oltre al dare luogo ad una perdita, ha il difetto di essere troppo delicato e variabile nella sua funzione.

I due apparecchi erano esposti, ma che io sappia, non furono, durante l'esposizione, mai adoperati. Del primo si può dire, colle riserve che ho fatte, che esso potrà tornare utile per l'acomodamento preliminare, quando si mette in azione la macchina; quanto al regolatore automatico, è probabile che esso non possa dare alcun serio risultato.

Assai migliore dei precedenti è il regolatore di *Maxim*, che fu esposto nella sezione americana della *United States Electric Lighting Company di New York*. È questo un apparecchio ingegnoso, perfettamente studiato in tutte le sue parti, il quale può probabilmente rendere nella pratica utili servigi. Inoltre esso differisce da tutti gli apparecchi precedenti pel principio stesso sul quale è fondato, e merita, anche per questo riguardo, di essere conosciuto.

Nelle macchine dinamo-elettriche del *Maxim* la corrente eccitatrice è somministrata da una macchina dinamo-elettrica apposita; nelle grandi installazioni, quando si hanno parecchie macchine che debbono lavorare insieme, un'unica macchina eccitatrice dà la corrente magnetizzante alle elettro-calamite induttrici di tutto il sistema. Ebbene, il regolatore della intensità della corrente è applicato alla macchina eccitatrice, e fa variare l'intensità della corrente prodotta da questa, spostando gli sfregatoi del suo raccoglitore. Si sa che la intensità della corrente data da una macchina a corrente continua del tipo *Pacinotti* varia colla posizione dei due punti diametralmente opposti, nei quali le spazzole raccoglitrice toccano le lamine del commutatore; l'intensità è massima quando il contatto ha luogo nei due punti neutri, vale a dire nei due punti per cui la forza elettro-motrice è nulla e cambia di segno, punti situati in vicinanza del piano perpendicolare alla linea dei poli induttori, con un piccolo ritardo rispetto al medesimo; essa diminuisce se, facendo rotare il sistema delle due spazzole, si allontanano, in un senso o nell'altro, i punti di contatto dai punti neutri. Ciò è quanto succede nella macchina eccitatrice di *Maxim*; il sistema delle sue due spazzole raccoglitrice può girare intorno all'asse della spirale indotta, per modo che i due punti di contatto tra le spazzole e le lastrine del commutatore, pur rimanendo sempre diametralmente opposti, possono passare su diametri diversamente inclinati rispetto a quello che passa pei punti neutri; il movimento poi è impresso alle spazzole da un apparecchio automatico che agisce per effetto delle variazioni della corrente principale.

L'apparecchio automatico è collocato sul capitello stesso della macchina eccitatrice ed è fatto nel modo seguente. Una elettro-calamita a filo sottile, posta in derivazione sul circuito principale, attira con una forza, la quale varia coll'intensità della corrente, una armatura, alla quale è sospeso un nottolino munito di due denti opposti. Questo nottolino riceve da una trasmissione intermediaria, presa sull'asse medesimo della macchina, un movimento oscillatorio, di va e vieni, e i due denti di cui esso è munito compiono le loro oscillazioni frammezzo a due ruote dentate, in direzione tangenziale alle medesime, ma, nello stato normale, senza toccarle. I denti del nottolino oscillante non toccano nè l'una, nè l'altra delle due ruote dentate quando la corrente, che passa per la spirale dell'elettro-magnete del regolatore, ha la sua intensità normale. Ma se la corrente s'indebolisce, allora l'armatura, attirata meno fortemente e sollecitata da una molla antagonista, si allontana dall'elettro-magnete e solleva il nottolino. Ne segue che il dente superiore del nottolino si impegna fra i denti della ruota superiore e la mette in moto, facendola avanzare di un dente per ogni oscillazione. Il movimento della ruota è trasmesso, per mezzo di un sistema di ruote dentate, alle spazzole del raccoglitore i cui punti di contatto si allontanano così dai punti neutri. L'effetto inverso si produce quando l'intensità della corrente attraversante la elettro-magnete aumenta; allora infatti l'armatura, attratta più potentemente, si abbassa e fa abbassare seco il nottolino; il dente inferiore di questo viene così ad impegnarsi fra i denti della ruota inferiore, e questa imprime al sistema delle spazzole un movimento opposto a quello che si era prodotto nel caso precedente. Una seconda elettro-calamita situata d'accanto a quella del regolatore funziona come apparecchio di sicurezza, pel caso di un accidentale aumento dell'intensità della corrente e di tale grandezza da poter danneggiare le lampade alimentate dalla macchina. Quando l'intensità della corrente raggiunga un valore limite, al di là del quale essa diventerebbe pericolosa, l'armatura di questa elettro-magnete chiude un breve circuito derivato, di minima resistenza, e riduce così ad un nonnulla l'intensità della corrente eccitatrice.

