

Ma poichè ho espresso questa opinione, ho anche il dovere di osservare che un giudizio sicuro e definitivo sul valore pratico dell'invenzione non sarebbe possibile oggidi. Si richiegono per darlo, risultati di esperienze serie fatte su scala sufficientemente grande e con apparecchi appositivamente costrutti e disposti in perfette condizioni. Tali non erano gli esperimenti che si sono fatti e che si sarebbero potuti fare cogli apparecchi provvisori che erano stati installati nel palazzo dell'esposizione.

PARTE SECONDA.

APPLICAZIONI DELL'ENERGIA ELETTRICA.

§ I.º TRASMISSIONE DEL LAVORO MECCANICO A DISTANZA.

Considerazioni generali. — Applicazioni speciali. Applicazione agli opifici: *Heilmann, Ducommun e Steinlen*. — Aratura elettrica: *Félix e Chrétien*. — Ferrovie elettriche: *Siemens ed Halske, Siemens frères, Chrétien*. — Vantaggi e difficoltà della trazione elettrica sulle ferrovie, casi in cui essa può essere conveniente. — Posta elettrica di *Werner Siemens*. — Applicazione della trasmissione elettrica alle perforatrici. — Applicazione agli apparecchi di ventilazione per locali abitati: *Géneste, Herscher et Comp.* — Sulla distribuzione dell'energia meccanica alla piccola industria.

24. Se nel circuito della corrente prodotta da una macchina dinamo-elettrica a corrente continua, tenuta in azione da una motrice, si inserisce un'altra macchina a corrente continua, questa, per effetto della corrente, si mette in movimento e restituisce sotto forma di energia meccanica una parte del lavoro speso. Così la corrente elettrica può essere adoperata come mezzo telo-dinamico, e l'esposizione di elettricità ci ha presentato esempi svariati delle applicazioni che si possono fare di questo principio.

Ma per renderci conto della importanza che possono avere nell'industria tali applicazioni, per giudicare della loro convenienza economica, e, se possibile, per prevedere il loro probabile avvenire, è necessario che, prima di esaminarle partitamente, noi entriamo in alcune considerazioni generali. Queste,

mentre ci ricorderanno le relazioni quantitative fra le varie grandezze che si hanno a considerare, ci condurranno ad alcune proposizioni, che, se io non m'illudo, possono gettare molta luce sulle condizioni economiche della applicazione.

Si abbiano due macchine dinamo-elettriche poste in un medesimo circuito; la prima delle quali, che diremo *generatrice*, sia tenuta in movimento da una macchina motrice, e la seconda, che diremo *ricettrice*, si muova per effetto della corrente e restituisca una parte del lavoro assorbito dalla prima. Diciamo poi:

L il lavoro meccanico assorbito in ogni minuto secondo dalla macchina generatrice, espresso prendendo per unità di misura il lavoro di dieci milioni di unità assolute (C, G, S);

L' il lavoro meccanico restituito dalla macchina ricettrice nel medesimo tempo, espresso colla medesima unità di misura;

Q il lavoro equivalente al calore svolto dalla corrente nel circuito, espresso nella medesima unità di misura;

R la resistenza totale del circuito, in ohm;

I l'intensità della corrente elettrica in ampère;

E la forza elettro-motrice della prima macchina, in volt;

E' la forza elettro-motrice inversa prodotta dalla ricettrice durante il movimento, pure espressa in volt.

Abbiamo pel principio dei lavori l'uguaglianza

$$L = L' + Q; \quad (1)$$

abbiamo inoltre le note relazioni:

$$L = EI, \quad L' = E'I, \quad Q = RI^2. \quad (2)$$

Portando nella (1) questi valori, otteniamo $E = E' + RI$, da cui ricaviamo

$$I = \frac{E - E'}{R}, \quad (3)$$

che è un'altra relazione nota: quella che esprime la legge di Ohm. Dividendo poi l'uno per l'altro i valori (2) di L' e di L , e dicendo k il valore del loro rapporto, abbiamo:

$$k = \frac{L'}{L} = \frac{E'}{E}; \quad (4)$$

k è il coefficiente di rendimento della trasmissione; la (4) ci insegna che questo coefficiente di rendimento è uguale al rapporto tra la forza elettro-motrice inversa prodotta dalla ricettrice

e la forza elettro-motrice diretta della macchina generatrice. Se le due macchine fossero identiche, come accade in molte delle applicazioni attuali, le loro forze elettro-motrici, per un medesimo valore della intensità della corrente, starebbero fra di loro semplicemente come le velocità, o, ciò che val lo stesso, come i numeri dei giri fatti in ogni minuto dalle spirali indotte delle due macchine; detti quindi n ed n' questi numeri di giri, si avrebbe

$$k = \frac{n'}{n}.$$

Portando nei valori (2) di L , di L' , e di Q in luogo di I , il suo valore (3), ed eliminando poi dalle espressioni così ottenute la forza elettro-motrice E' , per mezzo della (4), noi otteniamo i valori del lavoro speso L , del lavoro recuperato L' e del lavoro trasformato in calore nel circuito, espressi unicamente per mezzo della forza elettro-motrice E del generatore, della resistenza R del circuito e del coefficiente di rendimento k del sistema. Questi valori sono:

$$L = (1 - k) \frac{E^2}{R}, \quad (5)$$

$$L' = k(1 - k) \frac{E^2}{R}, \quad (6)$$

$$Q = (1 - k)^2 \frac{E^2}{R}. \quad (7)$$

Queste tre uguaglianze compendiano tutte le relazioni quantitative, di cui noi abbiamo bisogno per istudiare con rigore scientifico le condizioni meccaniche ed economiche delle trasmissioni telo-dinamiche fatte per mezzo di correnti elettriche.

Deduciamo da esse una prima conseguenza importante, che fu dimostrata già dal signor *Marcel Deprez*. Per valori dati di L , di L' e di Q , il valore di k ricavato da una qualunque delle (5), (6), (7) dipende unicamente dal valore di $\frac{E^2}{R}$: il coefficiente di rendimento rimane lo stesso, qualunque sia la resistenza R del circuito, qualunque sia la distanza fra le due macchine generatrice e ricettrice, qualunque sia il diametro e la natura del filo o della gomina che le riunisce, a questa sola

condizione: che a seconda dei diversi valori della resistenza R si diano anche alla forza elettro-motrice E valori diversi, tali che il quoziente $\frac{E^2}{R}$ rimanga costante. In altri termini: in una trasmissione di forza motrice fatta per mezzo dell'elettricità si può ottenere un coefficiente di rendimento costante, indipendente dalla lunghezza della trasmissione e dalle dimensioni del conduttore; basta, a quest'uopo, far variare la forza elettro-motrice della macchina generatrice nella ragione diretta della radice quadrata della resistenza del circuito.

Siccome è $k = \frac{E'}{E}$, così per k costante la forza elettro-motrice E' della macchina riceitrice deve variare nel medesimo rapporto in cui varia la forza elettro-motrice E della macchina generatrice; entrambe le forze elettro-motrici debbono variare nella ragione diretta della radice quadrata della resistenza totale.

Il valore che si può dare nella pratica alla resistenza del circuito di una trasmissione di rendimento prescelto è limitato oggidi unicamente dalla limitata forza elettro-motrice delle macchine attuali, e dalla difficoltà dell'isolamento, la quale cresce col crescere delle forze elettro-motrici.

Sia r la somma delle resistenze interne delle due macchine generatrice e riceitrice; la resistenza esterna, ossia la resistenza del filo o delle gomene con cui le due macchine sono riunite insieme, sarà $R - r$. Dato il valore k che si vuole che abbia il coefficiente di rendimento, data la grandezza L' del lavoro che si vuole ottenere trasmesso, e che dev'essere prodotto dalla riceitrice, data finalmente la forza elettro-motrice E della macchina generatrice della quale si vuole far uso, questa resistenza $R - r$ si può facilmente calcolare.

La (6) dà infatti

$$R = k(1 - k) \frac{E^2}{L'};$$

e quindi

$$R - r = k(1 - k) \frac{E^2}{L'} - r. \quad (8)$$

Siccome la resistenza dei conduttori esterni non può essere nè nulla, nè negativa, così questa equazione ci determina due

limiti fra cui k deve essere compreso: sono i due valori di k che soddisfanno all'equazione

$$k(1-k) \frac{E^2}{L'} - r = 0,$$

ed hanno i valori

$$\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{rL'}{E^2}} \text{ ed } \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{rL'}{E^2}}.$$

Se si potesse fare $r = 0$, i due limiti diventerebbero uguali ad *uno* ed a *zero*: il coefficiente di rendimento potrebbe allora avere tutti i valori immaginabili. Ma col crescere della resistenza interna r delle due macchine, i due limiti si accostano l'uno all'altro; per

$$r = \frac{E^2}{4L'},$$

essi diventano uguali tra di loro, ed uguali entrambi a $\frac{1}{2}$; questo allora è il solo valore possibile del coefficiente di rendimento. Se poi fosse

$$r > \frac{E^2}{4L'},$$

i valori dei due limiti diventerebbero immaginari, e ciò significa che allora non sarebbe possibile trasmettere un lavoro uguale ad L' , ma soltanto lavori minori.

Dalle precedenti considerazioni risulta, che, proporzionando convenientemente le diverse parti del sistema, si possono ottenere tutti gli infiniti coefficienti di rendimento che sono compresi fra due limiti determinati dalla resistenza interna delle due macchine dinamo-elettriche, limiti che per piccoli valori di questa resistenza possono essere assai lontani l'uno dall'altro. Quando si avesse a fare un progetto, si potrebbe scegliere fra quei limiti il valore che si vuol dare al coefficiente di rendimento, e calcolare in conseguenza tutte le parti dell'apparecchio. Ora si presenta la domanda: fra tutti i valori possibili del coefficiente di rendimento qual'è il più conveniente? È questa la questione più importante che ci si possa presentare; ed è indispensabile averla esaminata, se si vuole poter giudicare della importanza industriale delle trasmissioni elettriche della forza,

importanza che dipende principalmente dalle condizioni di economia nelle quali le trasmissioni si possono effettuare.

Per dare una risposta a questa questione, mettiamoci nel caso più importante della pratica. Si voglia trasmettere ad un dato luogo un lavoro L' determinato, adoperando a quest'uopo un motore da installarsi in un altro luogo dato, al quale noi daremo la potenza necessaria, e col quale metteremo in azione una macchina dinamo-elettrica generatrice di data forza elettromotrice E e di data resistenza interna $\frac{r}{2}$. Se queste due grandezze E ed $\frac{r}{2}$, invece di esserci date fossero lasciate alla

nostra scelta, noi daremmo loro i valori più convenienti per la economia, che sono per E il massimo possibile, avuto riguardo alla costruzione della macchina ed all'isolamento della linea, e per r il minimo praticabile; dopo di che, le considereremmo come date. Con questi dati si voglia determinare il valore più conveniente del coefficiente di rendimento k , per calcolare poi in base a questo tutte le parti del sistema.

Per determinare il valore più conveniente del coefficiente di rendimento, bisogna prendere in considerazione le condizioni di economia. Il valore più conveniente di k è quello per cui il costo del lavoro L' , dato nel luogo voluto, riesce il minimo.

Ora il costo del lavoro L' , somministrato dal sistema che si vuole installare, si compone di tre parti, che sono:

1.° Il costo del lavoro motore, che si spende per attivare la macchina generatrice. Questo costo, nel caso di una motrice idraulica, si riduce al salario del sorvegliante, riferito all'unità di tempo, ed all'olio per la lubrificazione; nel caso di una motrice a vapore esso comprende inoltre il prezzo del combustibile consumato.

2.° La quota d'interesse e di ammortizzazione del capitale impiegato nell'impianto del motore e delle macchine, riferita all'unità attuale di tempo, ossia al minuto secondo; e la quota, riferita alla medesima unità di tempo, delle spese di manutenzione e di riparazione degli apparecchi nominati.

3.° La quota d'interesse e di ammortizzazione pel capitale impiegato nella provvista e nella collocazione delle gomene metalliche congiungenti la macchina generatrice colla ricettrice; riferita, questa quota, alla medesima unità di tempo.

La condizione a cui bisogna cercare di soddisfare, nello studio di un progetto, è che la somma di queste tre spese sia la minima possibile.

Ora tutte tre queste spese dipendono dal valore che si dà al coefficiente k di rendimento:

1.° Il costo del lavoro motore, per ogni unità di tempo, cresce col crescere della grandezza di questo lavoro; se noi rappresentiamo con $F(L)$ questa prima parte del costo, possiamo dire che $F(L)$ è una funzione crescente del lavoro L . Ora abbiamo $L = \frac{L'}{k}$; e quindi il costo del lavoro motore è $F\left(\frac{L'}{k}\right)$. Se L' ha un valore costante dato, $F\left(\frac{L'}{k}\right)$ cresce col diminuire di k , diminuisce col crescere di k .

2.° Il costo di impianto della motrice e delle macchine cresce col crescere del lavoro L che esse debbono produrre e trasformare; e siccome L vale $\frac{L'}{k}$ ed è inversamente proporzionale a k , così quel costo diminuisce col crescere di k . La quota d'interesse e di ammortizzazione, che gli corrisponde, si può adunque rappresentare con $f\left(\frac{L'}{k}\right)$ essendo f il simbolo di una funzione crescente di $\frac{L'}{k}$ e quindi decrescente di k .

3.° Le dimensioni ed in conseguenza il prezzo delle gomene conduttrici congiungenti le due macchine dipendono dalla resistenza $R - r$ che esse debbono presentare, e quindi dal coefficiente di rendimento, che, come vedemmo, è legato a queste resistenze. Diciamo l la lunghezza delle gomene necessarie per formare il circuito, espressa in centimetri; rappresentiamo con c il coefficiente di conduttività del metallo con cui son fatte le gomene, riferito al centimetro ed all'ohm; e rappresentiamo con s la sezione trasversale delle gomene espressa in centimetri quadrati; abbiamo

$$R - r = \frac{l}{cs},$$

e quindi

$$s = \frac{l}{c(R - r)}.$$

Il volume delle gomene vale adunque

$$s \bar{l} = \frac{1}{c} \frac{I^2}{R-r}$$

centimetri cubi; e se diciamo b l'ammontare dell'interesse e dell'ammortizzazione del valore di un centimetro cubo del conduttore, l'ammortamento e l'interesse del valore totale delle gomene risulta uguale a

$$\frac{b}{c} \frac{I^2}{R-r}$$

Se in questa espressione poniamo, in luogo di $R-r$, il suo valore (8), otteniamo

$$\frac{b}{c} \frac{I^2}{k(1-k) \frac{E^2}{L'} - r}$$

Questa espressione ci fa vedere come varii quest'ultima parte del costo del lavoro col variare del valore del coefficiente di rendimento k . L'espressione prende un valore infinitamente grande quando il coefficiente di rendimento k ha l'uno o l'altro dei due valori limiti, di cui abbiamo parlato, valori per cui il denominatore della formola va a zero. Per un determinato valore di k compreso fra questi limiti l'espressione prende un valore minimo. Il valore di k , a cui corrisponde questo valore minimo della spesa pel conduttore, è quello che rende massimo il denominatore, e siccome in questo denominatore k è la sola variabile, così il valore che lo rende massimo è quello per cui è massimo il prodotto $k(1-k)$, ossia è $k = \frac{1}{2}$.

Ora possiamo concludere: La quantità da rendersi minima è la somma

$$F\left(\frac{L'}{k}\right) + f\left(\frac{L'}{k}\right) + \frac{b}{c} \frac{I^2}{k(1-k) \frac{E^2}{L'} - r},$$

la derivata della quale, rispetto a k , deve perciò essere uguale a zero. Ma i due primi termini, che diminuiscono col crescere di k , hanno derivate negative; perciò l'ultimo deve avere una derivata positiva. Ora l'ultimo termine, che ha un *minimum* per

$k = \frac{1}{2}$, ha la derivata positiva solamente per $k > \frac{1}{2}$; dunque il valore di k che rende minima la somma è maggiore di $\frac{1}{2}$. Il valore più conveniente da scegliersi pel coefficiente di rendimento non si può determinare esattamente se non ne' diversi casi particolari, in cui si conoscano le spese di impianto delle macchine ed il prezzo del lavoro motore; ma fin d'ora, ed in modo affatto generale, possiamo affermare questa importante proposizione:

Il valore del coefficiente di rendimento di una trasmissione di lavoro meccanico per mezzo della elettricità, pel quale si ha la massima economia nelle spese, è sempre maggiore di $\frac{1}{2}$.

La quantità, di cui, per condurre alla massima economia, il coefficiente di rendimento deve superare il valore $\frac{1}{2}$, è diversa nei diversi casi speciali. Essa ha valori più grandi in tutti quei casi ove i due primi termini della somma precedente hanno valori elevati ed è, in confronto con essi, piccolo il terzo termine; ha invece valori più piccoli ogni qualvolta hanno piccoli valori i due primi termini e rispetto ad essi ha un valor considerevole l'ultimo termine.

Così, per esempio, se si tratta del caso in cui si abbia un motore idraulico, il primo termine è piccolissimo; e se per la buona condizione della località la spesa d'impianto del motore riesce moderata, può dirsi che anche il secondo termine prende un valore non grande a fronte del terzo; allora il valore conveniente del coefficiente di rendimento sarà poco superiore a 0,50. Ciò accadrà con maggior ragione nei casi in cui i motori sieno molto potenti, giacchè allora il prezzo d'impianto ed il costo del lavoro varieranno più lentamente col variare di L , ossia di k ; le derivate delle funzioni F ed f avranno piccoli valori numerici.

Se invece si hanno motori a vapore, il primo termine della somma è assai maggiore che nel caso precedente, ed a parità di altre circostanze conviene adottare un coefficiente di rendimento più grande.

In ogni caso, l'importanza del terzo termine della somma cresce col quadrato della lunghezza l del conduttore; quindi il valore conveniente pel coefficiente di rendimento è tanto più

prossimo al minimo $\frac{1}{2}$, quanto più quella lunghezza è grande.

La natura del metallo adoperato per la costruzione del conduttore influisce sul valore di $\frac{b}{c}$, e quindi, indirettamente, su k . Se paragoniamo, a questo riguardo, il rame col ferro, troviamo che mentre i prezzi di volumi uguali di rame in fili e di ferro pure in fili stanno fra di loro approssimativamente come 4,5 sta ad uno, il coefficiente c di conduttività del rame vale circa il sestuplo di quello del ferro, e quindi il valore di $\frac{b}{c}$ pel rame equivale soltanto a $\frac{75}{100}$ di quello che si ha pel ferro. In conseguenza di ciò, il valore più conveniente del coefficiente di rendimento è maggiore quando si adoperano conduttori di rame, che non quando si fa uso di conduttori di ferro. La differenza però non è di grande momento.

Dato il coefficiente di rendimento k , la formola (8) determina il valore che bisogna dare alla resistenza $R - r$ del conduttore esterno, che collega le due macchine; quindi dal valore più conveniente di k possiamo dedurre il valore più conveniente di quella resistenza. Per $k = \frac{1}{2}$ la (8) dà

$$R - r = \frac{E^2}{4L'} - r,$$

e per $k > \frac{1}{2}$, essa dà

$$R - r < \frac{E^2}{4L'} - r.$$

Dunque noi impariamo, che, affinchè sia soddisfatta la condizione della massima economia, la resistenza delle gomene, o dei fili, o delle sbarre congiungenti la macchina generatrice colla ricettrice deve essere minore di

$$\frac{E^2}{4L'} - r. \quad (9)$$

Le proposizioni, a cui ci condussero le considerazioni generali, che precedono, ci permettono di renderci conto del valore

pratico che possono avere oggidi e nell'avvenire le trasmissioni elettriche dell'energia meccanica.

In primo luogo risulta dalle nostre considerazioni, che adoperando la corrente elettrica, come mezzo telo dinamico, è possibile ottenere un coefficiente di rendimento assai grande, al quale, proporzionando convenientemente gli apparecchi ed i conduttori, si può dare il valore che si vuole, entro limiti estesi. Il valore del coefficiente di rendimento è, nella pratica, limitato piuttosto che da ragioni tecniche, da ragioni di economia. Aumentando infatti il coefficiente di rendimento si diminuiscono bensì le spese di impianto delle macchine e dei motori, e le spese correnti per la produzione del lavoro motore, ma si aumentano le spese pel conduttore fra le due stazioni. Esiste adunque in ogni caso un valore determinato del coefficiente di rendimento, pel quale la somma di tutte le spese si riduce ad un *minimum*.

Il valore del coefficiente di rendimento, a cui corrisponde questo *minimum* di spesa, ed a cui bisognerà attenersi, in generale, nelle applicazioni pratiche, è sempre superiore a $\frac{1}{2}$. Or bene, si sa che un coefficiente di rendimento uguale a $\frac{1}{2}$ non è sempre ottenibile nelle trasmissioni di forza motrice fatte per mezzo dell'aria compressa; considerate adunque dal punto di vista meccanico queste ultime sono meno convenienti di quelle che si possono fare per mezzo dell'elettricità.