Fra tutti i regolatori automatici che figuravano alla esposizione, quello che abbiamo descritto è certamente il migliore. Benchè, come tutti gli altri, di cui abbiamo già parlato, esso, nel palazzo dell'industria, non funzionasse, tuttavia basta la

descrizione che ne abbiamo data per farlo giudicare atto a servire, almeno in alcuni casi. Suoi difetti sono unicamente di essere assai complicato e delicato, e di essere alquanto lento nella sua azione.

21. Quest'ultimo difetto, quello di essere troppo lento in confronto alla rapidità delle variazioni che sogliono verificarsi negli apparecchi elettrici, è inevitabile in tutti gli apparecchi regolatori, l'azione dei quali consiste nel modificare, quando se ne presenta il bisogno, alcune parti della macchina dinamo-elettrica, o della sua eccitatrice, per modo da far variare nel senso voluto l'intensità della corrente. Qualunque infatti sia la modificazione che l'apparecchio deve produrre nella macchina, essa non si può effettuare senza porre in movimento alcuni organi meccanici, e se questo movimento ha da essere proporzionato al bisogno, esso deve in generale farsi dolcemente, e consumare così un tempo considerevole.

Un altro inconveniente, comune a tutti gli apparecchi automatici, è che la loro azione è soggetta a mancare talvolta accidentalmente, e ciò indipendentemente dalla perfezione con cui la costruzione può essere eseguita.

Per questi motivi i meccanismi automatici, applicati alle macchine generatrici, per governare l'azione col modificarle ogni qualvolta la corrente tende a variare, comunque ingegnosi e perfetti, non possono bastare se non in casi speciali e per piccole applicazioni. Essi non bastano per la soluzione del problema generale, dal quale dipende la possibilità di fare su larga scala, industrialmente, la distribuzione dell'energia per mezzo di correnti elettriche. Una soluzione completa, e realmente pratica, di questo problema non si può avere se non trovando modo di disporre e collegare i circuiti e le spirali delle macchine così che, senza bisogno di apparecchi governatori o di sorveglianza personale, ma in grazia delle leggi stesse che presiedono alla distribuzione delle correnti nei conduttori, l'intensità della corrente che anima uno qualunque degli apparecchi ricettori sia indipendente dalle variazioni che possono avvenire in tutti gli altri.

22. Se fosse possibile avere un generatore con resistenza interna nulla o trascurabile, si potrebbe ottenere il risultato a cui si mira, si potrebbero cioè combinare i circuiti dei ricettori in modo che l'attivazione o l'inserzione di un numero qualunque di questi apparecchi, o la loro soppressione, non recasse alte-