Per tutte le altre specie di trasmissioni telo-dinamiche la frazione del lavoro speso, la quale viene consumata per istrada dalle resistenze passive, e trasformata inutilmente in calore, cresce necessariamente colla distanza; per le trasmissioni elettriche invece è possibile far sì che, qualunque sia la distanza, la quantità di energia trasformata in calore lungo la linea rimanga sempre la stessa, e che quindi l'effetto utile conservi il medesimo valore a tutte le distanze. Ciò si ottiene senza bisogno di aumentare in modo impraticabile le dimensioni dei conduttori; si ottiene semplicemente modificando, a seconda delle distanze, la forza elettro-motrice delle macchine generatrici e delle ricettrici. La distanza alla quale, con un determinato coefficiente di rendimento, e con un filo metallico di diametro determinato, è possibile trasportare una determinata potenza motrice, è limitata unicamente dalla difficoltà pratica di ottenere, e conser-

vare senza disperdimenti, differenze di potenziali superiori ad un certo limite; e questa difficoltà è suscettibile di diminuire col tempo.

Fin d'ora le trasmissioni elettriche dell'energia meccanica ci si presentano come le più adatte per superare le grandi distanze; e fin d'ora, in base a considerazioni teoriche rigorose, e coll'appoggio di dati sperimentali noi possiamo prevedere, pei casi delle grandi distanze, applicazioni grandiose.

Questa è la prima conseguenza che scaturisce dall'esame generale che abbiamo fatto della questione. Una seconda conseguenza è che i risultati, di cui abbiamo parlato, si possono ottenere con installazioni perfettamente pratiche, e soprattutto senza bisogno di adoperare conduttori di dimensioni imbarazzanti e costose. Noi abbiamo nella espressione (9) il valore massimo che può convenire di dare alla resistenza del filo di linea ed abbiamo nella formola (8) il modo di calcolare la resistenza che bisogna dare al filo di linea per avere un coefficiente di rendimento k di determinato valore. Possiamo servirci di questa formola per calcolare le dimensioni di un conduttore destinato alla trasmissione di un dato lavoro meccanico fra due stazioni: qualche esempio di questo calcolo ci riuscirà molto istruttivo.

Perchè l'esempio sia pratico, io suppongo di volere adoperare, per trasportare il lavoro a distanza, due macchine dinamoelettriche di un tipo attualmente esistente. Suppongo di voler adoperare come generatrice e come ricettrice due macchine del tipo *Brush*, del quale ho parlato nel primo paragrafo di questa relazione. Suppongo che le due macchine, identiche tra di loro, sieno del modello più grande fra quelli che la *Anglo-American Brush Electric Light Corporation* costruisce. Queste macchine, destinate ad alimentare 40 lampade elettriche ad arco voltaico poste in serie su di un medesimo circuito, consumano, come ho detto, nelle condizioni normali, 36 cavalli-vapore, hanno una forza elettro-motrice uguale a 2200 volt, e presentano una resistenza interna uguale a 23 ohm. Assumo poi un coefficiente di rendimento uguale a 0,6, ossia suppongo che mentre la macchina generatrice prende dal motore un lavoro di 36 cavalli, la macchina ricettrice riproduca il lavoro di $36 \times 0,6$ ossia di 21,6 cavalli-vapore. Con questi dati posso calcolare $R - r$ per mezzo della formola (8); basta che io ponga in essa

$$E = 2200, \quad r = 2 \times 23 = 46,$$

$$L' = 21,6 \times 75 \times 9,81 = 15892,$$

$$k = 0,60,$$

Trovo così: $R - r = 27$ ohm.

Supponiamo che si voglia adoperare come conduttore un filo di ferro del diametro di 4 millimetri, come quello con cui si sogliono costruire le linee telegrafiche ordinarie e che dicesi *normale*. Un tale filo presenta una resistenza di circa un ohm per ogni 120 metri di lunghezza; quindi per avere una resistenza di 27 ohm esso dovrebbe avere la lunghezza di circa 3200 metri. Se supponiamo che si abbia un filo di andata ed un filo di ritorno, noi possiamo concludere, che adoperando le macchine *Brush* come generatrici e come ricettrici, ed impiegando per congiungere le due macchine un semplice filo telegrafico ordinario del diametro di 4 millimetri, si possono mandare ad una distanza di 1600 metri più di 21 cavalli-vapore, spendendone 36, con un rendimento del 60 per cento.

Se invece di voler ottenere un rendimento uguale a 0,60, si volesse soltanto un rendimento uguale a 0,50, il filo telegrafico adoperato come conduttore potrebbe avere una lunghezza di metri 5400, e le due stazioni, anche adoperando il filo di ritorno, potrebbero distare l'una dall'altra 2700 metri.

Se poi invece di adoperare un filo di ferro, si avesse ricorso ad un filo di rame di ugual diametro, si potrebbe avere il rendimento 0,60 con una lunghezza di oltre a 19 chilometri di filo, ed un rendimento 0,50 con una lunghezza di filo uguale a più di 32 chilometri.

Se finalmente, invece di adoperare macchine di *Brush* quali attualmente sono costrutte, noi avessimo supposto di fare uso di macchine speciali costrutte in modo da ottenere una forza elettro-motrice più grande; se, per esempio, noi avessimo supposto di aver costruito le macchine colle dimensioni attuali, ma con fili più piccoli e più lunghi, noi avremmo potuto arrivare a numeri anche più soddisfacenti. Se, per esempio, avessimo ritenuto possibile costruire due macchine aventi una forza elettro-motrice uguale al triplo di quella delle macchine *Brush*, con una resistenza interna uguale eziandio al triplo di quella delle macchine attuali, avremmo trovato che con un coefficiente di rendimento uguale a 0,60 si possono ottenere sull'albero delle ricettrici 21,6 cavalli-vapore con un circuito fatto con filo telegrafico di ferro del diametro di 4 millimetri e della lunghezza di oltre 60 chilometri.

Così le semplici considerazioni generali da cui siamo partiti ci hanno condotto alla convinzione che la trasmissione della

forza motrice per mezzo dell'elettricità non solo può ricevere nel campo industriale importantissime applicazioni, ma può diventare inoltre, in molti casi, di una attuazione semplice, economica e comodissima. Dalle medesime considerazioni generali deduciamo ancora un'ultima conseguenza. E questa si riferisce all'indirizzo che gli inventori ed i fabbricanti dovranno dare alle loro ricerche per migliorare le macchine d'induzione destinate al trasporto dell'energia meccanica.

Risulta in primo luogo dalle nostre considerazioni, che, per ottenere nelle trasmissioni un buon coefficiente di rendimento, bisogna adoperare grandi forze elettro-motrici; dalla formola (5) si ha infatti

$$k = 1 - \frac{L R}{E^2},$$

e questo valore, per dati valori del lavoro L , che si spende, e della resistenza totale R del circuito, si accosta tanto più all'unità quanto più grande è la forza elettro-motrice E .

Risulta in secondo luogo che per economizzare il metallo nella costruzione del conduttore che deve congiungere le due macchine generatrice e ricettrice, bisogna similmente dare elevati valori alle forze elettro-motrici, e piccoli valori alle resistenze interne. Questo è dimostrato dall'espressione

$$\frac{b}{c} \frac{l^2}{k(1-k) \frac{E^2}{L'} - r}$$

della spesa relativa al conduttore, ed è inoltre posto in evidenza dai calcoli numerici fatti poc' anzi. La cosa apparirà anche più chiara se porremo in confronto, coi risultati dei calcoli precedenti, quelli a cui si arriva quando si consideri una trasmissione fatta con macchine di minori forze elettro-motrici. Si abbiano per esempio due macchine *Gramme* del tipo *C* identiche a quella che servì alle note esperienze di Chatam. Per una di queste macchine la forza elettro-motrice è di 69,9 volt, il lavoro consumato quando la macchina funziona come generatrice nelle circostanze normali è di 579 chilogrammetri per minuto secondo, ossia 7,7 cavalli-vapore, e la resistenza interna è, in tutto, uguale a 0,21 ohm. Dando al coefficiente di rendimento il valore minimo $\frac{1}{2}$, si avranno sull'albero della ricettrice

289 chilogrammetri al minuto secondo, ossia si avrà $L' = 289 \times 9,81$. Se poniamo nella espressione (9) della resistenza da darsi al conduttore esterno in luogo di L' questo suo valore, ed in luogo di E e di r , rispettivamente i valori $E = 69,9$ ed $r = 2 \times 0,21 = 0,42$, troviamo per la resistenza della linea il valore di 3,80 ohm. Questa resistenza, che è la massima ammissibile nel caso attuale, è quella che presenterebbe un filo telegrafico normale della lunghezza di appena 456 metri. Mentre adunque con due macchine *Brush* si possono trasportare sull'albero della ricettrice, con un rendimento del 60 per cento, con un filo telegrafico lungo 3200 metri, più di 21 cavalli, con due macchine *Gramme* del tipo considerato si possono trasportare appena cavalli 3,85 con un rendimento uguale solamente al 50 per cento, e con un circuito di filo telegrafico lungo appena 456 metri. Se si volesse, con sistemi di macchine come queste riunite in quantità, in modo di avere una forza elettro-motrice semplicemente uguale a 69,9, ed una resistenza interna uguale a quella di una macchina semplice divisa pel numero delle macchine, ottenere come nel caso delle macchine *Brush* un lavoro effettivo di 21,6 cavalli sull'albero della ricettrice, con un rendimento del 60 per cento, si dovrebbero riunire le macchine generatrici alle ricettrici con un conduttore avente una resistenza uguale appena a 0,014 ohm. E se questo conduttore dovesse avere la lunghezza di 3200 metri come nel caso considerato delle macchine *Brush*, esso dovrebbe avere, se di ferro un diametro di 176 millimetri, e di 72 millimetri se di rame. Un risultato molto migliore avremmo ottenuto supponendo le macchine collegate tra di loro in tensione.

Questo esempio, oltre al servire alla questione di cui ci occupiamo attualmente, è molto istruttivo a riguardo del sistema di distribuzione del *Gravier*, il quale, come abbiamo veduto, richiede l'uso di macchine d'induzione disposte in quantità.

25. Ho considerato fin qui l'impiego della elettricità nella trasmissione a distanza dell'energia meccanica dal punto di vista più generale; ed ho avuto in mira le applicazioni grandiose che forse ne vedremo nell'avvenire. Questo io doveva fare per due motivi: in primo luogo perchè le installazioni che si ammiravano nel palazzo dell'esposizione e la rapidità dei progressi che l'esposizione ci ha mostrato relativamente alla costruzione degli apparecchi sono tali da forzarci a credere quell'avvenire certo e vicino; in secondo luogo perchè se v'ha alcuno che debba vagheggiare un tale avvenire, questi siamo noi, i quali,

se esso si verificherà, potremo supplire in parte colla energia dei nostri torrenti quella che il nostro suolo non tiene accumulata nei banchi di litantrace. Ma indipendentemente dalle applicazioni vaste e generali, di cui abbiamo parlato, la corrente elettrica, considerata come mezzo telo-dinamico, può fin d'ora trovare un utile impiego in parecchi casi speciali; ed a questo riguardo l'esposizione di Parigi ci ha offerto interessanti oggetti di studio.

Nella sezione tedesca dell'esposizione i signori *Heilmann, Ducommun e Steinlen* noti fabbricanti di macchine di *Mühlhausen* nell'Alsazia, avevano installato un piccolo, ma completo, opificio meccanico, ove parecchie macchine-utensili come pialle, trapani, limatrici, ecc., lavoravano mosse da due piccole macchine di *Gramme*, del tipo comunemente adoperato per la illuminazione. Le due macchine di *Gramme* erano animate dalle correnti elettriche prodotte da due altre macchine identiche, situate a distanza ed attivate, insieme ad altre, da una motrice a vapore. Le macchine generatrici consumavano ciascuna circa tre cavalli di potenza motrice e le macchine ricettrici riproducevano ciascuna, utilizzabile sul loro albero, il lavoro di un cavallo e mezzo. Durante la sera il piccolo opificio era illuminato da lampade *Swan* alimentate da altre macchine dinamo-elettriche. Questa installazione non presentava alcuna applicazione di principi nuovi; ma era accuratissima, e come tale metteva in evidenza, nel modo migliore, diversi vantaggi che la trasmissione elettrica del lavoro potrebbe presentare anche solo applicata a distribuire in uno stabilimento industriale il lavoro del motore. In causa della distribuzione dei locali potrà darsi che ad alcune parti di uno stabilimento industriale non si possa trasmettere il movimento, coi mezzi ordinari, senza una perdita di effetto utile paragonabile a quella, a cui darebbe luogo la trasmissione elettrica. Ebbene in questo caso può darsi che l'impiego dell'elettricità sia preferibile ai soliti mezzi di trasmissione. La trasmissione elettrica evita i traballamenti dell'edificio; è più pronta di qualunque altra perchè in essa sono minime le masse in moto; si interrompe e si ristabilisce col semplice giuoco di un commutatore; permette di dividere il lavoro fra diversi ricettori destinati ciascuno ad una sola macchina o ad un gruppo di un piccolo numero di macchine, rendendole così fra loro indipendenti; nei casi ove occorran grandi velocità assicura una maggiore uniformità nei movimenti; non produce rumori; è

scevera di pericoli. Se poi nella notte si fa la illuminazione con apparecchi elettrici, la spesa della installazione può essere diminuita ed i vantaggi accresciuti. A tutto questo s'aggiunga che in alcuni casi l'installazione elettrica può costare meno di quella di una ordinaria trasmissione.

26. Ma più che nei casi di opifici ordinari ove i diversi lavori si compiono in un unico edificio od in pochi edifici situati a brevi distanze gli uni dagli altri, l'impiego delle correnti elettriche quali mezzi di trasmissione si presenta spontaneamente col carattere di una convenienza evidente, quando si tratti di industrie in cui i diversi lavori si debbono fare in luoghi lontani e variabili. Sono in questo caso alcuni rami delle industrie agricole. Per ragioni che si connettono alle condizioni della nostra agricoltura, ragioni delle quali non è compito nostro nè di nostra competenza discorrere, le applicazioni dell'elettricità ai lavori agricoli non possono avere oggidì, nè forse avranno molto presto una grande importanza nel nostro paese; ma, nella storia delle applicazioni della corrente elettrica alla trasmissione dell'energia meccanica, esse occupano un posto notevole, e presentano un tale interesse, che non possiamo lasciare inosservata la parte della esposizione di elettricità ad essa dedicata.

È nota l'estensione e l'importanza che l'aratura meccanica, od a vapore, ha acquistato oggidì in alcuni paesi; ebbene, egli è probabile che in molti casi all'aratura a vapore, oggi in uso, si possa sostituire con vantaggio l'aratura elettrica. I più diffusi sistemi d'aratura a vapore attualmente in uso richiedono l'impiego di locomotive stradali e di tamburi sui quali s'avvolge una fune metallica rimorchiante un aratro a vomeri multipli. Questi meccanismi sono molto costosi e richiedono nella condotta e nella manutenzione riguardi speciali, difficili ad aversi in uno stabilimento agricolo; il loro peso è grandissimo, e la manovra loro riesce difficile soprattutto in tempo di piogge; finalmente essi oltre al richiedere, per la natura delle motrici di cui si valgono, un notevole consumo di combustibile, necessitano un approvvigionamento d'acqua durante il lavoro, il quale, in alcune circostanze, può riuscire assai imbarazzante e molto costoso. Si sa che talora l'acqua costa più che il carbone.

Per mezzo dell'elettricità tutti questi inconvenienti si possono evitare. L'apparecchio per l'aratura elettrica si compone essenzialmente di due macchine dinamo-elettriche, che, attivate alternativamente da una medesima corrente, mettono in moto

in versi opposti i due tamburi su cui si avvolge la fune metallica rimorchiante l'aratro. Le due macchine sono portate da due carri identici, i quali, durante il lavoro, debbono essere collocati ai due lati del terreno da lavorarsi, alle due estremità dei solchi che si vogliono eseguire. Le macchine dinamo-elettriche servono eziandio a mettere in moto le ruote portanti dei carri onde farli avanzare perpendicolarmente alla direzione dei solchi, di mano in mano che questi vengono eseguiti. Il semplice giuoco di un commutatore permette di invertire il verso del movimento dell'aratro; un altro commutatore permette di porre in moto a piacimento i cilindri rimorchiatori, oppure i carri che portano tutto il meccanismo. L'apparecchio elettrico completo pesa assai meno di quello a vapore, due tonnellate invece di diciotto, quindi si maneggia più comodamente; in esso tutto il governo può essere affidato a tre sole persone; in esso finalmente non si ha la spesa e l'imbarazzo dell'approvvigionamento del combustibile e dell'acqua. Benchè la trasmissione elettrica del lavoro dall'edificio centrale, ove è il motore, fino alle macchine lavoratrici che sono nel campo, consumi circa la metà del lavoro speso, può tuttavia aversi un'economia rispetto all'impiego dei sistemi a vapore. L'economia risulta dal rendimento delle macchine motrici, il quale per le macchine fisse di grande potenza può essere tanto più grande di quello delle locomotive stradali da compensare quella perdita. L'economia poi è evidente e grande, se nello stabilimento centrale il lavoro è somministrato da una motrice idraulica.

Ai vantaggi enumerati se ne aggiunge ordinariamente un altro, che in alcuni casi speciali può essere il più importante. Alludo al vantaggio di potere, in grazia della trasmissione elettrica, adoperare per tutti i lavori agricoli, i quali si compiono durante la più gran parte dell'anno, la forza motrice che si ha disponibile nello stabilimento centrale e di cui, senza di ciò, non si trarrebbe partito se non per un breve periodo dell'annata.

Fu quest'ultima considerazione quella che, più d'ogni altra, suggerì l'idea dell'aratura elettrica. L'idea è dovuta ai signori *Chretien* e *Felix*, ingegneri francesi, noti nel campo industriale, e ad essi fu certamente suggerita dalla considerazione delle condizioni speciali dell'industria dello zucchero, che in Francia ha tanta importanza. In questa industria, ad una attività febbrile di qualche mese, succede nell'opifizio una inazione assoluta per tutto il resto dell'anno; donde segue che una forza motrice,

sempre considerevole, rappresentante un capitale ingente, rimane per tutto questo tempo inattiva, senza tuttavia dispensare dalle spese e dalle cure della manutenzione. E siccome nell'Inghilterra e negli Stati Uniti d'America l'impiego della lavorazione meccanica andava acquistando favore, così era razionale pensare ad utilizzare la forza motrice dell'opificio per fare con essa la coltura dei terreni dipendenti, che provvedono all'opificio medesimo la materia prima.

Sono note le esperienze che i signori *Félix* e *Chrétien* eseguirono fin dal 1879 a Sermaize (Marne), nelle quali attraverso ad un filo di rame di dieci millimetri quadrati di sezione si trasmise alla distanza di due chilometri e si ottenne utilizzabile sull'aratro il lavoro di circa tre cavalli-vapore, spendendone col motore circa il doppio. Quelle esperienze costituiscono uno dei primi tentativi per l'applicazione industriale della trasmissione elettrica del lavoro, ed hanno una importanza storica speciale.

Alla esposizione si vedevano nella sezione francese i meccanismi per la lavorazione elettrica, che avevano servito a quelle esperienze. Insieme ad essi il signor *Félix* esponeva diversi altri apparecchi per l'applicazione della trasmissione elettrica ad altri lavori agricoli, al lavoro delle miniere, all'elevazione dell'acqua, ecc. La sua svariata esposizione faceva testimonianza della grande attività e dell'opera perseverante per cui egli ed il *Chrétien* si sono resi benemeriti di questo ramo, così ricco di avvenire, della elettrologia applicata.

27. Uno dei casi ove è impossibile adoperare motori collocati sul sito del lavoro, ed ove inoltre riesce per lo più imbarazzante ed impossibile l'impiego degli ordinari mezzi telodinamici, si presenta nei lavori delle miniere; ed il problema di operare per mezzo di motori fissi, esterni, la trazione dei vagoncini per l'estrazione del carbone e dei minerali delle gallerie, fu uno dei primi che si sia tentato di risolvere per mezzo dell'elettricità. Fu questo problema quello che condusse il dottore *Werner Siemens* a pensare alla possibilità di adoperare la trasmissione elettrica del lavoro per la trazione sulle ferrovie.

Nella esposizione tedesca che si tenne in Berlino nel 1879 figurava il primo modello di ferrovia elettrica; e questo non era altro che l'apparecchio immaginato dal *Siemens* e costruito dalla casa *Siemens* ed *Halske* per l'estrazione del carbon fossile da una miniera, trasformato e ridotto ad uso dei passeggeri in occasione dell'esposizione. La disposizione di quel primo saggio

di ferrovia elettrica era la seguente: essa era una piccola strada ferrata a binario ridotto, percorrente una linea curva chiusa della lunghezza di circa 300 metri. Frammezzo alle due rotaie correva lungo tutta la strada una terza guida, costituita da un ferro piatto verticale. Il treno si componeva di tre vagoncini, portanti ciascuno sei persone, e di una locomotiva elettrica. Questa locomotiva era costituita semplicemente da una macchina dinamo-elettrica di *Hefner-Alteneck*, del tipo solitamente costruito dalla fabbrica *Siemens* ed *Halske* per l'illuminazione elettrica, portata da un piccolo carro a quattro ruote, e funzionante come riceptrice, come motore elettrico, per effetto della corrente prodotta da una seconda macchina dinamo-elettrica installata nella galleria delle macchine e comandata da una macchina a vapore. Il circuito era formato dalla guida centrale e dalle rotaie portanti; uno dei poli della macchina dinamo-elettrica fissa, generatrice, era posto in comunicazione, per mezzo di un conduttore metallico, colla guida centrale, l'altro polo comunicava invece colle due rotaie portanti; i due poli della macchina riceptrice costituente la locomotiva comunicavano l'uno con due rotelle orizzontali appoggiantisi, per effetto di molle, contro la guida centrale e l'altro colle ruote portanti. Così, in qualunque posizione la locomotiva si trovasse, la corrente elettrica prodotta dalla generatrice fissa trovava chiuso questo circuito: spirale indotta della generatrice, guida centrale, spirali della riceptrice, rotaie portanti. Per assicurare meglio il contatto metallico conduttore tra le ruote e le rotaie, tutte le ruote del treno erano collegate metallicamente tra di loro. Il meccanico incaricato della condotta del piccolo treno sedeva sulla locomotiva ed aveva a sua portata un manubrio pei freni ed un commutatore per interrompere il circuito e per richiuderlo. Il numero delle persone portate dal treno variava da 18 a 24, lo sforzo di trazione da 40 a 75 chilogrammi, la velocità da metri 1,90 a metri 3,50, il lavoro da 2 a 3,5 cavalli; il rendimento era risultato di circa 0,50.

Questo primo esperimento riuscì, a giudizio del *Siemens*, abbastanza bene per indurre il celebre costruttore a pensare alla possibilità ed alla convenienza della trazione elettrica anche in casi diversi da quelli delle miniere. A lui parve che la trazione elettrica si potesse adoperare con vantaggio, in parecchi casi, sulle tramvie, segnatamente nell'interno delle città. In questo caso la possibilità di camminare rapidamente, senza

rumori, senza fumo, con un materiale elegante e leggero, con una grande semplicità e sicurezza nel servizio, e con notevole economia nel personale, parve al *Siemens* una ragione sufficiente per dover tentare la prova. La leggerezza poi del materiale mobile di una ferrovia elettrica avrebbe permesso di costruire in condizioni di una massima economia binari aerei, sostenuti all'altezza di un primo piano da colonne metalliche, e così dotare le città più popolose di un mezzo di comunicazione atto a rimediare alla crescente insufficienza delle strade attuali. Ciò indusse i signori *Siemens* ed *Halske* a presentare alle autorità di Berlino un progetto per una strada ferrata aerea attraverso la città. Questa strada aerea avrebbe avuto la lunghezza di circa 10 chilometri e sarebbe stata sostenuta da colonne metalliche alte metri 4,40 e disposte lungo i marciapiedi a 10 metri l'una dall'altra. Le rotaie, distanti tra loro un metro, avrebbero dovuto servire come conduttori per la corrente elettrica; ciascuna carrozza sarebbe stata munita di una propria macchina dinamo-elettrica ricettrice e la velocità del treno avrebbe dovuto essere di 30 chilometri all'ora. Un calcolo delle spese di installazione e di esercizio mostrava, che con 200 partenze al giorno e con una media di 5 a 6 passeggeri in ciascuna delle sei carrozze, le spese avrebbero potuto facilmente essere coperte.

Questo progetto non fu accolto, ma i signori *Siemens* ed *Halske* hanno potuto costruire, colle medesime disposizioni degli apparecchi elettrici e delle carrozze, ma al livello del suolo, un tratto di ferrovia elettrica tra l'istituto centrale dei cadetti e Lichterfelde, stazione della strada ferrata da Anhalt a Berlino, ove essi hanno trovato condizioni di installazione favorevoli. La strada ferrata di Lichterfelde è quindi una ferrovia a livello del suolo; ma siccome i costruttori avevano avuto in mira lo studio di una ferrovia aerea, così essa fu installata piuttosto come tale, che come una strada a livello. Così, per esempio, e per non citare che una sola circostanza importante, venne conservata la trasmissione della corrente per mezzo delle due rotaie, la quale, come è evidente, sarebbe conveniente per una strada aerea assai più che per una strada a livello del suolo, ove, anche facendo astrazione dalle maggiori difficoltà di un buon isolamento, le due rotaie difficilmente si possono mantenere pulite quanto è necessario per un buon contatto metallico colle ruote.

La lunghezza totale della strada ferrata è di 2450 metri. Le rotaie dovendo essere isolate l'una dall'altra, sono disposte

in modo da non toccare altro che le traversine di legno e da non essere in contatto diretto col suolo sul quale esse riposano. Nelle condizioni attuali questo isolamento è sufficiente; lo si potrebbe del resto rendere migliore, sia rivestendo le traversine di materie bituminose, sia frapponendo tra le traversine e le rotaie appositi isolatori di vetro o di porcellana. Nei passaggi a livello le rotaie sono incastrate fra due lungarine di legno, e sottratte per tal modo al contatto diretto colla terra.

L'apparecchio per la produzione della corrente è installato dentro a fabbricati dipendenti dalla stazione di Lichterfelde. Esso è costituito da una macchina a vapore orizzontale, la quale tiene in azione due macchine dinamo-elettriche di *Siemens*. Questa installazione però è provvisoria e le due macchine dinamo-elettriche dovranno venire rimpiazzate da una sola mossa direttamente da una macchina a vapore rotatoria del sistema *Dolgorouki*.

Due gomene metalliche partenti dalle macchine generatrici, e passanti sotterra, portano la corrente alle rotaie; queste la trasmettono alle spirali della macchina ricettrice per contatto diretto colle ruote del veicolo.

Nella prima ferrovia elettrica, di cui abbiamo già parlato, si avevano treni composti di alcune piccole carrozze trainate da una locomotiva distinta da esse. A Lichterfelde invece non corre che una sola carrozza capace di portare 26 persone, e somigliante in tutto alle ordinarie carrozze delle tramvie. La macchina dinamo-elettrica ricettrice, che la deve mettere in moto, è collocata al di sotto di essa, frammezzo agli assi delle due coppie di ruote. La corrente passa dalle rotaie alla macchina per mezzo delle ruote portanti. A quest'uopo le ruote sono isolate elettricamente da tutte le altre parti del veicolo, ed i loro cerchioni comunicano, per mezzo di liste metalliche, con manicotti metallici cilindrici portati dal loro asse ed isolati dal medesimo. Su questi manicotti si appoggiano sfregatoi a spazzola posti in comunicazione coi due poli della macchina ricettrice. La trasmissione del movimento dall'albero della macchina dinamo-elettrica alle ruote portanti della carrozza è fatta per mezzo di una puleggia calettata direttamente sull'albero, la quale con un cingolo comanda due puleggie scanalate, di diametro maggiore, solidarie alle ruote portanti che stanno da una medesima parte. Il cingolo è costituito da una elica di filo metallico a spire serrate, che si avvolge a molti giri sulle puleggie, adagiandovisi in appositi solchi.

La macchina dinamo-elettrica è munita di un commutatore, che può essere manovrato dal conduttore da entrambe le piattaforme che stanno alle due estremità della carrozza, cosicchè questa può correre in entrambi i versi senza bisogno di essere fatta girare. Essa è inoltre provvista di un apparecchio a resistenza variabile, che permette di regolarne, entro limiti, la velocità.

Secondo le condizioni della concessione, la velocità della carrozza sulla tramvia elettrica dove essere di 20 chilometri all'ora; ma essa potrebbe, volendolo, percorrere da 35 a 40 chilometri su di una strada orizzontale, col suo massimo di carico, di 26 persone, che corrisponde ad un peso totale di 4800 chilogrammi. In queste condizioni la generatrice funziona con tutta la sua velocità, e la ricettrice, che ha il peso di 500 chilogrammi, produce un lavoro di cinque cavalli e mezzo.

La strada ferrata elettrica di Lichterfelde fu aperta al pubblico il 16 maggio 1881 ora trascorso ed ha finora funzionato senza alcun accidente degno di nota.

A Parigi *Siemens* ed *Halske* hanno esposto nella sezione tedesca una carrozza identica a quella della strada ferrata di Lichterfelde, e questa, per la razionale disposizione di tutte le parti e per la perfezione della costruzione, era, a ragione, ammirata come l'apparecchio più perfetto, che figurasse nella classe 9.^a destinata ai motori elettrici ed al trasporto della forza.

Questo apparecchio alla esposizione non fu messo in azione. Funzionò, invece, e, dopo qualche settimana spesa nel superare varie difficoltà, prese un andamento del tutto regolare la tramvia elettrica che i fratelli *Siemens* esposero, colla firma *Siemens frères*, nella sezione francese. Dagli ultimi giorni di agosto fino al termine dell'esposizione questa tramvia trasportò quotidianamente dalla piazza della Concordia al palazzo dell'Industria, e viceversa, un numero grandissimo di visitatori, ed in tutto questo tempo essa non presentò alcun accidente degno di nota.

La ferrovia elettrica dell'esposizione fu, pei particolari, studiata e messa in opera dall'ingegnere *Boistel* della casa *Siemens frères* di Parigi. Essa differiva da quella di Lichterfelde principalmente pel modo di condurre la corrente dalla generatrice fissa alla ricettrice viaggiante. Si è notato poc' anzi, descrivendo la ferrovia di Lichterfelde, come la trasmissione della corrente per mezzo delle rotaie portanti, la quale sarebbe convenientissima per strade aeree, presenti gravi inconvenienti,

applicata a ferrovie a livello del suolo. In questo caso infatti è difficile l'isolamento, è impossibile un perfetto contatto metallico colle ruote, e le rotaie, portate, come sono, ad alti potenziali elettrici, possono essere causa di accidenti quando per avventura un cavallo venga a toccarle simultaneamente. Per questi motivi già *Siemens* ed *Halske* erano ricorsi ad un altro modo di trasmissione nello studio della ferrovia elettrica tra Charlottenburg e Spandau. In questa installazione, onde evitare gl'inconvenienti notati, *Siemens* ed *Halske* hanno ideato di trasmettere la corrente per mezzo di conduttori aerei sostenuti da pali, lungo i quali conduttori scorre un carretto di contatto, legato alla carrozza con una funicella, e portante due corde di rame collegate all'altra estremità coi poli della macchina ricettrice.

Nella installazione fatta a Parigi è stata adottata questa disposizione, ed i particolari di essa sono stati studiati in modo assai ingegnoso. In luogo di corde metalliche sono adoperati come conduttori della corrente due tubi di ottone fessi al di sotto su tutta la loro lunghezza e per la larghezza di un centimetro. I due tubi sono raccomandati ad un listello di legno sostenuto in posizione orizzontale, all'altezza di circa tre metri, da una fila di pali, che corre su di un fianco della strada ferrata, da un capo all'altro di questa. Per diminuire le inflessioni che i tubi potrebbero prendere, col tempo, sotto l'azione del peso, essi sono sostenuti in vari punti, tra un palo e l'altro, da fili di ferro a guisa di ponti sospesi. In questo modo la linea formata dai conduttori non è rigida, ma presenta una certa flessibilità favorevole al movimento rapido degli sfregatoi. I due tubi sono messi in comunicazione, ad una estremità, per mezzo di corde metalliche, coi due poli della macchina generatrice installata nel palazzo dell'esposizione; all'altra estremità e su tutta la lunghezza essi sono isolati. I contatti per la trasmissione della corrente dai tubi alla macchina ricettrice portata dalla carrozza si fanno specialmente sulla superficie interna dei due tubi; dentro a ciascun tubo scorre uno sfregatoio avente la forma di un nucleo cilindrico allungato. Verso le due estremità di questo nucleo sono saldate due asticciuole cilindriche parallele, verticali, che attraverso alla fessura longitudinale, di cui si è parlato, escono fuori dal tubo, ed alle due estremità inferiori sono unite a vite con una traversa; si ha così un telarino rettangolare di cui uno dei lati è costituito dal nucleo scorrevole nell'interno del tubo, ed il lato opposto a questo è rappresentato dalla tra-

versa; il nucleo serve a dare il contatto coi conduttori tubolari, la traversa serve di attacco ad una cordicella di fili di rame, la quale va a terminare ad uno dei poli della macchina ricettrice, sulla carrozza. Una seconda traversa orizzontale situata frammezzo al nucleo siregatore ed alla traversa di cui ho parlato, porta una rotella metallica, occupante l'interno del rettangolo, la quale si appoggia esternamente contro il tubo; la traversa che sostiene questa rotella è portata da due manicotti scorrevoli lungo le due astine verticali, e due molle spirali avvolte attorno a queste assicurano la pressione necessaria della rotella contro la faccia esterna, e del nucleo contro la faccia interna del tubo. Pei due conduttori si hanno due carretti di contatto identici a quello descritto. I due carretti di contatto sono trascinati lungo i rispettivi tubi per mezzo di due cordicelle attaccate alla carrozza.

La carrozza ed i meccanismi, che essa porta, non differiscono sostanzialmente da quelli della ferrovia di Lichterfelde. Però la carrozza è più grande, è munita di imperiale e può contenere, quando è completa, ben 50 persone. La macchina ricettrice è in questa carrozza, come in quella di Lichterfelde, collocata al di sotto del tavolato fra i due assi portanti; e la trasmissione del movimento dall'asse della macchina alle ruote portanti si fa anche qui per mezzo di una cinghia.

Finalmente il binario è a scartamento normale, e siccome qui le rotaie non hanno bisogno di essere isolate, così l'armamento non presenta alcuna differenza da quello delle tramvie ordinarie.

La macchina generatrice della corrente è una macchina dinamo-elettrica di *Siemens* di grande modello, cogli induttori inseriti nel circuito principale. La sua spirale indotta gira colla velocità di 550 rivoluzioni per minuto. La ricettrice situata sulla carrozza è del medesimo sistema, e fa, nelle condizioni normali, 465 giri al minuto. Tenendo conto del diametro delle ruote e di quello delle puleggie di trasmissione, questa velocità della macchina dinamo-elettrica corrisponde ad una velocità del veicolo di 17 chilometri per ora. Non è però questa la velocità limite, poichè in una esperienza si è potuto percorrere l'intera linea, lunga 493 metri, in 25 minuti secondi, il che corrisponde ad una velocità di 70 chilometri all'ora.

Il peso della carrozza vuota è di 5500 chilogrammi; coi 50 passeggeri questo peso si eleva a 9000 chilogrammi.

La linea costrutta tra la piazza della Concordia ed il Palazzo dell'industria presentava, non ostante la sua piccola lunghezza, parecchie difficoltà, le quali concorrevano a rendere importante l'esperimento. Così, per esempio, si aveva all'arrivo sulla piazza della Concordia una curva col raggio di 55 metri appena; e le curve all'ingresso nel palazzo dell'esposizione avevano raggi di soli 27 e 30 metri. La pendenza superava, in un punto il 20 per mille.

Il lavoro speso, quando la velocità era di 17 chilometri all'ora, era di tre cavalli e mezzo nelle porzioni orizzontali e rettilinee, di sette cavalli e mezzo nelle curve e di oltre otto cavalli e mezzo nella rampa del 20 per mille.

Per regolare la velocità basta introdurre nel circuito resistenze che si possono far variare a piacimento; nella carrozza elettrica dei fratelli *Siemens* l'apparecchio per far variare la resistenza, era comandato da una leva di manovra, indifferentemente dall'una o dall'altra piattaforma. La rottura del circuito non produceva scintille capaci di recare guasti alla macchina, in grazia di una disposizione ingegnosa per cui la rottura completa del circuito non avveniva se non dopo che tutte le resistenze erano state introdotte, e per conseguenza avevano affievolito notevolmente l'intensità della corrente. Il sistema per l'arresto era completato da un freno a ceppo ordinari.

Oltre agli apparecchi effettivi, di cui ho fatto menzione, figurava nella sezione francese della esposizione, svolto in una descrizione ed in molti disegni, un progetto dell'ing. *Chrétien* per la costruzione di una ferrovia elettrica aerea nell'interno di Parigi, dalla Bastiglia alla Maddalena, lungo i *Boulevards*, con diramazioni. Il progetto però non presenta alcuna novità relativamente agli apparecchi elettrici, e non potrebbe essere studiato se non dal punto di vista delle condizioni di convenienza o di costruzione dipendenti dalle circostanze locali; la qual cosa non ci riguarda.

28. A noi invece si presenta la quistione generale: Indipendentemente dalle considerazioni generiche che abbiamo fatto sull'impiego industriale della elettricità come mezzo telodinamico, quali vantaggi speciali può quest'impiego presentare nel caso delle ferrovie?

Un primo vantaggio si presenta da sè e sta nella piccolezza del peso della macchina che tiene le veci della locomotiva. Questo vantaggio ha una grande importanza nei casi di ferrovie

aeree, per le quali la leggerezza del treno può permettere una grandissima economia nella costruzione della strada.

Sulle linee di forti pendenze si è, colla trazione a vapore, costretti a ricorrere all'impiego di locomotive molto pesanti, ed a quello di più locomotive attaccate al medesimo treno: cosa sempre costosa pel peso inutile che bisogna elevare, e non sempre sufficiente perchè, aumentando la pendenza, si raggiunge presto un punto in cui le locomotive sono incapaci di sollevare sè stesse. Colla trazione elettrica l'inconveniente è molto diminuito: non solo si hanno in questo caso macchine leggere, ma si possono adoperare, come ha fatto *Siemens*, tante macchine quante sono le carrozze del treno, e per tal modo utilizzare per l'aderenza il peso intiero di tutto il convoglio.

L'incamminamento del convoglio (*démarrage*) presenta frequentemente gravi difficoltà sulle ferrovie ordinarie; su di una ferrovia elettrica, invece, esso deve riuscire sempre più facile. Ciò in grazia delle stesse proprietà fondamentali della corrente elettrica che somministra il lavoro. Infatti quando il treno è fermo e si chiude il circuito per incominciare la marcia, la corrente elettrica che si produce ha nei primi momenti una intensità massima, notevolmente maggiore di quella che essa ha, in media, durante la marcia: durante la marcia essa è dovuta alla sola differenza tra la forza elettro-motrice della macchina dinamo-elettrica generatrice e quella inversa della ricettrice; in principio, invece, finchè la ricettrice non ha cominciato a lavorare, essa è dovuta alla forza elettro-motrice tutta intiera della generatrice. Dal valore massimo che ha in principio, l'intensità della corrente diminuisce per gradi di mano in mano che, accelerandosi la macchina ricettrice, va crescendo la forza elettro-motrice inversa che essa produce; l'intensità diventa costante ed ha un valore minimo, quando il treno ha acquistato tutta la sua velocità. Ora le forze che mettono in moto la spirale rotante della ricettrice crescono col crescere della intensità della corrente; esse hanno adunque una intensità massima nell'atto dell'incamminamento, quando se ne ha il massimo bisogno.

Il fatto, di cui ho parlato, ossia la dipendenza che esiste tra la velocità della ricettrice e l'intensità della corrente, è causa di un'altra utile proprietà della trazione elettrica: la marcia degli apparecchi si modifica da sè, senza bisogno di essere governata dal meccanico, a seconda del variare delle pendenze,

e si modifica in modo che le forze che agiscono sulle ruote per tenerle in moto crescono o diminuiscono, secondo il bisogno, quando cresce oppure diminuisce la pendenza della strada.

Per vedere come ciò avvenga basta ricordare che le forze che sollecitano l'armatura mobile della macchina dinamo-elettrica riceptrice crescono col crescere della intensità della corrente elettrica, che l'intensità di questa corrente è proporzionale alla differenza tra la forza elettro-motrice della macchina generatrice e quella inversa della riceptrice, e che finalmente la forza elettro-motrice di una macchina è a parità di altre circostanze proporzionale alla velocità. Ciò posto si supponga che in un determinato punto la strada prenda a salire più rapidamente di quello che faceva prima; a partire da quel punto la carrozza elettrica incomincia a rallentarsi. Ma col diminuire della velocità diminuisce pure la forza elettro-motrice inversa prodotta dalla riceptrice, e col diminuire di questa cresce l'intensità della corrente. Colla intensità della corrente aumenta nella macchina riceptrice anche lo sforzo motore; e questo non diventa costante finchè non ha cessato di diminuire la velocità. Così lo sforzo motore, senza bisogno di alcun apparecchio regolatore e senza richiedere l'opera di un sorvegliante, assume da sè l'aumento imposto dall'accresciuta pendenza. Si supponga, invece, che in un dato punto la salita si faccia meno rapida oppure si cambi in una discesa; in quel punto la carrozza comincia ad accelerarsi; colla velocità comincia ad aumentare la forza elettro-motrice inversa prodotta dalla macchina riceptrice, e coll'aumentare di questa forza elettro-motrice inversa diminuisce l'intensità della corrente; coll'intensità della corrente diminuisce lo sforzo motore, e così lo sforzo motore, da sè, senza bisogno dell'intervento di un sorvegliante, si riduce in proporzione del diminuito bisogno.

Come lo sforzo motore sulle ruote delle carrozze, così la somministrazione dell'energia data dalla generatrice cresce o diminuisce, secondo il bisogno, col variare delle pendenze. Quando infatti la salita aumenta, e diminuisce in conseguenza la velocità, aumenta l'intensità della corrente, e se la macchina generatrice, in grazia del moderatore annesso alla motrice, conserva una velocità costante, aumenta il lavoro che essa consuma. Succede l'opposto quando, diminuita la salita, la velocità della carrozza prende ad aumentare.

Le variazioni di peso del treno producono gli stessi effetti che le variazioni di pendenza; in ogni caso lo sforzo motore e la somministrazione di energia variano nel senso stesso in cui varia il lavoro che la locomotiva elettrica deve fare per camminare.

Nelle gallerie e nell'interno delle città è un vantaggio notevole, che talvolta potrebbe bastare a decidere nella scelta del sistema, la mancanza del fumo.

Nei centri popolosi costituisce, finalmente, un merito pel sistema, la semplicità del servizio, che trae seco una maggiore sicurezza per i passeggeri. Un sol uomo può bastare a tutto e governare la condotta del treno in modo da evitare i pericoli pel materiale e per le persone più facilmente che colla trazione a vapore; egli non ha da fare altro che guardare innanzi a sé e tenersi preparato a maneggiare il commutatore ed il freno. Il treno, essendo leggerissimo, si arresta prontissimamente.