razione sensibile nell'andamento di tutti gli altri, con una disposizione semplicissima, la quale si presenta alla mente da sè. Basterebbe a quest'uopo collocare i ricettori, vale a dire le lampade elettriche, od i motori elettrici, od i bagni elettrochimici, ecc., sopra altrettanti circuiti distinti derivati tutti dai due poli del generatore. Mantenendo allora costante la velocità della macchina, si avrebbe sopra ciascuno dei circuiti derivati una corrente costante, il valore della quale sarebbe indipendente dal numero degli altri circuiti che rimangono chiusi. Infatti colla costanza della velocità del generatore si avrebbe la costanza della sua forza elettro-motrice, ed essendo nulla la resistenza interna, la forza elettro-motrice costante manterrebbe ai due poli una differenza di potenziali di valore costante; le variazioni delle resistenze e delle forze elettro-motrici che possono esistere sui circuiti esterni farebbero bensì variare la grandezza del lavoro necessario per mantenere costante la velocità, farebbero variare l'intensità della corrente attraverso il generatore, ma non influirebbero sul valore della differenza dei potenziali ai due poli. Ora in uno qualunque dei circuiti derivati sia r la resistenza ed e la forza elettro-motrice inversa prodotta dal ricettore durante il lavoro; se noi diciamo E la differenza costante dei potenziali alle due estremità del circuito, e se rappresentiamo con i l'intensità della corrente che lo percorre, abbiamo $i r = E - e$, ed il valore di i che ne ricaviamo è indipendente dal numero degli altri circuiti derivati che rimangono chiusi, dalle loro resistenze e dalle forze elettro-motrici prodotte dagli apparecchi ricettori su di essi collocati.

Le condizioni necessarie per una buona distribuzione di energia sarebbero in questo modo verificate.

Siccome è impossibile avere una macchina dinamo-elettrica di resistenza nulla, siccome anzi nella pratica, data la forza elettro-motrice che si vuole ottenere, esiste un limite minimo del valore della resistenza, al disotto del quale non si può discendere, così nella pratica la soluzione del problema, che ho indicato, non si può realizzare. È però possibile in alcuni casi avvicinarsi alle condizioni teoriche in cui or ora ci siamo collocati, ed avere così una soluzione pratica approssimata. Per fare ciò bisogna adoperare come generatori macchine dinamo-elettriche di piccola resistenza interna, e raggrupparne insieme, nel centro della distribuzione, un certo numero nel modo che dai pratici si suol dire *in quantità*; ossia congiungendo insieme tutti i poli

positivi da una parte, e tutti i poli negativi dall'altra. Bisogna poi dare alle resistenze dei vari circuiti derivati, su cui saranno inseriti i ricettori, valori abbastanza grandi, perchè la resistenza interna della batteria dei generatori, rispetto ad esse, sia molto piccola.

La soluzione approssimativa del problema, della quale ho parlato, è, nella sostanza, quella che fu proposta dal signor *A. Gravier* di Varsavia, e che figurava nella sezione russa dell'esposizione. Benchè presentato in modo meno semplice, il sistema di distribuzione del *Gravier* si riduce a questo: una batteria centrale di macchine dinamo-elettriche, collegate in quantità allo scopo di presentare una minima resistenza, ed un sistema di tanti circuiti derivati quanti sono i ricettori che si vogliono attivare, attaccati tutti, questi circuiti derivati, a due grossi conduttori di resistenza trascurabile, uniti ai due poli delle macchine.

Questi due grossi conduttori, di resistenza trascurabile, formano, in questa disposizione, una semplice espansione dei poli dei generatori, destinata a portare in sito conveniente i punti d'attacco dei circuiti parziali; il *Gravier* li denomina *conduttori-serbatoi*.

L'unione dei circuiti parziali coi conduttori-serbatoi è fatta mediante un commutatore assai semplice, per mezzo del quale si possono introdurre o togliere dal sistema quanti si vogliono circuiti parziali. Il commutatore poi è disposto in modo che, quando si vuole togliere uno dei circuiti derivati, la rottura del circuito si fa in due punti: in un punto del filo di andata ed in un punto del filo di ritorno; ciò per diminuire le scintille di rottura.

Pei casi, nei quali non si possa installare la batteria dei generatori dinamo-elettrici in vicinanza del centro geometrico della distribuzione, il *Gravier* propone di collocare in questo centro un *recipiente di distribuzione* e di attaccare al medesimo, invece che ai poli degli elettro-motori, le estremità dei singoli circuiti parziali. I recipienti di distribuzione saranno, secondo il programma del *Gravier*, costituiti da pile secondarie di *Planté*, o più semplicemente da grandi masse metalliche comunicanti per mezzo di conduttori di resistenza trascurabile, coi due poli del generatore. Invece di un recipiente di distribuzione unico se ne possono, quando occorra, installare parecchi, ed a ciascun distributore primario si possono collegare, con grandi conduttori, distributori secondari.