Le difficoltà che si presentano nell'attuazione del sistema sono essenzialmente queste: la resistenza del circuito aumenta di mano in mano che la carrozza si va allontanando dalla generatrice, e, coll'aumentare della resistenza, diminuisce la velocità e scema il coefficiente di rendimento; è difficile specialmente in tempo piovoso, ottenere un perfetto isolamento; i contatti tra gli sfregatoi della ricettrice ed i conduttori di linea possono in alcuni istanti mancare. Ma la prima di queste difficoltà si evita nelle ferrovie aeree adoperando come conduttori le rotaie e collegando con queste una parte della struttura metallica della strada, in modo da offrire alla corrente una grandissima sezione; e per le strade a livello del suolo si diminuirà coll'avvenire l'importanza della resistenza variabile adoperando macchine dinamo-elettriche di alta forza elettro-motrice.

L'imperfetto isolamento delle linee è un inconveniente che può diventare grave per le linee lunghe, ma il toglierlo non dipende che da miglioramenti nei particolari dell'armamento, miglioramenti che probabilmente il tempo ci apporterà. Finalmente la mancanza accidentale dei contatti non solo si potrà evitare in gran parte con uno studio accurato dei particolari, ma non ha nemmeno nello stato attuale una importanza grave. Bisogna infatti osservare che colla disposizione del *Siemens* la corrente eccitatrice della macchina generatrice è la stessa corrente principale; se, mancando il contatto, il circuito si rompe, cessa la corrente eccitatrice, e la macchina generatrice cessa di

produrre corrente e di consumare lavoro. La generatrice non riprende la sua forza elettro-motrice e non ricomincia a consumare lavoro se non quando i contatti sono ristabiliti.

Tutte queste considerazioni inducono a credere che alle ferrovie elettriche sia riservato un avvenire fecondo di applicazioni. Bisogna notare però, che gli ultimi vantaggi che abbiamo enumerato si riferiscono specialmente al caso delle tramvie nell'interno delle città, e che gli altri vantaggi hanno un'importanza tanto minore quanto più sono grandi i treni che debbono percorrere le ferrovie. E siccome, nello stato attuale dell'industria della costruzione degli apparecchi elettrici, l'applicazione della trazione elettrica sulle lunghe linee con grande traffico sarebbe complicata, od impossibile, così per ora non pare che alla trazione per mezzo della elettricità si debba pensare se non per alcune tramvie e per qualche caso di piccole ferrovie in circostanze affatto speciali.

La trazione elettrica, come in generale la trasmissione dell'energia per mezzo della elettricità, non è destinata a soppiantare i sistemi già in uso; è destinata invece a dare la soluzione di problemi che coi sistemi in uso non si possono risolvere; è destinata ad essere adoperata in alcuni casi per cui gli altri sistemi presentano maggiori inconvenienti. Qui, come in tutte le altre applicazioni, ogni sistema ha il suo campo d'azione distinto da quello di tutti gli altri; la scoperta di un sistema nuovo non nuoce alla importanza degli altri, all'opposto li completa, allargando, combinato con essi, la cerchia delle applicazioni possibili.

Stando alle cose che abbiamo detto, noi possiamo prevedere, fin d'ora, per le ferrovie elettriche, applicazioni nei casi seguenti:

- 1.° Nelle grandi città quando si vogliono costruire linee aeree.
- 2.° Nelle gallerie delle miniere.
- 3.° In brevi tratti di ferrovie con grandi pendenze.
- 4.° In un caso che nel nostro paese si può presentare sovente, e sul quale io credo di dovere chiamare in modo speciale l'attenzione dei nostri ingegneri e delle nostre amministrazioni. Parecchie vallate alpine, ricche di industrie e di commercio, sono destinate ad essere nell'avvenire avviate da linee di tramvie. Ebbene: in più di una di queste vallate si presentano riunite molte circostanze che possono consigliare l'adozione

della trazione per mezzo della elettricità. Noi troviamo sovente la necessità di pendenze considerevoli e variabili e di curve di corto raggio; noi troviamo poi, ciò che più monta, lungo il *thalweg* della valle, un fiume con acque copiose e perenni, lungo il quale, in molti punti, a giuste distanze, sarebbe possibile installare una serie di motori idraulici di considerevole potenza. Ciascuno di questi motori potrebbe somministrare la corrente elettrica ad un tronco della tramvia che corre parallela al fiume e questo tronco si troverebbe, per la sua lunghezza, nelle condizioni delle ferrovie elettriche oggidì già in esercizio. L'applicazione del sistema sarebbe adunque possibile fin d'ora; ed io credo che forse fin d'ora, certo fra non molto, essa sarebbe anche economica.

29. Una applicazione della trasmissione elettrica del lavoro, la quale si collega con quella delle ferrovie elettriche, è quella che si potrebbe fare pel trasporto rapido delle corrispondenze. Il dottor *Werner Siemens* presentò nel 1880 alla Società elettrotecnica di Berlino, insieme al suo progetto di ferrovia aerea, un progetto, completamente studiato, per una *posta* elettrica, la quale avrebbe dovuto fare sulle lunghe linee in una cerchia estesa, il servizio che fanno attualmente nell'interno delle grandi città le poste pneumatiche. La posta elettrica ideata dal *Siemens* consisteva in una piccola ferrovia elettrica, possibilmente aerea, chiusa con pareti e copertura di lastre di ferro, sulla quale si dovevano far correre coll'elettricità piccoli vagoncini portanti i dispacci. Ciascun vagoncino portava una piccola macchina dinamo-elettrica destinata a funzionare come ricettrice; l'albero di questa piccola macchina portava direttamente due delle ruote del vagoncino, era cioè uno dei due assi del vagoncino. In questo modo le ruote del vagoncino avrebbero fatto tanti giri quanti ne faceva la spirale rotante della macchina dinamo-elettrica, e benchè esse non avessero che un diametro di 30 centimetri, avrebbero camminato colla velocità dei treni ferroviari. Adoperando macchine generatrici molto più potenti che le piccole ricettrici, si sarebbe potuto mettere in movimento simultaneamente, sulla medesima linea, parecchi vagoncini spediti a brevi intervalli di tempo, ottenendo così una rapidissima trasmissione delle corrispondenze. Anche con parecchi vagoncini correnti sul medesimo binario si sarebbe facilmente potuto ottenere in ciascuno da 800 a 1000 giri di ruote in ogni minuto.

Per trasmettere la corrente ai vagoncini dovevano servire, secondo il progetto, le due rotaie collegate opportunamente a tutte le parti metalliche della piccola strada ferrata. Le due rotaie dovevano essere isolate l'una dall'altra e comunicare l'una con uno, l'altra coll'altro polo della macchina generatrice; mà per diminuire la resistenza del circuito una delle due rotaie doveva essere collegata metallicamente, in molti punti, colle pareti laterali e colla copertura della piccola strada, pareti e copertura che, come dissi, erano di lastra di ferro; l'altra rotaia invece doveva collegarsi metallicamente a tutte le colonne di ferro sostenenti la ferrovia, e così fornire una larga comunicazione col suolo. Siccome in questo modo la resistenza della linea non avrebbe superato il valore di 0,02 *ohm* per ogni chilometro, così sarebbe stato sufficiente installare, pel servizio della posta elettrica, una macchina generatrice ad ogni 20 chilometri. Dalle rotaie serventi come conduttori di linea alle piccole macchine dinamo-elettriche ricettrici portate dai vagoncini la corrente sarebbe passata direttamente per contatto colle ruote.

Alcuni modelli della posta elettrica si vedevano esposti nella sezione francese dalla casa *Siemens frères* di Parigi, ed erano notevoli per la perfezione dell'esecuzione.

30. Come si è pensato a far servire la corrente elettrica alla trazione dei vagoncini nelle miniere, così era naturale che si pensasse a servirsene per far lavorare le macchine perforatrici pei fori di mina nella costruzione delle gallerie. L'esposizione ci ha mostrato alcuni apparecchi destinati a queste applicazioni. Uno di questi, notevole per la costruzione della macchina dinamo-elettrica, figurava nella mostra di *Siemens* ed *Halske* nella sezione tedesca. Un altro era in azione nella mostra del signor *A. L. Taverdon* nella sezione francese; quest'ultimo però non era che una perforatrice rotativa a diamanti, messa in moto da una macchina di *Gramme*, sull'asse della quale essa era direttamente innestata: l'esposizione del *Taverdon*, interessantissima per gli utensili a diamante nero, non presentava nulla nè di notevole, nè di nuovo dal punto di vista elettrico.

A questa applicazione della trasmissione elettrica della forza motrice io non faccio che accennare. Senza escludere la possibilità che in casi speciali essa possa tornare vantaggiosa, io credo di dover osservare che nella perforazione delle gallerie

la trasmissione dell'energia per mezzo dell'aria compressa sarà sempre, a meno di una impossibilità assoluta, preferibile a qualunque altra. L'aria compressa non serve soltanto a mettere in movimento la perforatrice, ma serve ancora alla ventilazione; e siccome dopo di essersi espansa nel cilindro della perforatrice, l'aria esce dalla macchina notevolmente raffreddata, essa giova, in molti casi a moderare la temperatura eccessiva del sotterraneo. Quand' anche accadesse che la trasmissione per mezzo della elettricità riuscisse molto più economica di quella ad aria compressa, bisognerebbe prima di darle la preferenza, vedere se la maggiore spesa, ed il maggiore ingombro, a cui si andrebbe incontro per provvedere alla indispensabile ventilazione, non compensino il risparmio.

31. Assai più razionale e feconda di utili applicazioni è l'idea di far servire la corrente elettrica a mettere in moto ventilatori meccanici per la rinnovazione dell'aria nei locali abitati. L'idea fu messa innanzi dai signori *Geneste, Herscher et Comp.* di Parigi, l'esposizione dei quali, benchè non presenti nulla di perfetto e di nuovo dal punto di vista dell'elettricità, è tuttavia degna di essere notata per l'utilità pratica delle applicazioni che ne formano l'oggetto.

La ventilazione di grandi edifizi non si può sempre ottenere nelle migliori condizioni per mezzo della sola aspirazione prodotta da camini di richiamo. Soprattutto si incontrano difficoltà gravi nei grandi ambienti, come nelle sale d'assemblea, negli anfiteatri, nei teatri e negli opifizi, ove l'aria è inquinata da esalazioni dovute alle operazioni industriali che in essi si eseguono. In molti di questi casi la ventilazione riuscirebbe non solo più sicura, ma anche più economica, se si potessero aiutare i camini di richiamo con ventilatori meccanici.

V'ha poi una circostanza, alla quale io non so se gli espositori, che ho nominato, abbiano pensato, ma che a me ed a quanti hanno avuto occasione di occuparsi della ventilazione di grandi ambienti apparirà importantissima. Acciocchè la ventilazione di un locale possa dirsi perfetta, non basta che in ogni ora si estraiga dal locale un numero conveniente di metri cubi d'aria, e che nel tempo stesso si introducano nel locale altrettanti metri cubi d'aria pura presa in sito conveniente, e convenientemente riscaldata o rinfrescata; non basta nemmeno che le bocche d'estrazione dell'aria viziata e quelle d'ingresso per l'aria nuova sieno convenientemente calcolate e collocate; ma

bisogna ancora che il movimento dell'aria si faccia sempre nel modo voluto, attraverso alla bocche ed ai canali a ciò predisposti. Perchè questo succeda è necessario evitare che, aprendosi accidentalmente porte o finestre, si producano correnti d'aria, le quali oltre al molestare o danneggiare le persone che colpiscono, possono alterare completamente il regime della ventilazione. Ora per evitare le correnti d'aria attraverso alle porte od alle finestre accidentalmente aperte è necessario che la pressione nell'interno del locale ventilato sia uguale alla pressione esterna. Per soddisfare a questa condizione bisogna produrre il movimento dell'aria non solamente per mezzo di una aspirazione, come si fa quando si ricorre ai camini di ventilazione, nè solamente con una inspirazione, ma coi due sistemi combinati: bisogna che l'aria nuova sia inspirata e l'aria viziata sia aspirata. Bisogna adunque combinare ventilatori inspiranti con camini di richiamo, oppure ventilatori inspiranti con ventilatori aspiranti: in ogni caso bisogna, per raggiungere lo scopo, ricorrere a ventilatori meccanici.

Dimostrata l'importanza dell'uso dei ventilatori meccanici, riesce dimostrata l'utilità della trasmissione del movimento per mezzo dell'elettricità. Egli è infatti evidente che raramente nelle case di abitazione o negli ospedali, o nei pubblici edifici destinati a riunioni si potranno collocare macchine motrici dovunque si abbia bisogno di collocare un ventilatore, nè si potranno installare trasmissioni di movimenti con ingranaggi, alberi e cinghie tra una motrice collocata al pianterreno ed un sistema di ventilatori collocati altri nei sotterranei, altri sotto i tetti, in siti lontani, nelle varie parti dell'edificio. Ogni difficoltà scompare se si ricorre alla trasmissione elettrica.

I signori *Geneste, Herscher et Comp.* espongono, oltre ad alcuni ventilatori mossi da macchine di *Gramme*, i disegni di due progetti per la ventilazione dell'*Hôtel de Ville* di Parigi e della casa di pena di Nanterre, il primo già approvato, l'altro in corso di esecuzione. In entrambi i progetti dalle macchine motrici il moto si trasmetteva ai ventilatori inspiranti del sotterraneo direttamente con alberi di trasmissione, ingranaggi o cinghie, si trasmetteva invece ai ventilatori aspiranti collocati al piano superiore per mezzo della elettricità.

Un particolare degli apparecchi di *Geneste, Herscher et C.*, il quale merita menzione, è un congegno automatico, il quale, nel caso di arresto o di anormale rallentamento di un venti-

latore aspirante, accende immediatamente nel camino di ventilazione un conveniente numero di becchi di gas, e così sostituisce una aspirazione fisica fatta per mezzo del calore alla aspirazione meccanica divenuta insufficiente. L'apparecchio consiste in un regolatore a forza centrifuga, il quale, quando il ventilatore ha la velocità minima al disotto di cui non si deve discendere, chiude un circuito elettrico; una elettro-calamita inserita in questo circuito attira allora la propria armatura, e questa, muovendosi, toglie un arresto che teneva chiuso il rubinetto del gas, che, sollecitato da una molla, si apre. Il gas poi è acceso da spirali di platino rese incandescenti dalla corrente elettrica.

32. Un'ultima applicazione, che forse l'avvenire riserva alla trasmissione elettrica del lavoro, è quella che si potrà fare alla distribuzione della forza motrice alle piccole industrie per macchine da cucire, per telai, per macchine litografiche, ecc. Ma bastano le cose che abbiamo detto trattando in modo speciale della distribuzione dell'energia, per dimostrare che di questa applicazione non si potrà parlare sul serio se non il giorno, di cui non vogliamo per ora prevedere la lontananza, nel quale si abbiano ne' centri abitati canalizzazioni grandiose ed estese di correnti elettriche destinate ad altro uso, all'uso cui esse sono più direttamente chiamate, a quello che se ne farà nella illuminazione. L'avvenire della trasmissione e della distribuzione elettrica dell'energia meccanica dipende da quello della illuminazione elettrica, e questo dipende dal primo; le due applicazioni, se pure sono destinate ad un avvenire grandioso, lo sono alla condizione di essere fatte insieme, in modo che un medesimo motore, un medesimo impianto si utilizzi durante tutta la giornata, di notte per la illuminazione, di giorno per la distribuzione della forza motrice.

§ 2.º ILLUMINAZIONE ELETTRICA.

Classificazione. — Sistemi ad arco voltaico della prima specie: regolatori *Serrin* e sue applicazioni; lampada *Jaspar*. — Sistemi ad arco voltaico della seconda specie: lampade differenziali di *Siemens* e di *Brush*. — Sistemi ad arco voltaico della terza specie: candela di *Jablochkoff*; lampada *Soleil* di *Clerc* e *Bureau*. — Lampade a contatto imperfetto: *Werdermann*, *Napoli*, *Reynier*. — Lampade ad incandescenza: *Edison*, *Swan*, *Maxim*, *Lane-Fox*. — Lavoro meccanico necessario per produrre una determinata quantità di luce coi diversi

sistemi di illuminazione elettrica. — Spesa necessaria per l'illuminazione con diversi sistemi. Confronti. — Casi nei quali i diversi sistemi di illuminazione elettrica sono o potranno diventare convenienti.

33. Fra le applicazioni industriali della corrente elettrica, alle quali ha dato origine l'invenzione delle grandi macchine dinamo-elettriche moderne, la prima tentata, la più importante finora, è quella che ha per oggetto l'illuminazione. Quindi una parte notevole della esposizione era destinata ad essa. Nella sola sezione francese più di 70 espositori presentavano apparecchi per l'illuminazione elettrica, e nell'intera esposizione il numero degli espositori di sistemi di illuminazione superava il centinaio. Una descrizione, anche sommaria, di tanti sistemi, sarebbe impossibile qui. Per noi essa sarebbe anche inutile. Per lo scopo nostro, che è di renderci conto dello stato attuale di questa applicazione, dell'indirizzo delle ricerche che la riguardano, e del suo probabile avvenire, conviene considerare piuttosto che i singoli sistemi, i tipi principali, essenzialmente diversi, nei quali i medesimi si possono classificare e descrivere, piuttosto che i singoli apparecchi, quelli che meglio convengono a caratterizzare quei tipi.

Tutti i sistemi di illuminazione elettrica, quali l'esposizione ce li ha presentati, si possono dividere in cinque grandi specie:

1.° Sistemi ad arco voltaico, nei quali ciascun circuito contiene una lampada unica di grande potenza.

2.° Sistemi ad arco voltaico con più lampade in un medesimo circuito.

3.° Sistemi ad arco voltaico nei quali fra i carboni esiste una materia solida, isolante, che pel calore dell'arco diventa incandescente.

4.° Sistemi a contatto imperfetto.

5.° Sistemi ad incandescenza.

34. I sistemi della prima specie sono destinati a quei casi ove occorrono uno o pochi centri potentissimi di luce: ai fari, alle navi, alle operazioni della guerra, alla telegrafia ottica, alle proiezioni, all'illuminazione di cantieri di costruzione, ecc. Appartengono a questa specie gli apparecchi del *Foucault*, del *Duboscq*, del *Serrin*, del *Siemens*, del *Gaiffe*, ecc., noti ed importantissimi nella storia della luce elettrica e delle sue applicazioni. In tutti gli apparecchi di questa categoria l'arco voltaico si fa tra le punte di due carboni situati, il più delle volte, sul

prolungamento l'uno dell'altro; il peso dei portacarboni o la forza elastica di una molla tende a far avanzare l'uno verso l'altro i due carboni, con velocità proporzionali ai loro consumi; ma un arresto comandato da una elettro-magnete o da un solenoide, per cui passa la corrente elettrica, impedisce questo movimento ogni qualvolta la corrente ha l'intensità conveniente, e non lo lascia libero se non quando pel consumo dei carboni e pel conseguente allungamento dell'arco, la corrente si è sensibilmente affievolita.

L'esposizione presentava quasi completa la numerosa schiera degli apparecchi fondati su questo principio, e per alcuni di essi metteva in evidenza non solo la bontà dei sistemi, ma l'importanza dei servizi da essi prestati già da molti anni nelle applicazioni pratiche.

Cito per esempio il notissimo regolatore del *Serrin*, il quale nell'esposizione non solo era rappresentato da parecchi modelli, ma figurava inoltre come parte di vari apparati destinati ad applicazioni speciali.

L'applicazione ai fari era presentata in modo grandioso nella mostra del Ministero francese dei lavori pubblici. La mostra comprendeva tre apparecchi ottici ed una lanterna per fari elettrici. I tre apparecchi rappresentavano i tipi di quelli che dovranno applicarsi a 46 fari elettrici progettati per le coste francesi. Essi fanno conoscere tre degli otto *caratteri* nuovi adottati per questi fari, che sono: un fuoco scintillante a gruppi di due sprazzi bianchi; un fuoco scintillante a gruppi di quattro sprazzi bianchi; e un fuoco scintillante a gruppi di tre sprazzi bianchi ed uno rosso. Sono destinati ai nuovi fari elettrici di Dunkerque, di Calais e di Gris-Nez. La lanterna, collocata su di una torre al centro del palazzo dell'esposizione, aveva metri 3,50 di diametro. La luce era prodotta, in questo apparecchio, dalle macchine magneto-elettriche di *De Méritens* con regolatori di *Serrin*. Gli apparecchi erano costrutti, dietro i progetti dell'ingegnere *Allard*, direttore del servizio centrale dei fari, dalle fabbriche di *Sautter, Lemonnier e C.*, di *Henry-Lepaute* figlio, e di *Barbier e Fenestre*.

L'applicazione agli usi della guerra era presentata nella mostra del Ministero francese della guerra, ove si vedevano apparecchi completi per illuminare a distanza con un fascio di luce proiettata. Gli apparecchi comprendevano, su di un unico carro, una motrice a vapore del tipo *Brotherhood*, una mac-

china di *Gramme* ed una lampada di *Serrin* collocata in un proiettore del sistema del colonnello *Mangin*. Questi apparecchi erano fabbricati da *Sautter, Lemonnier e Comp.*, e figuravano anche nell'esposizione di questi costruttori.

Le applicazioni alla marina, all'illuminazione dei cantieri, all'illuminazione dei grandi ambienti facevano parte della mostra dei medesimi costruttori.

Cito in secondo luogo la lampada del *Jaspar*, costruttore meccanico di *Liège*, sulla quale ho il dovere di chiamare l'attenzione in modo affatto speciale. Essa è infatti presso di noi assai meno conosciuta di quella del *Serrin*, mentre per la semplicità, per la sicurezza e per la regolarità del funzionamento dovrebbe in molti casi essere prescelta. Durante tutta l'esposizione, nella quale brillava, sostenuta da alti pali, ai quattro angoli della sezione belga, la lampada *Jaspar* si è distinta da tutte le altre per la bellezza e per la fissità della luce; e se si pensa che questo risultato in essa si ottiene senza l'uso d'alcun meccanismo con ruote dentate, si può asserire che fra tutte le lampade ad arco voltaico destinate a funzionare sole in un circuito quella di *Jaspar* è oggidi, per la pratica, la migliore.

Il regolatore di *Jaspar* è a carboni verticali, e nel modello che ha figurato nell'esposizione i portacarboni, situati al disopra del meccanismo, hanno una disposizione esterna somigliante a quella che esiste nel regolatore di *Serrin*. I due portacarboni sono colle estremità inferiori attaccati ciascuno ad una cordicella, e le due cordicelle si avvolgono in versi opposti sopra due puleggie solidarie ad un medesimo albero; la puleggia che sostiene il portacarboni positivo ha un diametro doppio di quella che sostiene il negativo. I pesi dei due portacarboni tendono per tal modo a far rotare il sistema delle due puleggie in sensi opposti; ma siccome il peso del portacarboni positivo ha un momento maggiore dell'altro, così, se non intervengono altre forze, il carbone positivo discende e fa salire il portacarbone negativo con una velocità uguale alla metà della propria. I due carboni si avanzano così l'uno verso l'altro con velocità proporzionali ai loro consumi rispettivi, che, com'è noto, stanno tra di loro come 1 a 2, e se non passa la corrente, essi non si arrestano finchè non sono a contatto. A regolare secondo il bisogno il momento della forza che fa rotare le puleggie ed avvicinare i carboni, serve un contrappeso scorrevole a piacimento lungo una leva orizzontale situata nella parte più bassa di tutto il

meccanismo, la quale ad una estremità è portata da un perno orizzontale attorno a cui può rotare, ed all'altra estremità è sostenuta da una cordicella. La cordicella è avvolta superiormente sopra di una terza puleggia di piccolo diametro portata dall'albero delle due altre e facente corpo con esse. L'azione di questo contrappeso si aggiunge a quello del peso del portacarboni negativo, epperò il suo momento si sottrae da quello per cui i carboni tendono ad avvicinarsi. Facendo scorrere il contrappeso lungo la leva in cui è infilato, cosa che si può fare dall'esterno girando una vite, si fa variare a piacimento la grandezza del momento che gli corrisponde, e così si regola a secondo dei bisogni il valore del momento risultante che tende a far ravvicinare i carboni. L'asta del portacarbone negativo, nella parte inferiore, è di ferro e penetra in un solenoide inserito nel circuito della corrente. Quando si chiude il circuito e la corrente passa, l'asta di ferro è magnetizzata ed attratta, succhiata, dal solenoide; essa si abbassa e fa abbassare con sè il carbone negativo, le puleggie girano di un certo angolo, ed il carbone positivo è sollevato; così le punte dei carboni si distaccano l'una dall'altra e l'arco voltaico si stabilisce. La distanza a cui si arrestano i due carboni è quella per cui la forza con cui il solenoide succhia l'asta di ferro del portacarbone negativo fa equilibrio a quella che tende ad innalzarla; e siccome la prima di queste forze cresce coll'intensità della corrente e diminuisce coll'inoltrarsi dell'asta nel solenoide, così la distanza a cui le punte dei due carboni vengono a portarsi nell'equilibrio è tanto maggiore quanto è maggiore l'intensità della corrente. Quando pel consumo dei carboni l'arco voltaico si allunga, aumenta la resistenza del circuito e diminuisce in conseguenza l'intensità della corrente; l'attrazione del solenoide diminuisce, e per ritrovare l'equilibrio i carboni si riavvicinano. Per tal modo i due carboni si avanzano in modo continuo, l'uno verso l'altro, di mano in mano che essi si consumano.

Questo artificio per regolare la posizione dei carboni, in modo continuo, per mezzo di un solenoide, non è d'invenzione del *Jaspar*; esso si trova, come è noto, applicato già nel regolatore dell'*Archereau* che data dal 1850, e fu utilizzato in seguito dal *Gaiffe* e da parecchi altri. Quello che appartiene al *Jaspar* e che forma la parte caratteristica del suo regolatore è l'artificio col quale si ottiene che durante tutta la corsa dei carboni, comunque l'asta di ferro si trovi internata nel solenoide,

la posizione di equilibrio corrisponda ad una medesima intensità della corrente. L'intensità della forza colla quale un solenoide cilindrico, colle spire uniformemente distribuite e percorso da una corrente costante, attrae un'asta di ferro situata nel suo interno, ha un valore massimo quando l'estremità dell'asta coincide colla sezione mediana del solenoide, e diminuisce quando, partendo da questa posizione, l'asta si affonda maggiormente; essa si riduce a zero quando il punto di mezzo dell'asta coincide con quello della spirale. Ne segue che se la forza che tende a sollevare l'asta è costante, e se le spire del solenoide sono uniformemente distribuite, la posizione d'equilibrio corrisponde ad un'intensità di corrente tanto maggiore quanto più l'asta è affondata; e quindi il regolatore invece di mantenere costante la corrente mentre i carboni si consumano, la lascia diminuire gradatamente. Per ovviare a questo inconveniente, senza rinunciare al vantaggio di utilizzare tutta la corsa possibile dei portacarboni, il *Gaiiffe* formava il solenoide con spire avvolte non uniformemente, ma accumulate in numero maggiore, in strati più numerosi verso l'estremità inferiore che verso l'estremità superiore.

Il *Jaspar* invece conserva al solenoide la sua forma cilindrica, avvolgendo su di esso le spire in modo uniforme, ma fa variare la forza antagonista, che tende a rialzare il portacarbone negativo, nel senso stesso in cui varia, per l'innalzamento del nucleo, la forza attrattiva del solenoide. Questo egli ottiene in modo estremamente semplice e pratico: col munire la ruota su cui è avvolta la cordicella, sostenente il portacarbone positivo, di un contrappeso il cui momento aumenta, pel girare della puleggia, di mano in mano che innalzandosi il portacarbone negativo va aumentando la forza succhiante del solenoide. Il contrappeso può avvicinarsi od allontanarsi alquanto dall'asse della puleggia, e così è possibile regolare a dovere la sua azione.

Per smorzare le oscillazioni dei carboni e fare che il loro movimento si riduca ad un avanzamento progressivo e regolare, è attaccato al portacarbone negativo, a fianco di esso, uno stantuffo di ferro il quale si muove con un piccolo giuoco in un cilindro pieno di mercurio.

Queste disposizioni, grazie ad uno studio accuratissimo di tutte le proporzioni, raggiungono nel modo più soddisfacente lo scopo. E siccome per gli usi industriali la lampada *Jaspar*

si raccomanda anche per la semplicità estrema del suo meccanismo, così io credo che benchè essa non sia fra le più nuove, la si possa presentare come una delle migliori lampade della prima specie.

35. Due regolatori della luce elettrica analoghi a quelli di cui abbiamo parlato, nei quali il movimento dei carboni è comandato dalle variazioni nell'intensità della corrente, non possono funzionare lodevolmente in un medesimo circuito. Infatti tutte le variazioni dell'intensità della corrente che avvengono in causa di uno di essi mettono in movimento i carboni dell'altro, indipendentemente dal bisogno che se ne può avere. Per ovviare a questo inconveniente e poter collocare parecchie lampade in un medesimo circuito, ci sono due modi:

1.° Produrre il movimento dei due carboni con apparecchi comandati, invece che dalle variazioni dell'intensità della corrente, dalle variazioni della resistenza dell'arco;

2.° Abbandonare i regolatori automatici comandati dalla corrente, e tenere le punte dei carboni alla distanza voluta, costante, semplicemente frapponendo tra le medesime un pezzo di una materia solida coibente.

Gli apparecchi coi quali il problema è risolto nella prima maniera formano la seconda delle specie di sistemi d'illuminazione elettrica, che noi abbiamo distinto; quelli coi quali il problema è risolto nella seconda maniera formano la terza specie.

Degli apparecchi appartenenti alla seconda specie i tipi migliori sono rappresentati dalle lampade differenziali di *Siemens* e di *Brush*.

Una lampada differenziale è un regolatore nel quale per comandare il movimento dei carboni, invece di una semplice elettro-magnete o di un semplice solenoide percorso dalla corrente principale, si hanno due elettro-calamite o due solenoidi, oppure, ciò che val lo stesso, una elettro-magnete od un solenoide con due spirali. Delle due spirali l'una, fatta con filo grosso e corto, è percorsa dalla corrente principale, che passa pei due carboni e che produce l'arco, l'altra, fatta con filo sottile e lungo, forma un circuito derivato. Le due elettro-calamite od i due solenoidi, o le due spirali agiscono in versi opposti; la prima, quella percorsa dalla corrente principale, tende ad allontanare i due carboni, l'altra, quella percorsa dalla corrente derivata, tende ad avvicinarli. La posizione d'equilibrio dei carboni è quella per cui le forze opposte, esercitate dalle due

correnti sono eguali; e questa posizione è indipendente dal valore assoluto delle due intensità; dipende unicamente dal rapporto delle resistenze dei due circuiti. Egli è così che si riesce a rendere il regolatore indipendente dalle variazioni di intensità della corrente le quali possono provenire da cause esterne al regolatore medesimo, e che quindi si riesce a far funzionare regolarmente parecchie lampade inserite nel circuito di una medesima corrente.

Nelle lampade differenziali di *Siemens*, uno dei carboni è fisso, l'altro è portato da una leva orizzontale di prima specie, che all'altra estremità è articolata coi nuclei mobili di due solenoidi posti verticalmente l'uno sull'altro, cogli assi su di una medesima linea retta. La spirale inferiore, fatta con filo grosso e breve è percorsa dalla corrente principale, la spirale superiore fatta con un filo lungo e sottile, forma un circuito derivato; la prima attira il nucleo dall'alto al basso, la seconda lo attira dal basso all'alto; la prima tende ad innalzare il carbone, l'altro ad abbassarlo; la posizione d'equilibrio che il carbone assume dipende unicamente dal rapporto delle intensità delle due correnti, rapporto che è quello delle resistenze dei rispettivi circuiti. Quando, pel consumo dei carboni, la resistenza dell'arco voltaico si trova accresciuta, l'intensità della corrente principale si fa minore, quella della derivata si fa maggiore di quella per cui si aveva l'equilibrio, ed il carbone si abbassa.

Siccome però le intensità delle attrazioni dei due solenoidi variano diversamente mentre i nuclei si spostano, così non è possibile con questo sistema utilizzare altro che una brevissima frazione dell'intera corsa dei nuclei. Onde potere, ciò nonostante, adoperare lunghi carboni, il portacarbone mobile non è unito in modo invariabile alla estremità della leva di cui si è parlato, la quale riceve il movimento dai solenoidi, ma vi è unito semplicemente per mezzo di una dentiera che ingrana in un rocchetto portato da quella leva, ed è quindi sostenuto da questa solamente quando quel rocchetto non può girare; se il rocchetto è libero di rotare il portacarboni diventa libero e discende, indipendentemente dalla leva, pel proprio peso. Il rocchetto è unito ad una ruota di scappamento, la quale non può girare senza che un piccolo pendolo comandante lo scappamento, oscilli; se il pendolo è fermato, la ruota non può girare, ed il portacarbone è sostenuto; se il pendolo può oscillare il portacarbone è libero. Ora v'ha un arresto il quale, finchè

la leva sostenente il portacarbone non è pervenuta alla estremità della sua corsa, tiene fermo il pendolino e con ciò rende il portacarbone solidario alla leva, ma quando l'estremo inferiore della breve corsa della leva è raggiunto, quell'arresto è sollevato da un ostacolo fisso, e lascia libero il movimento del pendolino; allora il portacarboni diventa indipendente dalla leva e discende pel proprio peso; la leva, d'altra parte, alleggerita del peso del portacarbone, si solleva. Ma appena la leva si è sollevata alquanto, l'arresto ferma un'altra volta il pendolo, ed il portacarboni si trova un'altra volta sostenuto. In questo modo i nuclei dei due solenoidi non hanno da compiere se non oscillazioni di piccolissima ampiezza e le intensità delle attrazioni su di essi esercitate per una data intensità delle correnti riescono sensibilmente costanti. L'effetto di un aumento della resistenza dell'arco e della conseguente variazione delle intensità delle due correnti si riduce a svincolare la leva dal portacarboni acciocchè, alleggerita, essa si sollevi e venga ad afferrare il portacarboni in un punto più elevato.

Il piccolo pendolo di cui si è parlato non serve solamente all'arresto del rocchetto dentato, ma ha ancora l'ufficio più importante di moderare la velocità della discesa del portacarbone quando questo è libero, o, più esattamente la velocità di ascensione della leva quando questa si trova alleggerita del peso del portacarbone. A rendere viemmeglio dolci i movimenti ed a smorzare le oscillazioni serve inoltre un piccolo stantuffo che comandato dai nuclei dei solenoidi, si muove nell'interno di un piccolo corpo di pompa.

Con questa ingegnosissima disposizione il dottor *Werner Siemens* è riuscito ad avere lampade elettriche ad arco voltaico atte a funzionare in gran numero, fino a venti, in un medesimo circuito. Colla perfezione poi della costruzione egli è riuscito a collocare la sua lampada differenziale fra le migliori che esistono oggidì per la bellezza e per la fissità della luce.

Nel palazzo dell'esposizione le lampade differenziali di *Siemens* oltre ad illuminare nelle sezioni tedesca, inglese e francese le installazioni delle tre fabbriche *Siemens*, rischiaravano il grande atrio d'ingresso, e diverse parti della navata centrale e del piano superiore. L'esperimento, che durò per tutta l'esposizione, ha dimostrato che dopo le lampade monofotiche del *Jaspar*, quelle differenziali di *Siemens* sono finora, fra tutte le esposte, quelle che danno la luce più stabile.

Le lampade di *Brush* sono fondate sul medesimo principio di quelle differenziali di *Siemens*, ma differiscono notevolmente da queste per la disposizione del meccanismo, e per le condizioni della corrente da cui debbono essere attivate. Il meccanismo è più semplice e non contiene rotismi; la corrente è prodotta dalle macchine di *Brush* di cui abbiamo parlato e che hanno, in confronto colle altre macchine una forza elettromotrice grandissima. La semplicità del meccanismo e la mancanza completa di rotismi d'orologeria è evidentemente una condizione importante per le applicazioni industriali su vasta scala; la grandezza poi della forza elettromotrice della macchina dinamo-elettrica generatrice non solamente permette di collocare un numero grandissimo di lampade, fino a 40, su di un medesimo circuito, ma è, come abbiamo avuto occasione di dimostrare in un precedente paragrafo, una condizione essenziale per poter trasmettere l'energia a grandi distanze colla massima economia. Per queste ragioni si può dire che, se forse il sistema di *Brush* è suscettibile ancora di miglioramento in qualche sua parte, esso però, nel suo insieme, rappresenta un primo esempio di ciò che dovranno essere nell'avvenire gli apparecchi per la luce elettrica, se questa dovrà ricevere applicazioni grandiose nella illuminazione pubblica. Tal quale esso è oggidì, il sistema *Brush* dà, tanto per la qualità della luce quanto pel rendimento economico, risultati che giustificano i grandi impianti che ogni giorno se ne vanno facendo.

Alla esposizione gli apparecchi del *Brush*, benchè per la stabilità della luce fossero superati da quelli di *Siemens*, costituivano l'impianto di illuminazione il più grandioso, e per la vastità delle applicazioni che esso dimostrava possibili, il più importante.

Come quella di *Siemens* la lampada di *Brush* è differenziale, e la disposizione dei suoi circuiti differisce da quella dei circuiti nelle lampade *Siemens* soltanto per questo, che invece di due solenoidi posti sul prolungamento l'uno dell'altro si ha qui un solenoide unico formato con due fili avvolti insieme: con un filo grosso e corto per mezzo del quale la corrente si trasmette ai carboni, e con un filo lungo e sottile messo in derivazione, nel quale passa, in verso opposto alla corrente che va ai carboni, una corrente derivata. Le forze esercitate dalle due correnti sul nucleo comune delle due spirali sono opposte e si neutralizzano più o meno a seconda delle resistenze.

Due solenoidi a doppia spirale, fatti nel modo detto, stanno collocati l'uno accanto all'altro a somiglianza delle due braccia di una ordinaria elettro-magnete a ferro di cavallo; ed i due nuclei, che salgono e si abbassano insieme, sono riuniti inferiormente con una traversa in modo da formare, quando sono magnetizzati dalle correnti dei solenoidi, una calamita a ferro di cavallo. La traversa sostiene, nel modo che dirò, il portacarbene superiore. Quando la resistenza dell'arco ha il valore conveniente i nuclei, e con essi il portacarbene positivo, stanno in equilibrio sotto l'azione delle forze opposte delle due spirali; ma se pel consumo dei carboni l'arco si allunga ed aumenta di resistenza, l'intensità della corrente che passa per la grossa spirale diminuisce, e quella della corrente derivata, che passa per la spirale sottile, aumenta: la forza, colla quale la prima tende a sollevare i nuclei, diminuisce, quella con cui la seconda tende ad abbassarli cresce, ed i nuclei si abbassano. Si abbassa con loro il portacarbene superiore, e l'arco ritorna alla lunghezza ed alla resistenza volute.

Qui come nella lampada differenziale di *Siemens* non si può utilizzare altro che una brevissima corsa dei nuclei, e quindi il portacarbene invece di essere unito direttamente ai nuclei, è disposto in modo da essere sostenuto solamente quando l'arco ha una lunghezza uguale o minore della normale, e da svincolarsi dai nuclei e discendere pel proprio peso quando l'arco è diventato troppo lungo. Qui adunque, come nella lampada del *Siemens*, l'azione dei solenoidi differenziali è adoperata soltanto per regolare l'alimentazione del carbene superiore.

Ma quello che nella lampada *Siemens* si ottiene per mezzo del meccanismo assai complicato, composto della dentiera, del rocchetto, dello scappamento, del pendolo e dell'arresto di questo, nella lampada di *Brush* è ottenuto senza rotismo di sorta, in un modo straordinariamente semplice. La traversa dei nuclei sostiene, coll'intermezzo di una leva, un gancio, il quale tien sollevato, pigliandolo per un punto della circonferenza esterna, un anello dentro a cui passa l'asta cilindrica del portacarbene. L'anello, così sostenuto da un lato, prende una posizione inclinata e quindi esercita sull'asta del portacarbene una pressione sufficiente perchè l'attrito la tenga sollevata. Ma quando i nuclei si abbassano al disotto della posizione corrispondente alla lunghezza normale dell'arco, l'anello si appoggia col suo punto più basso sopra una traversa fissa, e se il gancio

che lo sosteneva continua ad abbassarsi, esso prende una inclinazione minore, e si accosta a diventare orizzontale. Allora esso cessa di esercitare sull'asta del portacarbone una pressione sufficiente per poterlo sostenere, e questo, svincolato, prende a discendere pel proprio peso. Ma appena il portacarbone si trova svincolato, i nuclei dei solenoidi, alleggeriti dal peso di esso, si risolleivano, ed il gancio, che essi sollevano seco, rialza un'altra volta l'anello, il quale inclinandosi afferra l'asta del portacarbone in un punto un po' più alto di quello in cui lo teneva per lo innanzi.

Per smorzare i movimenti troppo repentini l'asta del portacarbone è cava ed è piena di glicerina. Uno stantuffo fisso all'estremità inferiore di un'asta immobile è immerso nella glicerina, e presenta ai movimenti di questa una resistenza crescente colla velocità, la quale basta allo scopo.

Quando l'illuminazione deve durare molto tempo, le lampade hanno due coppie di carboni, le quali entrano in azione l'una dopo l'altra. La traversa dei nuclei sostiene in questo caso per mezzo di una leva un pezzo munito di due ganci destinati a sollevare gli anelli dei due portacarboni superiori; ma uno dei due ganci è un po' più alto dell'altro e comincia a sollevare il portacarbone corrispondente un po' prima dell'altro. Allora la corrente passa tutta per la coppia di carboni che rimangono a contatto, e quando, seguitando ad elevarsi i nuclei, anche i carboni di questa coppia si distaccano, l'arco voltaico si stabilisce soltanto fra le punte dei medesimi. Stabilito l'arco, questo continua ed è regolato come nel caso di una lampada semplice, fino a tanto che i due carboni non sono consumati. In questo momento vengono a contatto i due carboni dell'altra coppia e l'arco si stabilisce fra di essi. Così la durata dell'illuminazione è duplicata.