Nei momenti di maggiore consumo di energia elettrica, può accadere che in qualche punto della rete si verifichi un abbassamento di potenziali tale da impedire il regolare lavoro dei ricettori. Allora è necessario che chi governa i generatori sia avvertito del fatto, onde potere con un aumento di velocità, o meglio con un aumento dell'intensità del campo magnetico, aumentare convenientemente la forza elettro-motrice. A questo uopo l'inventore ha ideato di far partire da quelle stazioni, nelle quali il difetto delle correnti è sentito più presto, un filo di ritorno il quale riporta allo stabilimento dei generatori una corrente ricavata dal punto debole. Questa corrente può dare, per mezzo di un galvanometro di *Marcel Deprez* o di altro apparecchio analogo, le indicazioni volute, dietro alle quali chi sorveglia le macchine si possa regolare. Pel caso poi che si volesse evitare il bisogno di un sorvegliante, il *Gravier* propone un regolatore automatico comandato direttamente dalla corrente di ritorno, al quale egli dà il nome di *regolatore di emissione*. È un'elettro-magnete inserita sul circuito della corrente di ritorno, l'armatura della quale, equilibrata quando la corrente di ritorno ha l'intensità normale, oscilla fra due contatti quando l'intensità della corrente di ritorno è superiore od inferiore al valore normale. Secondochè l'armatura si appoggia all'uno od all'altro dei due contatti, una corrente locale è mandata in un verso o nell'altro attraverso ad un piccolo motore elettrico. Così la spirale mobile di questo gira in un verso o nell'altro, secondochè la corrente di ritorno ha un'intensità maggiore o minore di quella che conviene. Il movimento poi di questa spirale è utilizzato, per mezzo di un ingranaggio a vite perpetua, a far variare l'intensità del campo magnetico.

Il sistema del *Gravier* meritava di essere descritto, siccome quello che rappresenta un primo passo fatto sulla via che deve condurre alla vera soluzione pratica del problema; la quale si deve cercare piuttosto che in congegni regolatori, in una ben intesa combinazione di circuiti. La descrizione però basta da sè sola a porre in evidenza i difetti del sistema e a dimostrarne l'insufficienza. Questa insufficienza è posta in evidenza dal semplice fatto che l'inventore ha creduto necessario di pensare ai punti deboli, alle correnti di ritorno, al regolatore di emissione. Tutto ciò riconduce ai sistemi a regolatore, di cui abbiamo parlato, ed inoltre ad una complicazione di organi delicati, nella pratica forse inammissibile. Inoltre la soluzione che

il sistema rappresenta, benchè non sia che approssimata, obbliga a rinunciare a due delle condizioni di economia che nelle trasmissioni dell'energia coll'elettricità sono essenziali. Esso obbliga a rinunciare all'impiego delle grandi forze elettro-motrici, giacchè è impossibile aver forze elettro-motrici considerevoli senza far grande la resistenza delle spirali delle macchine; esso obbliga poi a rinunciare all'impiego di linee di piccola resistenza, giacchè esso riposa tutto sull'ipotesi che la resistenza interna del generatore sia trascurabile a fronte di quelle dei circuiti esterni. Non è finalmente inutile notare che la distribuzione dei conduttori nella rete non è, con questo sistema, sempre la più comoda, o la più economica.

23. Il merito di avere trovato pel problema che ci interessa una soluzione teoricamente completa, e nel tempo stesso così semplice da non permettere alcun dubbio sulla sua attuabilità, appartiene al signor *Marcel Deprez*.