Annesso a ciascuna lampada vi è un apparecchio destinato a sostituire alla lampada un breve conduttore quando, per un accidente, questa non può più funzionare. L'apparecchio consiste in una elettro-magnete con due spirali. Una di queste spirali fatta con un filo molto grosso e cortissimo costituisce il breve conduttore destinato a sostituirsi alla lampada ed a mantenere chiuso il circuito quando questa è guasta; l'altra, fatta con filo lungo e sottile, è inserita nel circuito derivato che contiene le spirali di filo sottile dei solenoidi del regolatore; le due spirali poi sono avvolte nel medesimo verso. Quando la resi-

stenza della lampada diventa grande in modo anormale, la corrente derivata, che passa per la spirale sottile, magnetizza il nucleo dell'elettro-magnete, in modo che questa, vincendo la tensione di una molla antagonista, attrae la sua armatura. Questa allora si appoggia su di un contatto unito alle estremità della spirale di grosso filo, e chiude il circuito per mezzo di questo, escludendone la lampada. Il contatto per cui questo breve circuito rimane chiuso, è assicurato dalla forte attrazione che l'elettro-magnete esercita sull'armatura dal momento che la corrente ha cominciato a percorrere oltre il filo sottile anche il filo grosso. Lo spegnimento della lampada avverte subito i sorveglianti del guasto avvenuto, mentre le altre lampade rimaste attive nel circuito compensano con un maggiore splendore la mancanza della lampada difettosa.

I carboni adoperati nelle lampade *Brush* hanno la lunghezza di 30 centimetri, e sono ricoperti di uno strato di rame deposto galvanicamente. Essi durano in media circa 8 ore, e durante questo tempo si consumano circa 24 centimetri del carbone positivo e 10 centimetri del negativo. Una lampada con doppio sistema di carboni può adunque funzionare senza interruzione per circa 18 ore.

La resistenza di una lampada nelle condizioni normali medie è di circa 4,5 ohm; l'intensità della corrente necessaria è, nelle medesime condizioni, compresa tra 10 e 12 ampère; in una installazione ben proporzionata la forza elettro-motrice del generatore equivale a circa 54 volt per ciascuna lampada inserita nel circuito: la forza motrice necessaria per ogni lampada è di cavalli 1,5 quando si hanno nel circuito solamente 4 lampade, di cavalli 0,9 circa quando il numero delle lampade è uguale o superiore a 16. L'intensità della luce data da ciascuna lampada in queste condizioni è di circa 40 carcel nella direzione orizzontale e di circa 70 nella direzione inclinata di 45° dall'alto al basso. Pei grandi focolari di luce, per fari o per proiezioni, le proporzioni sono diverse e l'intensità della luce per ciascun centro può superare i 200 carcel.

36. I regolatori differenziali, di cui quelli di *Siemens* e di *Brush* sono i tipi principali, non costituiscono il solo mezzo per poter tenere in azione in un medesimo circuito parecchie lampade ad arco voltaico; un modo più semplice per fare ciò consiste nel tenere separati ad una distanza invariabile i due carboni per mezzo di un pezzo di qualche materia solida iso-

lante. Così facendo però, si ha in contatto coll'arco voltaico un corpo solido, il quale, diventando incandescente pel calore dell'arco, modifica notevolmente la qualità della luce e le condizioni di economia della sua produzione. Egli è per questo motivo, che io ho collocato le lampade, ove è messo in pratica questo artificio, in una specie distinta, che è la terza di quelle in cui ho classificato tutti i sistemi d'illuminazione elettrica.

La più importante delle lampade di questa specie è la *candela elettrica* di *Jablochkoff*. In questa i due carboni, invece di essere, come nei regolatori, collocati di punta, sul prolungamento l'uno dell'altro, sono posti l'uno di fianco all'altro e separati da uno straterello di caolino o di gesso; l'arco si fa tra le due punte passando al di sopra del corpo coibente, il quale pel calore dell'arco si fonde e si volatilizza consumandosi gradatamente di mano in mano che si consumano e si raccorciano i due carboni. Così la candela si consuma regolarmente come una candela ordinaria. La luce che essa manda è irradiata dalle punte dei carboni e dal bottone formato frammezzo alle medesime dal coibente fuso; il tutto poi si trova annegato in una fiamma dovuta alla combustione dei carboni ed alla volatilizzazione del coibente.

La candela elettrica del *Jablochkoff*, troppo nota perchè io insista sulla descrizione dei suoi particolari, occupa nella storia delle invenzioni relative alla illuminazione elettrica un posto importantissimo. Essa fu il primo apparecchio che abbia fatto pensare alla possibilità di applicare la luce elettrica alla illuminazione pubblica, e fu realmente il primo apparecchio che abbia potuto servire alla illuminazione pratica delle strade e delle piazze.

Tuttavia essa non rappresenta un tipo di lampada elettrica destinato nell'avvenire alle grandi applicazioni. Ciò si può asserire per vari motivi:

1.° Il confronto tra la qualità della luce data dalle candele *Jablochkoff* e quella data dalle lampade differenziali di *Siemens* e di *Brush*, confronto che anche prima dell'esposizione di elettricità si è potuto fare per mezzo delle grandi installazioni di illuminazione elettrica coi sistemi di *Jablochkoff*, di *Brush* e di *Siemens* esistenti a Londra, dimostra nella candela elettrica una evidente inferiorità; le variazioni continue di intensità e di colorazione, che essa presenta, sono incomparabilmente più grandi di quelle presentate dagli altri due sistemi.

2.° La candela elettrica è inetta a riaccendersi da sè quando, per la rottura di un carbone o per a'tro accidente essa venga a spegnersi; la qual cosa obbliga a conservare daccanto alle lampade elettriche i fanali del gas, per rimpiazzarle in caso di bisogno.

3.° Il costo della luce è notevolmente più grande con le candele elettriche che con le lampade differenziali. Questo fatto deriva specialmente dall'esistenza del solido coibente che si fa incandescente fra le punte dei carboni; e noi avremo occasione di occuparcene fra poco, studiando in generale le condizioni di economia della illuminazione elettrica.

Il *Jamin* modificò, come è noto, la candela del *Jablochkoff* sopprimendo il coibente solido, ed utilizzando, per mantenere l'arco sulle punte dei carboni, l'azione elettro-dinamica esercitata su di esso dalla corrente opportunamente conformata. Ma il tentativo, per cui la candela elettrica rientrerebbe nella classe precedentemente studiata degli apparecchi ad arco voltaico senza coibente incandescente, con conseguente vantaggio economico, è assai male riuscito; nel palazzo dell'esposizione le lampade del *Jamin* figuravano fra le meno stabili.

Invece di adoperare, come nella candela elettrica, due carboni paralleli isolati con un corpo solido frapposto, si può ottenere lo stesso risultato disponendo i due carboni in modo che essi pel proprio peso oppure per effetto di una molla, si avanzino l'uno verso l'altro di mano in mano che si consumano, ma sieno tenuti colle loro punte a una distanza costante da un corpo solido isolante, contro cui si appoggiano costantemente. L'idea di costruire in questo modo lampade elettriche è molto antica, ed è messa in pratica in alcuni dei primi regolatori che si sieno inventati; è noto fra gli altri il semplicissimo regolatore di *Staitt* ed *Edwards*, nel quale i due carboni, disposti obliquamente e spinti in avanti ciascuno da una molla a spirale, si appoggiavano colle loro punte contro di un pezzo di materia refrattaria in modo che la distanza fra le punte rimanesse costante e l'arco voltaico lambisse la superficie del coibente. Questa medesima idea, attuata soltanto con una disposizione alquanto differente, è stata ripresentata recentemente, concretata in una lampada elettrica alla quale si è dato il nome di *Lampe-Soleil*.

La lampada a sole ideata dai signori *Clerc* e *Bureau* figurava e funzionava in molti esemplari nella esposizione. Essa era esposta nella sezione francese del *Clerc* e nella sezione

belga dalla Compagnia generale belga di luce elettrica. Oltre ad alcune parti della navata principale, essa illuminava assai bene un' sala di quadri.

Questa lampada si compone di un blocco di materia refrattaria nella parte inferiore del quale è scavata una cavità prismatica in forma di tetto. Nel blocco sono praticati due fori inclinati l'uno verso l'altro, i quali si aprono nella cavità alle due estremità dello spigolo dell'angolo diedro formato dalle faccie principali di questa. Due carboni scorrono in questi fori e tendono ad avanzarsi in grazia del proprio peso; questi due carboni per mezzo di conduttori flessibili comunicano con due reofori. L'orifizio inferiore dei due buchi non è abbastanza grande per lasciar passare i carboni, di modo che le estremità di questi si trovano costantemente ad una medesima distanza. L'arco voltaico si forma tra i due orifizi lunghesso lo spigolo dell'angolo diedro al fondo della cavità del blocco refrattario. Quando l'arco è stabilito, il calore che in esso si sviluppa porta all'incandescenza la sostanza del blocco, il quale diventa la principale sorgente di luce. Il blocco è di marmo; ma per l'elevata temperatura a cui è sottoposto si trasforma presto, in vicinanza dello spigolo, ove si forma l'arco voltaico, in calce. La luce è adunque emessa da calce incandescente come nella lampada di *Drummond*.

Praticamente il blocco refrattario è formato di parecchi pezzi: due pezzi di granito servono di sostegno a due pezzi di una pietra bianca, lungo i quali scorrono i due carboni; tra questi due pezzi di pietra bianca stanno due pezzi di marmo formanti le due faccie dell'angolo diedro. Al di sopra un pezzo trapezoidale di pietra e due cunei completano il parallelepipedo. Tutti i detti pezzi sono collocati dentro ad una staffa di ghisa e stretti con viti. La staffa è a sua volta introdotta in un collare metallico, a cui sono attaccati i pezzi destinati a sostenere la lampada.

Per la qualità e per la fissità la luce della *Lampe-Soleil* si assomiglia, come si poteva prevedere, a quella di *Drummond*, ma spesso è assai meno intensa e presenta una tinta aranciata forse eccessivamente sensibile. Quando questo succede, la lampada, benchè chiusa in un pallone di vetro appannato, presenta un aspetto che ricorda quello di una lampada ad olio male accesa. Ma l'inconveniente più grave sta in ciò, che la presenza del corpo solido incandescente, che irradia sotto forma di ca-

lore oscuro, una buona parte del calore sviluppato nell'arco voltaico, nuoce inevitabilmente al rendimento economico dell'apparecchio. L'asserzione degli espositori, che la lampada *Soleil* possa produrre la luce di 100 a 110 carcel per ogni cavallo dinamico consumato, è assolutamente inverosimile, e noi avremo occasione di convincercene quando, più sotto, ci occuperemo delle condizioni economiche della illuminazione elettrica. Benchè la lampada di cui parliamo, abbia alcune utili proprietà, che possono raccomandarla in alcuni casi speciali, io credo che essa non si possa annoverare fra quelle a cui l'avvenire riserva applicazioni grandiose.

Questo, che io asserisco per le lampade *Soleil*, si deve estendere alle altre lampade, che pur figuravano nella esposizione, nelle quali l'arco voltaico non ha altro ufficio che quello di rendere incandescente un pezzo di materia solida.

37. La quarta specie di lampade elettriche comprende apparecchi, nei quali, come negli ultimi di cui abbiamo parlato, la luce è emessa in parte da un arco voltaico ed in parte da una materia solida incandescente; ma la disposizione di questi apparecchi è affatto diversa, e la luce da essi prodotta si assomiglia di più, tanto per la quantità, quanto per l'economia, a quella data dalle lampade ad arco voltaico. Io ho denominato questi apparecchi: lampade a contatto imperfetto, e per darne una idea cito il più importante di tutti, che è la lampada *Werdermann*.

In questa lampada il carbone positivo ha la forma di un disco di circa 5 centimetri di diametro, posto in alto, orizzontalmente. Il carbone negativo è invece una bacchetta sottile situata verticalmente al disotto del disco, sull'asse di questo; essa è sollecitata dal basso verso l'alto da un contrappeso o da una molla, per cui si appoggia colla punta sul centro della faccia inferiore del disco, esercitandovi una leggera pressione. Due labbra di rame si appoggiano lateralmente contro la bacchetta esercitandovi una pressione sufficiente per istabilire con essa un buon contatto, ed abbastanza piccola perchè il carbone possa scorrere liberamente fra di esse di mano in mano che, consumandosi, esso viene sollevato dalle molle o dal contrappeso. Le due labbra di rame sono collegate col reoforo negativo. Quando passa la corrente un breve tratto della bacchetta di carbone, in vicinanza della punta, diventa incandescente, e tra la punta ed il disco di carbone, che le sta di fronte, si produce

un breve arco voltaico, la luce bianca del quale si mescola con quella aranciata emessa dal carbone incandescente. Più lampade di questa specie possono funzionare regolarmente alimentate da una medesima macchina generatrice; in questo caso esse vengono riunite in derivazione: tutti i dischi di carbone sono posti in comunicazione col reoforo positivo, e tutte le bacchette sono collegate col reoforo negativo.

Nei particolari la lampada *Werdermann* è stata migliorata con molto ingegno dal signor *Napoli*; ed è colle disposizioni datele da questo ingegnere che essa figurava nella mostra di Parigi. Essa era esposta dalla Compagnia generale di illuminazione elettrica di Parigi, la quale per mostrare una delle applicazioni per cui la si potrebbe preferire, illuminava colla medesima un piccolo teatro appositamente preparato nel palazzo dell'industria.

La medesima società presentava all'esposizione alcune lampade *Reynier*, lampade fondate sul medesimo principio di quelle di *Werdermann* ma diversamente disposte. Con 8 di queste lampade si faceva l'illuminazione della sala detta del Presidente della Repubblica.

Le lampade a contatto imperfetto di *Werdermann* e di *Reynier* non sono recentissime, e per molte esperienze erano note già prima della esposizione i loro pregi. L'esposizione non ha fatto che riconfermare ciò che si sapeva, dimostrando per mezzo di una installazione assai bene studiata, che le lampade di questa specie possono dare una luce bianca quasi come quella dell'arco, perfettamente fissa, regolabile a volontà, e divisibile entro limiti molto estesi. Se si fossero potute eseguire misure dinamometriche e fotometriche, si sarebbe presumibilmente dimostrata anche l'economia notevole che esse possono offrire in confronto colle candele elettriche o colle lampade *Soleil*. La disposizione loro è perfettamente razionale; e fra tutte le lampade destinate a suddividere la luce esse sono probabilmente quelle che consumano, per una data quantità di luce prodotta, la minore quantità di lavoro meccanico. Ma le considerazioni che dovremo fare fra poco discorrendo in generale delle condizioni di economia della illuminazione elettrica e dell'avvenire probabile di questa, ci condurranno a credere che per l'illuminazione pubblica abbiano maggiore probabilità di trovare grandi applicazioni lampade più potenti, come quelle di *Brush* o di *Siemens*, e che per l'illuminazione domestica abbiano ad essere

preferiti apparecchi più maneggevoli, quali sono le lampade ad incandescenza. Quindi io penso che le lampade a contatto imperfetto, le quali avrebbero forse avuto un grande avvenire se *Siemens* non ci avesse dato colle lampade differenziali un mezzo migliore per far agire molte lampade in un medesimo circuito, attualmente non possono gareggiare cogli altri sistemi se non forse in alcuni casi affatto speciali.

38. Noi arriviamo ai sistemi di illuminazione elettrica, che abbiamo classificato nella quinta specie: ai sistemi ad *incandescenza*. Si sogliono comprendere con questo nome i sistemi dove la luce è data dall'irradiazione di un solido reso incandescente dal passaggio attraverso ad esso di una corrente elettrica.

L'idea di produrre la luce per mezzo dell'incandescenza di una porzione resistente del circuito di una corrente non è nuova; essa è così semplice, che si presenta da sè alla mente, e di fatto si è tentato di metterla in pratica già da molto tempo, prima ancora che il *Foucault* facesse conoscere il suo primo regolatore. Già nel 1845 un tale King, russo, prendeva un brevetto di privativa per un metodo per produrre la luce per mezzo della incandescenza di una asticciuola di carbone nel vuoto, e brevetti analoghi ottenevano Greener e Staite nel 1846, e Petrie nel 1849.

Questi sistemi furono per molto tempo dimenticati, ma nel 1874 un russo, certo Lodiguine li richiamava a vita brevettandoli un'altra volta; e Kosloff, Kann, Bouliguine miglioravano l'apparecchio. Finalmente nel 1879 l'Edison brevettava una lampada basata sull'incandescenza di un filo formato con una lega di platino e di iridio, e poco dopo un'altra lampada ad incandescenza, ove al filo metallico era sostituita una listerella arcuata di carbone fatta con cartoncino, situata nell'interno di un palloncino di vetro vuotato d'aria. Questi apparecchi, che in grazia di alcuni speculatori levarono molto rumore e provocarono nel pubblico speranze eccessive, e nell'industria del gaz un panico esagerato, non riuscirono allora ad alcun risultato diretto; ma furono l'origine di una serie di studi che in questi giorni condussero alla costruzione di apparecchi veramente degni di nota. Le odierne lampade elettriche ad incandescenza sono tali da far credere, almeno dal punto di vista fisico, risolto il problema di produrre la luce elettrica in condizioni adatte alla illuminazione dei piccoli ambienti, delle abitazioni private; queste lampade furono una delle più importanti novità della esposizione.

Attualmente le lampade ad incandescenza proposte sono assai numerose, ma per lo scopo nostro, avuto riguardo alla scarsità presente dei dati d'esperienza relativi, dobbiamo limitarci a considerare i quattro sistemi principali che figuravano alla esposizione, i quali sono quelli di *Edison*, di *Swan*, di *Maxim* e di *Lane Fox*.

La lampada di *Edison* è costituita da un sottile filamento di carbone piegato a ferro di cavallo e collocato nell'interno di un palloncino di vetro in cui, con una pompa a mercurio è stato fatto il vuoto più perfetto che praticamente sia possibile. Le due estremità del filo di carbone sono collegate a due fili di platino che escono dal palloncino e servono ad inserire il carbone nel circuito della corrente.

Il filamento di carbone è ottenuto colla carbonizzazione di una fibra di bambù. Prima di chiudere il palloncino, mentre si sta facendo il vuoto colla pompa a mercurio, il filamento è tenuto incandescente per un certo tempo per mezzo di una corrente elettrica; in questo modo esso viene privato dei gas che vi erano condensati, i quali altrimenti avrebbero screpolato il carbone ad ogni riscaldamento ed avrebbero nociuto alla compattezza, alla tenacità ed alla durata del medesimo. Con questa operazione il filo di carbone acquista una densità ed una durezza affatto speciali, per cui esso, benchè non sia più grosso di un crine, può resistere per molto tempo alle variazioni di temperatura ed ai sussulti a cui è esposto nell'uso. Le due estremità del filo di carbone presentano un rigonfiamento e vengono strette da due piccole pinzette di platino colle quali terminano i due reofori di platino destinati a mettere il carbone in comunicazione coi conduttori esterni. La giuntura è saldata per mezzo di un deposito di rame ottenuto elettricamente. All'esterno i due fili di platino terminano in due pezzi metallici isolati, i quali possono essere messi in comunicazione coi reofori che vengono dal generatore, oppure essere separati dai medesimi per mezzo di un commutatore adatto al sostegno della lampada, commutatore che presenta l'aspetto di un ordinario robinetto e che si maneggia nella medesima maniera.

Edison costruisce lampade di due grandezze diverse che denomina lampade e mezza lampade. Le lampade, dicono i suoi rappresentanti, danno una luce equivalente a 16 candele, ossia di circa 1,6 *carcel*, e le mezza lampade equivalgono a circa la metà, ad 8 candele, ossia a 0,8 *carcel*. Con un cavallo dinamico

si possono attivare dieci mezza lampade, oppure 5 a 6 lampade grandi. La resistenza elettrica di una lampada, a caldo, nelle condizioni normali, è di circa 125 *ohm*; quella di una mezza lampada è di circa 250 *ohm*. Quando una lampada funziona nelle condizioni normali, la differenza dei potenziali tra i suoi due contatti dev'essere di circa 100 *volt*, e quindi, ritenuto il valore della resistenza suindicata, l'intensità della corrente attraverso al filamento di carbone dev'essere, nello stato normale, intorno a 0,800 *ampère*. Le lampade vengono tutte collegate in derivazione, o, come dicesi anche, in quantità: dai poli della macchina generatrice partono due grossi reofori di resistenza trascurabile, o minima, e ciascheduna lampada è inserta, sola, su di un conduttore il quale si attacca con una estremità all'uno e con l'altra all'altro reoforo. In questo modo la corrente si divide in tante correnti derivate sensibilmente uguali quante sono le lampade, ed il lavoro necessario per tenere in azione la macchina dinamo-elettrica generatrice è proporzionale al numero delle lampade attivate.

La resistenza del sistema di molti circuiti derivati è tanto più piccola quanto più questi sono numerosi; quindi benchè ciascuna lampada presenti da sola una resistenza considerevole, l'insieme di tutte le lampade, in un impianto di qualche importanza, presenta effettivamente una resistenza piccolissima; è dunque necessario, per avere un buon rendimento economico, adoperare una macchina dinamo-elettrica di resistenza interna piccolissima. Egli è a quest'uopo che *Edison* ha dato alla sua macchina generatrice la disposizione che noi abbiamo descritto nel primo paragrafo di questa relazione. Nella macchina dinamo-elettrica di *Edison* la spirale magnetizzante per l'induttore è posta in derivazione e così non figura nella resistenza interna della macchina; la spirale indotta poi è fatta con grosse sbarre di rame, le quali hanno una resistenza estremamente piccola; la resistenza interna complessiva non raggiunge, come abbiamo detto a suo tempo, il valore di un centesimo di *ohm*. Con questo minimo valore della resistenza interna, e col modo di collegamento delle lampade di cui abbiamo parlato, pel quale basta mantenere tra i due grandi reofori principali una differenza di potenziali uguale a circa 100 *volt*, è sufficiente che la macchina generatrice abbia una forza elettro-motrice di poco superiore a questo numero: come abbiamo detto descrivendo la macchina, *Edison* dà a questa forza elettro-motrice il valore di 103 *volt*,

qualunque sia il numero delle lampade che la macchina è destinata ad alimentare.

Pel buon funzionamento e per la conservazione della lampada è necessario che, qualunque sia il numero delle lampade in azione, la differenza dei potenziali nei due reofori principali, ossia ai due poli della macchina generatrice rimanga sempre la stessa. Io ho detto già, parlando della macchina e trattando in generale della distribuzione dell'energia per mezzo della corrente elettrica, che nel sistema di *Edison* la costanza dei potenziali ai due poli della generatrice si ottiene coll'opera di un sorvegliante a ciò delegato. Ai due poli della macchina dinamo-elettrica è attaccato un circuito derivato di grandissima resistenza (180 000 *ohm*), nel quale è inserito un galvanometro a riflessione di *W. Thomson*. La intensità della corrente indicata da questo galvanometro è, con grandissima approssimazione, proporzionale alla differenza dei potenziali sui due poli della macchina, e la graduazione della scala è fatta in modo da dare direttamente questa differenza di potenziali espressa in *volt*; un *volt* corrisponde a 3 divisioni della scala del galvanometro. A seconda delle indicazioni di questo galvanometro il sorvegliante introduce o toglie con un reostato a quadrante resistenze convenienti nel circuito della corrente eccitatrice, e fa variare nel senso voluto l'intensità del campo magnetico induttore. Invece del galvanometro, può servire a dare al sorvegliante le necessarie indicazioni una lampada normale, che si osserva per mezzo di un fotometro di uso comodo, appositamente costruito.

Oltre alla lampada, al generatore ed all'apparecchio per controllo e per il governo della corrente, *Edison* ha studiato i più minuti particolari del suo sistema. Io non potrei entrare in una descrizione di tutti questi senza perdere di mira lo scopo principale del mio scritto; debbo tuttavia accennare ad alcuni di essi i quali possono dare una idea dei vari problemi secondari a cui conduce un impianto di illuminazione elettrica come quello di *Edison*, e degli artifizii coi quali quei problemi possono essere risolti.

In primo luogo merita una menzione il modo in cui, secondo il progetto di *Edison*, sono disposti i conduttori principali, e quello in cui sono prese su questi le derivazioni. I conduttori principali che partono dai due poli della macchina generatrice e dai quali si debbono fare le *prese* di corrente pei vari utenti, sono di forma semicilindrica; sono piatti da una parte ed ar-

rotondati dall'altra; così essi, disposti l'uno sull'altro con in mezzo uno strato di materia coibente, formano un solo cilindro, che si ricopre con un involucri isolante, e si distende sotto terra lungo la strada. Per prendere una derivazione si toglie per un breve tratto l'involucro isolante, si tagliano i due conduttori semicilindrici, si ripiegano i capi verso l'esterno, e si stringono i due capi di uno dei conduttori in una morsa, e quelli dell'altro in un'altra morsa. Dalle due morse partono i fili della derivazione. Ma acciocchè la corrente non possa distrurre le lampade quando per accidente essa diventasse troppo intensa, una delle due comunicazioni delle morse coi fili della derivazione è fatta coll'intermediario di un pezzo di filo di piombo, il quale, quando l'intensità della corrente è troppo grande, si fonde, e rompe così il circuito. Tutto questo è protetto da una scatola ermeticamente chiusa e ricoperta di un intonaco isolante.

Una seconda particolarità, che merita di essere notata, riguarda la disposizione degli interruttori con cui si accendono o si spengono le lampade. La chiave di questi interruttori, somigliante per l'aspetto a quella di un robinetto ordinario, comanda una vite, la quale porta alla sua estremità una specie di tappo tronco-conico. Questo pezzo conico, ritirandosi, si allontana da due larghe lamine di contatto, e così rompe il circuito in due punti diversi e su di una larga superficie. In tal modo si evitano le grandi scintille di rottura, che potrebbero altrimenti essere causa di deterioramenti negli apparecchi od anche dar luogo a pericoli di incendio.

Merita pure un cenno un piccolo apparecchio regolatore dell'intensità della corrente, il quale permette di affievolire la luce in quella proporzione che si desidera. Esso è una specie di reostato a carboni, composto di bacchette cilindriche di carbone di differenti sezioni e di un semplice commutatore, che permette di far passare la corrente attraverso a quel carbone che si desidera. Facendo in questa maniera variare la resistenza, si regola l'intensità della luce. Le bacchette di carbone sono disposte verticalmente dentro ad un astuccio cilindrico fatto, per diminuire il riscaldamento, con lastra tutta traforata. Sull'astuccio del reostato sta una lampada ad incandescenza colla quale si riconosce la posizione più conveniente del regolatore.

Debbo finalmente notare gli apparecchi per la misura della quantità di elettricità data a ciascun utente; apparecchi destinati

a fare per la distribuzione delle correnti elettriche ciò che fanno i contatori nelle attuali distribuzioni di gaz. Gli apparecchi a quest'uopo immaginati dall' *Edison* sono due: uno di essi è automatico; l'altro esige, ad ogni misurazione, una pesata. Il primo è costituito da un giogo di bilancia a cui sono appese, alle due estremità, due lastre di rame piegate a cilindro, identiche, costituenti due elettrodi. Queste due lastre sono immerse in due vasi distinti pieni di una soluzione di solfato di rame e muniti di due altri elettrodi fissi. I due voltometri a solfato di rame così costituiti sono attraversati dalla corrente in versi opposti, in modo che mentre una delle lastre appese al giogo di bilancia riceve un deposito elettrolitico di rame, l'altra si consuma; mentre la prima va aumentando di peso l'altra va diminuendo. Quando la differenza di peso delle due lastre ha raggiunto un valore determinato, la bilancia trabocca. Ma nel traboccare del giogo un commutatore, facile ad immaginarsi, inverte i contatti coi reofori ed inverte così la direzione della corrente attraverso ai due truogoli; allora la lastra, che nel periodo precedente si era andata consumando, comincia ad aumentare di peso, e quella che prima aveva aumentato di peso comincia a consumarsi; quando una determinata quantità di elettricità è passata attraverso ai due voltometri, lo squilibrio si produce nel senso opposto al precedente, e la bilancia trabocca dall'altra parte. Allora il commutatore inverte un'altra volta la corrente, la quale dopo un altro intervallo di tempo fa traboccare la bilancia nel senso primitivo. Così seguitando, il giogo di bilancia fa una serie di oscillazioni, a ciascuna delle quali corrisponde un dato numero di grammi di rame deposto, e quindi una data quantità di elettricità passata, un dato numero di *coulomb* somministrati all'utente. È ora facile immaginare un contatore elettrico il quale indichi in ogni istante il numero delle oscillazioni compiute.

L'altro apparecchio misuratore è più semplice. Esso consiste in due voltometri a solfato di rame, i cui elettrodi possono facilmente essere ritirati e pesati. Uno di questi voltometri è nelle mani dell'abbonato, l'altro è tenuto chiuso dal controllore.

Oltre alle lampade con cui erano illuminate le due sale destinate alla mostra degli svariati suoi apparecchi ed alcune altre parti del palazzo dell'esposizione, *Edison* presentava varie foggie di sostegni per le sue lampade ad incandescenza: come bracci e mensole, lucerne trasportabili, lucerne per miniere.

In queste ultime la lampada elettrica era contenuta in un vaso di vetro più grande pieno d'acqua, e nell'acqua erano immersi tutti i contatti, dove, nel momento della rottura del circuito, sono possibili scintille di estracorrente. In questo modo si evita ogni pericolo di incendio o di esplosione.

Contemporaneamente all'*Edison*, e sulla medesima via ha lavorato per il perfezionamento delle lampade ad incandescenza *J. W. Swan* di *Newcastle-on-Tyne*. Questi però non prese privata per il suo sistema se non nel dicembre del 1880, e non presentò alla esposizione di elettricità di Parigi altro che la lampada. Per compenso l'esposizione delle lampade *Swan* è stata la più grandiosa e la meglio riuscita. Più di 300 lampade di questo sistema disposte in festoni lungo le pareti e riunite in alcuni piccoli lampadari illuminavano la grande sala del congresso, circa 100 illuminavano la sala del caffè al piano superiore, altre molte rischiaravano il padiglione dell'amministrazione dei telegrafi inglesi, ed altre erano disseminate in tutto il palazzo dell'esposizione.

La lampada di *Swan* si compone, come quella di *Edison*, di un filo di carbone destinato a diventare incandescente per effetto della corrente, contenuto in un palloncino di vetro in cui si è fatto il vuoto. Le comunicazioni del filamento di carbone coi reofori esterni sono fatte per mezzo di due portacarboni di platino, come nella lampada di *Edison*; ma l'unione tra questi portacarboni e le due estremità del filamento di carbone è fatta alquanto diversamente; i portacarboni terminano ciascuno in una coppia di mascelle cilindriche, fra le quali il filo di carbone si può stringere mediante un anello di pressione, precisamente come una matita si stringe fra le mascelle del portamatite. Il filo di carbone è assai ingrossato alle due estremità dove dev'essere tenuto dai portacarboni. Esso poi, invece di essere semplicemente piegato a ferro di cavallo come nella lampada di *Edison*, forma una spira di un'elica appiattita, in vicinanza del centro del palloncino, dove si vuole concentrare la massima quantità di luce.

La preparazione dei fili di carbone è nel sistema di *Swan* alquanto diversa da quella praticata dall'*Edison*. Questi filamenti sono preparati colla carbonizzazione di fili di cotone. Si prendono pezzi di filo di cotone della lunghezza di circa 10 centimetri, e se ne ingrossano le estremità attorcigliandovi altro filo. Si immergono allora i fili nell'acido solforico dilungato con

acqua nella proporzione di due parti d'acido con una di acqua, e con questa operazione si produce in essi una modificazione analoga a quella con cui si fa la pergamena vegetale: i fili diventano consistenti e duri. Dopo di ciò i fili vengono adagiati in mezzo a polvere fina di carbone dentro ad un recipiente di terra, che si chiude ermeticamente. Si porta il recipiente in un fornello e lo si riscalda per un certo tempo al color bianco. Allora si estraggono i fili carbonizzati, e si mettono a sito nei palloncini di vetro; si fa il vuoto nei palloncini con una pompa a mercurio, e poi, seguitando sempre ad agire colla pompa, si portano i fili di carbone all'incandescenza per mezzo di una corrente elettrica. Dopo questa operazione, che può durare una mezz'ora, il filo di carbone è diventato assai duro, più denso e meno luminoso. In queste condizioni esso è atto a servire; si chiude il palloncino e la lampada è preparata.

Secondo le indicazioni fornite dai rappresentanti dell'espositore, la resistenza elettrica di una lampada è, a freddo, di circa 100 ohm, ma quando la lampada è in funzione ed il filo di carbone è incandescente, questa resistenza discende ad un valore compreso tra 30 e 36 ohm. Nelle condizioni normali ciascuna lampada dev'essere attraversata da una corrente di intensità prossimamente uguale ad un ampère; e, se l'asserzione dell'inventore merita fede, la luce prodotta può variare tra 1,5 e 2,5 carcel. Con un cavallo dinamico si possono, secondo l'inventore, alimentare in media 10 lampade di questo sistema; io però ho ragioni per credere che quando le lampade hanno l'intensità di 1,5 a 2,5 carcel, non se ne possano in realtà alimentare più di 5 a 6 per cavallo dinamico.

Se si fa astrazione dalle differenze, che abbiamo enumerato, le quali riguardano il modo di fabbricazione del filo di carbone ed il suo modo d'attacco coi portacarboni, noi vediamo che per ciò che nella lampada vi ha di essenziale, per le condizioni elettriche, una sola differenza di qualche importanza sussiste fra i due sistemi di *Edison* e di *Swan*, che abbiamo descritto: la differenza delle resistenze elettriche. La resistenza della lampada di *Edison* è, a parità di potenza luminosa, assai più grande di quella della lampada di *Swan*. Questa differenza di resistenza porta seco come conseguenza la necessità di seguire norme diverse nella disposizione dei circuiti e nella distribuzione delle lampade nei medesimi. Colle piccole resistenze delle lampade di *Swan* non si potrebbero disporre moltissime lam-

pade in altrettanti circuiti derivati senza essere costretti a dare alle altre parti del circuito resistenze minime, e quindi grandissime sezioni, oppure rinunciare ad un buon coefficiente di rendimento economico. Egli è perciò che lo *Swan*, almeno per ora, pure adottando come disposizione generale, normale, quella ad archi multipli, dispone tuttavia in alcuni casi le sue lampade in gruppi di 5, di 10, od anche di 100 lampade collegate in serie, su di un medesimo circuito.

Colle lampade lo *Swan* ha esposto alcune forme di candelieri e di lanterne per diversi usi. Io ricorderò fra queste ultime la lanterna trasportabile per le miniere. Essa è costituita da una lampada *Swan* contenuta in un recipiente più grande di vetro robusto, protetto a sua volta contro gli urti da una corona di fili metallici arcuati. I reofori sono riuniti in un tubo di caoucciù e formano una cordicella flessibile, comoda nei trasporti.

Una terza lampada ad incandescenza che l'esposizione ci ha presentato è quella di *Hiram-Maxim*, esposta dalla *United States Electric Lighting Company* di *New-York*.

In questa lampada, come nelle precedenti, il corpo, che si porta all'incandescenza per mezzo della corrente e che irradia la luce, è ancora un filamento di carbone. Ma questo filamento differisce da quelli delle lampade di cui abbiamo già parlato, per la forma e per la preparazione. La forma è quella di una M, ed ha lo scopo di concentrare verso il mezzo del palloncino un'estesa superficie raggianti. La preparazione si accosta a quelle primitivamente tentate, ma senza successo, da *Edison* e da *Swan*: il carbone è fatto per mezzo di un cartoncino. La preparazione è la seguente: si colloca un pezzo di cartoncino *bristol* tra due piastre di ferraccio convenientemente scaldate, in modo che esso si carbonizzi leggermente ed assuma una tinta rossastra. Dal cartoncino semicarbonizzato si taglia con uno stampo una listerella strettissima della forma di un M voluta; si porta questa listerella in un'atmosfera di idrocarburo molto ricco di carbonio, il quale formando alla sua superficie un deposito di carbone, ne ottura i pori e le dà una conduttività sufficiente. Si fissa allora la listerella a sito nelle lampade, si fa il vuoto, e poi si fa passare una corrente elettrica pel filamento di cartoncino, in modo da renderlo incandescente. Con ciò il cartoncino finisce di carbonizzarsi, ed inoltre, se si ha cura di seguitare a fare il vuoto nel palloncino, mentre il filamento è

incandescente, si evacuano completamente i gaz che questo teneva condensati.

In grazia della sua forma appiattita il carbone può fissarsi facilmente ai fili metallici del circuito; basta a quest'uopo rendere appiattite anche le estremità dei fili di platino e ripiegarle in modo da formare un piccolo anellino; poi mettere di contro il carbone ed inchiodarlo per mezzo di una puntina a due teste analoga ad una piccola chiavarda. La saldatura dei reofori di platino col vetro del recipiente è fatta per mezzo di uno smalto o cemento, nella massa del quale essi sono annegati; e siccome questo cemento si salda con facilità col vetro, così non c'è pericolo che gli effetti della dilatazione dei fili possano alterare la perfezione del vuoto.

La resistenza elettrica delle lampade di *Maxim* è compresa tra 40 e 60 ohm, e la loro potenza luminosa è, secondo l'asserzione dell'inventore, di 26 candele, ossia di circa 2,6 carcel. Sei lampade richiedevano, secondo l'inventore, il lavoro di un cavallo vapore.

Le macchine dinamo-elettriche destinate ad attivare le lampade *Maxim* ricevono la corrente eccitatrice da una macchina eccitatrice indipendente; e se più macchine generatrici sono adoperate simultaneamente, l'eccitatrice è unica e la sua corrente magnetizza gli induttori di tutte. L'eccitatrice è munita di un regolatore automatico che fa variare l'intensità della corrente spostando le spazzole raccogliatrici; di questo ingegnoso apparecchio abbiamo dato una descrizione trattando, più sopra, della distribuzione delle correnti elettriche e degli artifici che servono a mantenere la costanza della loro intensità.

Debbo accennare finalmente alla lampada di *Lane-Fox*, la quale era esposta dalla *Anglo-American Brush-electric Light Corporation*, e che illuminava il padiglione di questa società, la sala di lettura della esposizione, e quelle dei telefoni.

La lampada ad incandescenza del *Lane-Fox* si assomiglia a tutte quelle di cui abbiamo già parlato, ma sono differenti la natura del carbone incandescente, il modo di unire questo carbone ai fili di platino, ed il modo di riunire questi fili di platino coi reofori esterni. Il filamento di carbone, invece di essere rigonfiato alle estremità, è di diametro costante, e le sue due estremità sono introdotte in due piccoli tubetti di grafite, infilati a loro volta, a sfregamento forzato, sui fili di platino. Il palloncino si tiene sempre sospeso colla tubulatura in alto. In

questa tubulatura il vetro è lavorato in modo da formare una specie di ampollina con due colli rivolti verso il basso; in ciascuno di questi colli è saldato uno dei fili di platino, che servono da portacarboni. Per evitare il riscaldamento dei due fili i due colli di vetro, sull'asse dei quali essi giacciono, sono ripieni di mercurio. Al disopra, nel corpo dell'ampollina, vi è del cotone pigiato ed al disopra di questo un tappo di smalto, che chiude il tutto.

Il filamento di carbone destinato a diventare incandescente è costituito da uno stelo di gramigna, oppure è fabbricato con fibre vegetali vulcanizzate ed impregnate di ossicloruro di zinco. Come negli altri sistemi si rendono incandescenti questi carboni per mezzo di una corrente, mentre si continua a fare il vuoto nel palloncino. Per fare il vuoto *Lane-Fox* impiega invece della pompa di *Sprengel* un sistema analogo a quello seguito dall'*Alvergniat* per la fabbricazione dei tubi di *Geissler*, con qualche modificazione destinata a renderlo più comodo e migliore.

La resistenza elettrica media di una di queste lampade a freddo è di 60 a 100 ohm, a caldo è circa la metà. Nel funzionamento normale ciascuna lampada deve essere attraversata da una corrente di intensità compresa tra 1 ed 1,25 ampère; talchè ciascuna lampada richiede, per essere alimentata, circa un decimo di cavallo. Le lampade si dispongono in circuiti derivati. Secondo l'asserzione degli espositori la luce data da una lampada equivale a circa 1,2 carcel.

Le macchine generatrici adoperate per le lampade *Lane-Fox* sono quelle di *Brush*, ed è la società proprietaria della privata *Brush* quella che ha acquistato il diritto di applicare in Europa questo sistema ad incandescenza.

Come ho accennato già trattando in generale della distribuzione delle correnti elettriche, il *Lane-Fox* ha presentato insieme alle lampade un regolatore automatico per la intensità. L'apparecchio, assai complicato, si compone di un vibratore analogo a quello delle ordinarie sonerie elettriche, il quale fa girare di un dente ad ogni vibrazione una ruota dentata ad asse verticale. L'asse di questa ruota porta all'estremità superiore un piccolo rocchetto dentato conico, il quale si trova frammezzo a due ruote dentate coniche, portate da un medesimo albero orizzontale; questo albero finalmente porta un braccio, la cui estremità percorre, quando l'albero gira, un arco di circolo sul quale è disposta una serie di resistenze crescenti in-

trodotte nel circuito; la resistenza del circuito cresce, o diminuisce, secondochè il braccio mobile viene ad appoggiare sugli uni o sugli altri contatti, girando in un verso o nel verso opposto. Ora l'asse orizzontale portante il braccio e le due ruote coniche è mobile longitudinalmente, ed il suo movimento è comandato dall'armatura comune di due elettro-magneti, le quali, quando sono attive, gl'imprimono movimenti opposti. Un *relais* a doppio contatto, nelle elettro-calamite del quale passa una corrente derivata da quelle in cui si trovano le lampade, manda la corrente nell'una o nell'altra elettro-magnete secondochè l'intensità della corrente che dà la luce supera l'intensità normale od è inferiore alla medesima.

39. Ho descritto pochi sistemi di lampade elettriche, i quali possono servire a rappresentare i tipi principali degli apparecchi oggi inventati. L'esposizione, io ho detto cominciando, presentava un numero grandissimo di congegni diversi, che noi non abbiamo che classificato, limitando le descrizioni a quei pochi che meglio potevano servire a dare una idea dei caratteri distintivi delle diverse classi. Descrivere tutte le forme e le disposizioni che si sono presentate, e giudicare del merito di ciascheduna, sarebbe, per ora, impossibile, ed il Giurì stesso dell'esposizione, sentendo questa impossibilità, non seppe evitare il pericolo di lasciare senza premio alcuna invenzione realmente di valore, altrimenti che decretando un numero grandissimo di ricompense.

Ma una ricerca ci è possibile, e questa costituisce lo scopo principale del nostro studio: quali applicazioni sono riservate ai diversi tipi principali di lampade elettriche? Quale potrà essere nell'avvenire l'importanza di ognuna delle classi distinte di cui abbiamo parlato?

Per rispondere a questo quesito dovremo tener conto di molte circostanze, quali sono la qualità e la colorazione della luce, la sua fissità, la sua suddivisibilità, la comodità degli apparecchi, le dimensioni dei medesimi, la facilità delle riparazioni, ecc....; ma prima d'ogni cosa dovremo aver paragonato le diverse classi di lampade considerandole dai seguenti punti di vista:

- 1.° Del lavoro meccanico consumato dalle diverse classi di lampade per la produzione di una data quantità di luce.
- 2.° Del costo complessivo della illuminazione.