Il sistema proposto da questo elettricista non richiede l'impiego di alcun regolatore automatico, tranne quello che deve essere applicato alla macchina motrice per mantenere costante la velocità; esso non richiede che una disposizione appropriata delle spirali magnetizzanti dell'induttore della macchina generatrice, e può applicarsi in tutti i casi, con esattezza, qualunque sieno le resistenze della macchina generatrice e dei circuiti esterni; nella combinazione poi di questi circuiti permette due disposizioni diverse, le quali potranno bastare nella grande maggioranza dei casi. Colla sola condizione che la velocità della macchina generatrice sia mantenuta costantemente uguale ad un valore convenientemente determinato, e facile a trovarsi in ogni caso, la disposizione proposta dal *Deprez* fa sì che la corrente che anima uno qualunque degli apparecchi ricettori sia indipendente dalle variazioni che si verificano in tutti gli altri; la macchina generatrice, da sè, non per effetto di alcun apparecchio regolatore, ma in conseguenza delle leggi stesse da cui dipende la propagazione delle correnti elettriche nei conduttori, si regola in modo da dare in ogni istante quel tanto di energia elettrica di cui si ha bisogno, e non più di quanto abbisogna; la macchina dinamo-elettrica generatrice prende dal motore in ogni istante tutto il lavoro meccanico che è necessario, e non ne prende di più; non si ha in tutto il sistema alcuna resistenza destinata unicamente a moderare l'intensità della corrente, nella quale resistenza l'energia elettrica si trasformi inutilmente in

calore. Se non è temeraria la speranza di vedere un giorno fatta su vasta scala la distribuzione dell'energia per mezzo di correnti elettriche, l'invenzione del *M. Deprez* è destinata, nell'avvenire, a grandi applicazioni; e per questo motivo l'installazione del sistema, che era stata fatta nell'esposizione di Parigi, comunque imperfetta, e solo mediocrementemente riuscita, si può considerare come una delle cose più notevoli di quella mostra internazionale.

Il sistema di distribuzione proposto dal *Marcel Deprez* è semplicissimo; e si riduce alla applicazione di alcuni teoremi affatto elementari, relativi alle leggi delle correnti elettriche, combinati con risultati di note esperienze sulla produzione delle correnti nelle macchine dinamo-elettriche.

Il signor *Deprez* presenta i principi, su cui si basa il suo sistema, come conseguenza di quella che egli denomina *teoria grafica* delle macchine dinamo-elettriche; i medesimi però si possono ritrovare più facilmente senza bisogno di alcuna rappresentazione grafica, e, se io non erro, in un modo più diretto e quindi migliore.

Le disposizioni proposte dal *Deprez* per la distribuzione elettrica dell'energia sono due. Nella prima si diramano da un unico circuito principale, contenente la macchina dinamo-elettrica generatrice, tanti circuiti derivati quanti sono gli apparecchi ricettori ai quali l'energia si vuole distribuire; ciascun ricettore è collocato in un proprio circuito derivato. Nella seconda disposizione, invece, si ha un circuito unico, su cui sono installati tutti i ricettori; una medesima corrente anima tutti gli apparecchi. Col linguaggio dei pratici diremo: nel primo sistema i ricettori sono disposti in derivazione, nel secondo essi sono in tensione od in serie. I due casi vogliono essere studiati separatamente.

Io considero dapprima la disposizione in derivazione.

Se con F si rappresenta la differenza dei potenziali tra i due punti dai quali si diramano i vari circuiti derivati, e se si rappresentano colle lettere R ed e la resistenza di uno qualunque di questi circuiti e la forza elettro-motrice inversa prodotta dal ricettore situato su di esso, si sa che l'intensità I della corrente in questo circuito è data dalla formula.

$$R I = F - e.$$

Siccome in questa formula non figurano, oltre ad F , altre grandezze che dipendano dal numero e dalle condizioni degli

altri circuiti derivati e dei ricettori situati su di essi, così essa ci insegna, che acciocchè l'intensità I rimanga costante, comunque si faccia variare, il numero ed il modo di funzionare degli altri riceftori, è necessario e sufficiente che rimanga costante la differenza F dei potenziali nei due punti di diramazione.

Il problema da risolversi si riduce adunque a questo: trovare una disposizione per cui la differenza F dei potenziali nei due punti, nei quali sono fatte le derivazioni, sia costante. Diciamo E la forza elettro-motrice della macchina dinamo-elettrica ed i l'intensità della corrente principale; applichiamo poi la legge di Ohm al circuito principale, ossia al tratto di conduttore, di cui indichiamo con r la resistenza, che termina ai due punti di diramazione e che comprende la macchina generatrice; abbiamo

$$F = E - r i.$$

Questa uguaglianza, mostrandoci in qual modo la differenza di potenziali F dipenda dalla variabile i , intensità della corrente, ci permette di trovare il modo di renderla indipendente.

Se il campo magnetico fosse prodotto da una corrente data da una macchina eccitatrice distinta dalla macchina principale, E sarebbe indipendente da i ; l'equazione ci dimostra che in questo caso F diminuirebbe col crescere di i .

Se invece si adoperasse come corrente eccitatrice la corrente principale stessa, di cui l'intensità è rappresentata dalla lettera i , E crescerebbe con i . Si sa dalle esperienze, che se le elettro-magneti induttrici non sono prossime allo stato di saturazione, E è sensibilmente proporzionale ad i ; si sa pure che ciò si può ammettere, con sufficiente approssimazione, nei casi ordinari della pratica. Detta quindi k una costante, e rappresentato con n il numero dei giri fatti dalla spirale indotta in ogni minuto, si può scrivere $E = k n i$. La nostra equazione ci dà in questo caso

$$F = (k n - r) i,$$

e ci fa vedere che F cresce proporzionalmente ad i .

Se noi adunque combinassimo insieme i due modi di eccitazione, e producessimo il campo magnetico simultaneamente per mezzo di una corrente data da una eccitatrice indipendente, e per mezzo della corrente principale, potremmo, con un conveniente valore dato alla velocità, ottenere una differenza di potenziali F di valore costante.

Ciò pensò di fare il *Deprez*, ed in ciò consiste il suo sistema. Il *Deprez* propone di formare le spirali magnetizzanti dell'elettro-calamita induttrice per mezzo di due fili avvolti insieme, simultaneamente, e di inserire poi uno di questi nel circuito principale della macchina, e l'altro nel circuito di una macchina eccitatrice distinta. In questo modo si hanno due correnti eccitatrici: la corrente principale, che ha l'intensità i , e la corrente dell'eccitatrice indipendente, che ha un'altra intensità i' .

La prima di queste correnti produrrebbe, da sola, una forza elettro-motrice $kn i$; la seconda, similmente, produrrebbe da sola una forza elettro-motrice $kn i'$; le due correnti insieme producono quindi una forza elettro-motrice

$$E = kn(i + i').$$

Portando questo valore di E nell'espressione di F , otteniamo

$$F = (kn - r)i + kn i'.$$

Ora si vede che dando ad n il valore

$$n = \frac{r}{k},$$

il termine dipendente da i si annulla, ed il valore di F si riduce a

$$F = kn i' = r i'.$$

Questo valore non dipende da altro che dalla resistenza r e dalla intensità della corrente eccitatrice i' ; esso è assolutamente indipendente da tutte le variazioni che possono avvenire nel numero e nelle condizioni dei circuiti derivati. Per mantenere costante il valore di F basta mantenere costante l'intensità della corrente ausiliaria i' , e mantenere invariata la velocità della macchina.

Il problema è adunque completamente risolto: per avere nei due punti di derivazione una differenza di potenziali costante, e rendere con ciò indipendenti gli uni dagli altri i ricettori situati sui diversi circuiti derivati basta:

1.° Formare le spirali magnetizzanti delle elettro-magneti eccitatrici con due fili e far passare per l'uno la corrente principale, e per l'altro la corrente di una macchina eccitatrice indipendente.

2.° Fare sì che la spirale indotta ruoti con una velocità costante, e faccia in ogni minuto un numero di giri uguale ad

$$\frac{r}{k}.$$

3.° Mantenere costante l'intensità della corrente data dalla eccitatrice indipendente.

Questa soluzione del problema soddisfa alla condizione della massima economia. In ogni elemento di tempo la macchina dinamo-elettrica generatrice non produce che quella quantità di energia elettrica di cui si ha bisogno per alimentare i circuiti derivati che in quell'istante si trovano chiusi, e non assorbe del lavoro della macchina motrice più di quella parte che è strettamente necessaria per produrre quella quantità di energia. Se in un dato istante si sopprimono una o più derivazioni, la intensità della corrente principale, la quale è la somma di quelle delle correnti derivate, diminuisce di una quantità uguale alla somma delle intensità delle correnti sopresse, ed il lavoro consumato dalla generatrice, che vale Ei , diminuisce. Se una o più nuove derivazioni si vengono ad aggiungere, l'intensità della corrente principale cresce di una quantità uguale alla somma di quelle delle nuove correnti, ed il lavoro consumato dalla macchina dinamo-elettrica aumenta di quanto è necessario per soddisfare alle nuove esigenze.

Prima di passare alla seconda disposizione del sistema, è necessario che io insista sopra di una osservazione. La teoria che ho svolto riposa sopra l'ipotesi che tutte le derivazioni siano fatte nei due medesimi punti: nelle due estremità del circuito principale. Se le diramazioni delle correnti si facessero in diversi punti presi lungo i due reofori principali, la distribuzione delle correnti sarebbe più complicata, ed il sistema esposto riuscirebbe unicamente a rendere costante la differenza di potenziale nei due punti di derivazione più prossimi: il modo di dimostrazione che io ho seguito, essendo il più semplice ed il più diretto, lo mette in chiaro. Ora pare che questa circostanza sia sfuggita all'inventore del sistema, giacchè nella installazione che figurava all'esposizione, le prese delle correnti parziali erano fatte in diversi punti, a grandi distanze, lungo i due reofori principali. Se l'installazione fosse stata eseguita in modo da poter fare su di essa esperienze di qualche valore, egli è probabile che le conseguenze di tale falsa disposizione si sarebbero rese sensibili.

Vengo ora alla disposizione coi ricettori in serie sopra di un circuito unico.

In questo caso la condizione a cui si deve soddisfare, acciocchè i diversi ricettori situati lungo il circuito sieno indipendenti gli uni dagli altri, e non risentano alcun effetto dalla soppressione o dall'aggiunta di un numero qualunque di essi, è che l'intensità dell'unica corrente che li attraversa abbia un valore costante, indipendente dalla resistenza del circuito e dalle forze elettro-motrici che si producono negli apparecchi ricettori durante il lavoro. Il *Marcel Deprez* ha dimostrato, che anche questa condizione può essere soddisfatta, facendo la eccitazione della macchina dinamo-elettrica per mezzo di due correnti, prodotte l'una dalla macchina stessa e l'altra da una macchina eccitatrice indipendente. La sola differenza tra questo caso e quello della distribuzione per derivazione sta in ciò, che la prima corrente eccitatrice non deve più essere la corrente principale della macchina, ma una corrente derivata dalla medesima e presa sui due poli.

Io posso dimostrare questa proposizione in poche parole. Dico a, b, r le resistenze della spirale indotta, della spirale magnetizzante posta in derivazione sulla corrente principale, e del circuito esterno: i_a, i_b, I le intensità delle correnti rispettive, i' l'intensità della corrente eccitatrice indipendente, E la forza elettro-motrice della macchina generatrice, ed e la somma delle forze elettro-motrici inverse dovute agli apparecchi ricettori. Applicando i noti teoremi di Kirchhoff, ho le tre equazioni

$$I = i_a - i_b,$$

$$a i_a + r I = E - e,$$

$$r I - b i_b = -e.$$

Inoltre, detta k una costante, ed n il numero dei giri fatti dalla spirale indotta in ogni minuto, posso, come insegna l'esperienza, porre

$$E = k n (i_b + i').$$

Eliminando tra le quattro equazioni le tre incognite E, i_a, i_b , ottengo con facili riduzioni:

$$I = \frac{b k n i' - e(a + b - k n)}{r(a + b - k n) + a b}.$$

Ora quest'uguaglianza dimostra che se si dà alla macchina una velocità tale che sia

$$a + b - kn = 0,$$

ossia

$$n = \frac{a + b}{k},$$

il valore di I si riduce a

$$I = \frac{bkn i'}{ab} = \frac{a + b}{a} i',$$

e diventa indipendente tanto dalla resistenza r del circuito esterno, quanto dalle forze elettro-motrici che per effetto degli apparecchi ricettori si producono sul medesimo.

E questa è la condizione a cui si voleva soddisfare.

Dunque per rendere indipendenti tra di loro i ricettori collocati in serie su di un unico circuito si deve:

1.° Formare le spirali dell'induttore con due fili posti l'uno su di una derivazione presa ai due poli della macchina, l'altro nel circuito di una macchina eccitatrice indipendente.

2.° Mantenere costante l'intensità della corrente data dalla eccitatrice indipendente.

3.° Mantenere costante la velocità della spirale indotta, e procurare che essa faccia in ogni minuto un numero di giri uguale ad $\frac{a + b}{k}$.

Questa disposizione, come la precedente, soddisfa alla condizione della massima economia. Quando uno degli apparecchi ricettori viene arrestato, od è tolto dal circuito, diminuisce la intensità i_b della corrente derivata eccitatrice, diminuisce l'intensità del campo magnetico, diminuisce quindi il lavoro consumato dalla macchina dinamo-elettrica, ed il motore non deve somministrare più di quanto è necessario per tenere in azione i ricettori che rimangono attivi. Se invece un nuovo apparecchio ricettore si inserisce nel circuito, ed entra in azione, cresce l'intensità della corrente eccitatrice derivata, cresce l'intensità del campo magnetico, e la macchina, per conservare la sua velocità, deve assorbire un lavoro più grande.

Una osservazione è importante ed aggiunge bellezza a questa semplicissima soluzione del problema fondamentale di

ogni distribuzione elettrica. L'osservazione è che, colle notazioni di cui ci siamo serviti, $a + b$ rappresenta la somma delle resistenze della spirale indotta e di una delle spirali magnetizzanti dell'induttore; ora la medesima somma, nelle formole relative alla disposizione per derivazione era rappresentata da r . Quindi per una macchina, le cui spirali abbiano resistenze date, la velocità necessaria è la stessa nei due casi. Ciò permette di far servire una medesima macchina dinamo-elettrica, a piacimento, ad un sistema di distribuzione per derivazione, oppure ad un sistema con ricettori disposti per serie su di un unico circuito. Basta a quest'uopo munire la macchina di un semplice commutatore, per mezzo del quale si possa, a piacimento, inserire la spirale magnetizzante nel circuito principale, oppure metterla in derivazione. In tutti i casi, e qualunque sieno i circuiti esterni, qualunque sia la quantità di energia che si vuole trasmettere e distribuire, la velocità che bisogna dare alla spirale indotta è sempre la medesima; il numero di giri che la spirale deve compiere in ogni minuto è in tutti i casi uguale al quoziente della resistenza totale delle spirali indotte ed induttrici, divisa per la costante k .

La costante k , che bisogna conoscere per poter determinare il valore necessario della velocità, è quella per cui bisogna moltiplicare il prodotto dell'intensità della corrente eccitatrice pel numero di giri, onde ottenere il valore della forza elettromotrice corrispondente. Il valore di questa costante si può determinare facilmente per mezzo di alcune esperienze preventive, in ciascuna delle quali si misurino il numero di giri n , l'intensità della corrente eccitatrice data da una pila o da una macchina eccitatrice indipendente, e la forza elettromotrice ottenuta. Determinata una volta questa costante, e calcolato con essa il valore di n , questo varrà sempre, in tutte le applicazioni.

Nella teoria il sistema di distribuzione delle correnti proposto dal *Marcel Deprez* è completo e perfetto; e per la pratica esso ha il carattere prezioso di una grande semplicità, il quale costituisce la prima condizione per la buona riuscita. Io credo che basti il cenno, che ne ho dato, a giustificare l'asserzione colla quale ho cominciato, che per chi pensi alle possibili applicazioni che la corrente elettrica avrà in avvenire, come mezzo per la trasmissione e per la distribuzione dell'energia, l'invenzione del *Deprez* deve presentarsi come una delle cose più notevoli dell'esposizione.