Ad ordinare le diverse classi di lampade elettriche secondo il consumo di lavoro meccanico necessario per la produzione

di una determinata quantità di luce basta un principio teorico affatto elementare, che è una conseguenza immediata della natura fisica di ciò che noi diciamo *luce*. Quando un corpo è incandescente per effetto del calore, esso non irradia solamente luce, ma irradia eziandio, ed in grande proporzione, calore inetto ad impressionare l'organo della vista, calore oscuro. La radiazione luminosa non rappresenta che una piccola frazione della radiazione totale, e siccome ciò che equivale al lavoro speso, ciò che costa è la radiazione totale, così noi possiamo dire che la luce prodotta, che rappresenta l'effetto utile, non è mai altro che una piccola frazione di ciò che si spende. Ma il valore di questa frazione dipende dalla temperatura del corpo raggianti, e cresce rapidamente col crescere di questa; uguale a zero per temperature inferiori a circa 500 gradi, questa frazione comincia ad assumere valori sensibili quando la temperatura supera quel limite, e cresce in seguito tanto più rapidamente quanto più la temperatura è elevata. Un corpo a bassa temperatura, a temperatura inferiore a circa 500 gradi, irradia bensì calore, ma questo calore corrisponde a moti vibratorii di lunghezza d'onda troppo grande per essere sentiti come luce dalla retina; ma se la temperatura aumenta, a questi moti vibratorii, che continuano ad essere irradiati, se ne aggiungono altri di periodo più breve, di minor lunghezza d'onda, che nel nostro occhio producono l'impressione di una luce rossa; se la temperatura aumenta ancora, altre vibrazioni più rapide si aggiungono alle preesistenti, e queste, che da sole produrrebbero sul nostro occhio l'impressione di una luce aranciata o gialla, unite colle rosse, che seguitano ad essere emesse danno un rosso più vivo volgente all'aranciato; a temperature ancora più elevate si sovrappongono a queste altre nuove radiazioni ancora più rapide, le quali da sole darebbero l'impressione di una luce verde, azzurra, violacea, e che, tutte riunite e sovrapposte alle preesistenti, danno come risultante una luce prima aranciata, poi gialla, e poi di più in più volgente al bianco.

Da questo fatto deduciamo che la quantità di lavoro meccanico necessario per produrre una determinata quantità di luce è tanto più piccola quanto più elevata è la temperatura della sorgente luminosa; e con questo semplice principio possiamo subito paragonare tra loro, sotto questo aspetto, le varie specie di lampade elettriche che abbiamo enumerato.

Le lampade nelle quali il corpo raggianti ha la temperatura più elevata sono quelle ad arco voltaico; si sa che la più alta temperatura che si sappia produrre è quella del carbone positivo di una lampada ad arco. Nell'arco voltaico poi la temperatura è tanto più elevata quanto maggiore è la quantità di energia che per effetto della corrente si accumula in esso: a parità di altre circostanze essa è tanto maggiore quanto più è grande il lavoro meccanico speso per produrre l'arco, o, ciò che val lo stesso, quanto più è grande l'intensità della luce data dall'arco. Dunque possiamo dire subito: di tutte le lampade elettriche, quelle ove una determinata quantità di luce prodotta richiede la spesa di un lavoro meccanico più piccolo, sono le lampade ad arco voltaico potenti che funzionano sole nel circuito della corrente: sono le lampade della *prima specie* da noi considerata.

Vengono in seguito le lampade ad arco voltaico di minore potenza, fra le quali troviamo tutte quelle della *seconda specie* da noi considerate; le lampade differenziali, per lo scopo stesso a cui sono destinate, hanno in generale potenza minore delle monofotiche.

L'irradiazione che si ottiene per mezzo dell'arco voltaico non è fatta direttamente dall'arco, che come tutte le sostanze gaseose ha un piccolo potere emissivo; ma è fatta principalmente dai corpi solidi con cui l'arco è a contatto, ed ai quali esso cede il proprio calore. Nelle lampade a semplice arco voltaico delle due specie già considerate i soli corpi solidi in contatto coll'arco sono le punte dei due carboni, e siccome queste si guardano ed irradiano l'una verso l'altra, così l'irradiazione che si ha verso l'esterno non raggiunge l'intensità necessaria per uguagliare la produzione di calore, che per effetto della corrente si ha nell'arco, se non quando la temperatura è elevatissima. È questo il motivo per cui la temperatura dell'arco voltaico è così elevata, ed è questo il motivo per cui colle lampade o nominate la luce si ottiene con un piccolo consumo di lavoro. Ma se in seno all'arco voltaico, od in contatto con esso si ha, oltre i carboni, un altro corpo solido, questo togliendo per contatto calore all'arco, diventando in questo modo incandescente, ed irradiando poi il calore di mano in mano che lo riceve, fa sì che l'irradiazione compensi la produzione ad una temperatura più bassa. Quel corpo solido incandescente abbassa perciò la temperatura della sorgente di luce e fa aumentare la

quantità di lavoro meccanico necessario per la produzione di una quantità di luce determinata. Ricaviamo da ciò la conseguenza, che le lampade elettriche della *terza specie*, nelle quali frammezzo ai carboni si ha un solido isolante, che diventa incandescente pel calore dell'arco, consumano per la produzione di una data quantità di luce un lavoro meccanico più grande che le lampade ad arco voltaico nudo, dei due primi tipi.

L'osservazione si applica anche alle lampade del quarto tipo, analoghe a quelle a contatto imperfetto di *Werdermann*. Però in queste la massima parte della luce è prodotta dall'arco voltaico, in seno al quale non esistono che minime particelle di carbone che vanno continuamente rinnovandosi; e l'irradiazione della bacchetta di carbone non ha una importanza molto maggiore di quella che ha l'irradiazione dei carboni nelle lampade ad arco voltaico ordinarie. Quindi il lavoro necessario per la produzione della luce deve essere in queste lampade minore di quello richiesto, a parità di quantità di luce, dalle lampade del terzo tipo.

Finalmente nelle lampade ad incandescenza la temperatura del corpo raggianti è certamente minore di quella delle punte dei carboni nell'arco voltaico. Infatti, alle temperature dell'arco voltaico il filamento di carbone si volatilizzerebbe come si volatilizzano le punte dei carboni fra cui si fa l'arco. Dunque possiamo concludere che fra tutte le lampade elettriche le lampade ad incandescenza sono quelle che per produrre una determinata quantità di luce consumano la maggiore quantità di lavoro meccanico.

Il fatto giustifica completamente queste previsioni della teoria: basta per vederlo confrontare i numeri seguenti ricavati o da esperienze di misura autorevoli od, in mancanza di queste, dalle asserzioni degli inventori:

NUMERO DI CAVALLI DINAMICI

NECESSARI PER OGNI CENTINAIO DI BECCHI *carcel*.

Con una lampada <i>Serrin</i> della potenza di 1850 <i>carcel</i>	Cavalli 0,415
Con una lampada <i>Siemens</i> a pendolo, sola nel circuito, della potenza di 600 <i>carcel</i>	" 0,500
Con una lampada <i>Serrin</i> di 300 <i>carcel</i>	" 0,920

Con una lampada <i>Siemens</i> a fuoco unico di 200 <i>carcel</i>	Cavalli 1,0
Con una lampada <i>Serrin</i> di 100 <i>carcel</i> . . .	" 2,4
Con lampade differenziali di <i>Brush</i> della po- tenza di 50 <i>carcel</i> , circa	" 2,0
(Secondo l'inventore.)	
Con lampade differenziali di <i>Siemens</i> della po- tenza media di 40 <i>carcel</i>	" 2,3
(Come sopra.)	
Con lampade <i>Werdermann</i> di 27 <i>carcel</i> . . .	" 3,7
Colle candele <i>Jablochkoff</i> , che secondo la re- lazione ufficiale dell'ingegnere Allard hanno una potenza di 21 <i>carcel</i>	" 4,8
Con lampade <i>Werdermann</i> di 4 <i>carcel</i> . . .	" 5,9
Con lampade ad incandescenza di <i>Maxim</i> , che secondo l'inventore equivalgono ciascuna a 2,6 <i>carcel</i>	" 6,4
Con lampade <i>Swan</i> , che, secondo l'asserzione dell'inventore, hanno la potenza di 2 <i>carcel</i> . . .	" 5,0
Con lampade di <i>Lane-Fox</i> , che, secondo l'as- serto dell'inventore, equivalgono a 1 <i>carcel</i> . . .	" 9,4
Con lampade ad incandescenza di <i>Edison</i> , che secondo i dati forniti dai rappresentanti dell'in- ventore, equivalgono a 0,8 <i>carcel</i>	" 12,5

Benchè nella progressione di questi numeri appariscano alcune irregolarità dovute al diverso grado di attendibilità delle fonti, da cui i numeri furono ricavati, tuttavia in essa le diverse specie di lampade elettriche si seguono coll'ordine che noi abbiamo previsto. Così i numeri sopra riferiti, benchè i meno favorevoli di essi sieno ricavati dalle asserzioni degli interessati, giustificano le nostre previsioni.

40. Di più i medesimi numeri ci serviranno e ci basteranno a paragonare tra di loro i diversi sistemi di illuminazione elettrica dal secondo punto di vista da cui ci siamo proposti di considerarli: dal punto di vista cioè del costo complessivo della illuminazione.

La spesa necessaria per l'illuminazione elettrica si può in generale scomporre in tre parti:

1.° Spesa oraria per la produzione e per la distribuzione delle correnti elettriche. Questa spesa comprende: la quota d'ammortizzazione e di interesse del capitale impiegato nella

provvista e nella installazione dei motori, in quella delle macchine dinamo-elettriche ed in quella dei fili conduttori; la spesa oraria pel salario al personale addetto ai motori ed alle macchine dinamo-elettriche; la spesa oraria per la manutenzione e per la sorveglianza dei conduttori; la spesa oraria per la lubrificazione dei meccanismi; e, se si tratta di motori a vapore, la spesa pel combustibile.

2.° Spesa per la provvista e per la manutenzione delle lampade, riferita all'ora.

3.° Spesa per i carboni consumati nelle lampade elettriche in ogni ora di illuminazione.

Della prima parte della spesa, parte che si riferisce alla produzione della corrente, noi possiamo fare un calcolo coi dati che possediamo, e che abbiamo riferito, relativamente al numero di cavalli dinamici necessari nei diversi sistemi per una data quantità di luce, e con quelli che conosciamo relativamente ai valori delle resistenze, delle intensità e delle forze elettromotrici occorrenti per i diversi tipi di lampade.

Per la seconda parte di spese, la quale riguarda la provvista e la manutenzione delle lampade, abbiamo eziandio parecchi dati; ma pel confronto che noi ci proponiamo di fare ci basterà sapere che una lampada di *Brush* costa attualmente circa 400 lire, che una lampada differenziale di *Siemens* ne costa 300, che *Swan* vende attualmente le sue lampade ad incandescenza al prezzo di 20 lire, promettendo che nell'avvenire le potrà vendere a sole tre o quattro lire; che *Edison* dà in America le sue lampade ad incandescenza al prezzo di circa due lire, e che finalmente una lampada di *Swan* o di *Edison*, secondo l'asserzione degli inventori, può in media durare in servizio per sei mesi.

Per quello, finalmente, che riguarda la terza parte della spesa, ossia il costo dei carboni consumati dalle lampade elettriche, potremo, nei confronti che ci siamo proposto di fare, ritenere i dati seguenti:

Una lampada ad arco voltaico unica nel circuito e della potenza di circa 100 carcel, consuma in ogni ora la lunghezza di circa metri 0,10 di bacchette di carbone, la quale costa L. 0,15

Una lampada differenziale di *Siemens* o di *Brush* consuma in ogni ora una lunghezza di carboni del prezzo di centesimi 10; quindi ritenendo che la lampada *Brush*

produca 50 carcel e che la *Siemens* ne produca soli 40, risulta che colle lampade *Brush* le bacchette di carbone costano per 100 becchi carcel e per ogni ora L. 0,20

E colle lampade *Siemens* " 0,25

Una lampada *Werdermann* della potenza di 27 carcel consuma in un'ora metri 0,065 di bacchette di carbone; quindi 4 lampade quali occorrono per dare 100 carcel consumano metri 0,26, che, al prezzo di lire 1,50 al metro, importano " 0,39

Una candela *Jablochkoff* che dura un'ora e mezza potrà costare al *minimum* centesimi quindici, e quindi per ogni ora centesimi 10. Siccome per produrre 100 carcel sono necessarie 5 candele, così nel sistema *Jablochkoff* la spesa pel consumo delle candele è per ogni 100 becchi carcel e per ogni ora al *minimum* di " 0,50

Finalmente una lampada di *Werdermann* della potenza di 3,4 carcel consuma in ogni ora metri 0,05 di carbone, che, al prezzo di lire 1,50 al metro, costa lire 0,075. Per 30 lampade necessarie per produrre 100 carcel la spesa è adunque di " 2,25

Con questi dati ci è possibile paragonare tra loro i prezzi di una medesima quantità di luce, per esempio, di 100 carcel data dai diversi sistemi di illuminazione elettrica. Paragoniamo in primo luogo il sistema di *Jablochkoff* con quelli a lampade differenziali di *Siemens* e di *Brush*, e vedremo facilmente che dopo l'invenzione di questi due ultimi sistemi, i quali per la qualità e per l'intensità della luce possono applicarsi in tutti i casi per cui esso era destinato, il sistema di *Jablochkoff* non ha più oggidì ragione di esistere.

Infatti il lavoro necessario per la produzione di 100 becchi carcel, che pei sistemi di *Brush* e di *Siemens* con lampade differenziali è rispettivamente di 2 e di 2,3 cavalli dinamici, pel sistema di *Jablochkoff* non è minore di cavalli 4,8: quindi è necessaria per questo sistema una spesa maggiore e quasi doppia nell'impianto delle macchine motrici e generatrici. E la spesa pel consumo dei carboni, che colle lampade differenziali si riduce a centesimi 20 e 25, raggiunge per le candele *Jablochkoff*, anche nell'ipotesi di un prezzo minimo di 15 centesimi per candela, il valore di centesimi 50; ossia circa il doppio. Nè la differenza tra il costo di una lampada differenziale e

quello minimo di un candeliere *Jablochkoff* compensa questa maggiore spesa: basta, per convincersene, osservare che il prezzo di acquisto di due lampade differenziali, che è di lire 800 al più, dà luogo ad una quota di ammortizzazione e di interesse di lire 80, che ripartita anche soltanto su 1000 ore di illuminazione, dà una spesa oraria di centesimi 8 appena.

Pel sistema di *Jablochkoff*, si aggiungono altre circostanze non meno gravi, che concorrono a sconsigliarlo. In primo luogo la mancanza di un regolatore automatico fa sì che se, per accidente, un carbone viene a spezzarsi e l'arco si interrompe, la candela non può riaccendersi da sè; quindi l'installazione dell'illuminazione elettrica con candele *Jablochkoff* non dispensa dal bisogno di una installazione per l'illuminazione a gas. In secondo luogo l'eterogeneità inevitabile dei carboni e la mancanza di un apparecchio automatico, che ne corregga l'influenza, fanno sì che la luce data dalle candele *Jablochkoff* vada soggetta a continue variazioni di intensità e di colorazione, le quali ne rendono l'effetto sgradevole e l'uso affaticante; mentre che la luce data dalle lampade differenziali, per essere assai più ferma e più bella, benchè più intensa, affatica l'occhio assai meno.

Per le lampade *Soleil*, che appartengono alla medesima classe di quelle di *Jablochkoff*, ci mancano dati attendibili per potervi basare un calcolo numerico; ma possiamo tuttavia, con sicurezza, asserire che esse non sono, dal punto di vista dell'economia, migliori di quelle di *Jablochkoff*. Il lavoro meccanico necessario per produrre con esse una data quantità di luce non può essere inferiore a quello necessario colle candele *Jablochkoff*, perchè l'arco voltaico vi si forma, come in queste, a contatto con un solido incandescente; ed anzi, se si pensa alla colorazione aranciata della luce che quelle lampade danno, si è condotti a credere che in esse la temperatura sia più bassa che nelle candele *Jablochkoff*, e che quindi il lavoro consumato per una determinata produzione di luce sia ancora più grande. Il prezzo poi dei carboni, se può essere minore di quello delle candele *Jablochkoff*, si aggiunge, per compenso, a quello delle lampade, che bisogna rinnovare, in parte, giornalmente. E finalmente se per le lampade *Soleil* non esiste l'inconveniente della variabilità della luce, sussiste però sempre quello della loro inettitudine a riaccendersi automaticamente in caso di guasto accidentale.

Come le candele di *Jablochkoff* e come le lampade *Soleil* così pure le lampade *Werdermann* hanno oggi perduto la probabilità di ricevere applicazioni importanti. Prima che fossero conosciute le lampade differenziali, le lampade di *Werdermann* atte a dare centri di luce assai fissi, alla cui potenza, variabile a piacimento, si poteva dare il valore di 30 o di 40 *carcel*, atte a funzionare regolarmente anche in grande numero sopra un sistema di circuiti derivati, si presentavano come le lampade meglio indicate, e più ricche di avvenire, per l'illuminazione di grandi ambienti e di luoghi pubblici. Ma oggi che noi abbiamo le lampade differenziali di *Brush* e di *Siemens*, colle quali si può nei medesimi casi ottenere un effetto migliore ed a migliore mercato, le lampade a contatto imperfette analoghe a quelle di *Werdermann* hanno perduto ogni probabilità di trovare utili impieghi, se non forse in qualche caso specialissimo. Di ciò è facile convincersi; basta considerare che se le lampade di *Werdermann* che si vogliono adoperare hanno una grande potenza, per esempio, 27 *carcel*, esse producono un effetto analogo alle lampade differenziali consumando 3,7 cavalli in luogo di 2, ed una quantità di carboni del valore di lire 0,39 in luogo di lire 0,20. Se invece si vuole avere dal sistema una luce suddivisa, adoperando, per esempio, lampade della potenza di 3,4 *carcel*, si debbono consumare, per ogni centinaio di becchi *carcel*, quasi sei cavalli dinamici, e spendere in ogni ora per le bacchette di carbone la enorme somma di lire 2,25, uguale a circa il decuplo di quello che occorre per le lampade differenziali.

Escluse così le lampade della terza e della quarta specie rimangono quelle della prima, della seconda e della quinta; rimangono, cioè le lampade ad arco voltaico di grande potenza funzionanti da sole nel circuito, le lampade ad arco voltaico differenziali atte a funzionare in parecchie su di un medesimo circuito, e le lampade ad incandescenza. Sono queste, attualmente, le lampade, dalle quali abbiamo ragione di sperare, ora o per l'avvenire, le più convenienti applicazioni.

Paragoniamo ora, sempre rispetto alla economia, queste lampade tra di loro.

Cominciamo a confrontare le lampade ad arco voltaico differenziali con quelle ad incandescenza: ci convinceremo facilmente che la luce data dalle prime costa meno di quella data dalle seconde.

Per dimostrarlo vogliamo metterci nel caso più sfavorevole per le lampade ad arco voltaico e più favorevole per quelle ad incandescenza. La principale parte di spesa, per cui le lampade ad incandescenza sono in condizioni meno buone di quelle ad arco voltaico, è quella che riguarda il costo orario del lavoro motore e della produzione della corrente; e la parte di spesa per cui le lampade ad incandescenza hanno un vantaggio su quelle di tutti gli altri sistemi è la spesa relativa al consumo dei carboni nelle lampade, la quale per esse è nulla. Dunque le condizioni più vantaggiose per le lampade ad incandescenza sono quelle in cui il lavoro motore è al massimo buon mercato, talchè la spesa che lo riguarda sia di minore importanza ed assuma, rispetto ad essa, una importanza maggiore la spesa relativa ai carboni consumati nelle lampade. Sono queste le condizioni nelle quali noi ci porremo per fare il confronto.

Il caso in cui il lavoro motore costa meno si presenta quando il lavoro è prodotto da grandi motori idraulici, ed è distribuito sotto forma di corrente elettrica a molte lampade situate su di una grande rete di conduttori. In questo caso poi è certo che l'energia elettrica distribuita alle lampade costerà sempre di più di quello che costerebbe il lavoro meccanico, quando fosse possibile trasmetterlo direttamente, nelle migliori condizioni, colle più economiche trasmissioni telo-dinamiche; giacchè:

1.° L'impianto elettrico non è meno costoso di quello di una trasmissione per funi, in buone condizioni.

2.° Il rendimento della trasmissione elettrica è certamente molto minore di quello di una buona trasmissione telo-dinamica.

Dunque noi faremo certamente l'ipotesi più favorevole per le lampade ad incandescenza, se, ammettendo per un momento una cosa non realizzabile, riterremo che il prezzo del lavoro motore, compresevi le spese di impianto e di manutenzione delle macchine e dei conduttori, e le spese di amministrazione, sia uguale a quello che si può avere in una buonissima distribuzione di forza per funi telo-dinamiche.

Ora fra tutti i casi finora realizzati, quello nel quale il lavoro motore è dato al prezzo più basso, è, per quanto io so, quello della distribuzione di forza per mezzo di funi telo-dinamiche stabilita in Sciaffusa. A Sciaffusa il lavoro dinamico ricavato dal Reno, e distribuito con funi, si vende al prezzo di lire 150 per cavallo e per anno: noi riterremo questo numero.

Or bene, calcoliamo con questo dato il costo di 100 becchi *carcel* ottenuti prima con lampade differenziali ad arco voltaico di *Brush*, poi con lampade ad incandescenza di *Swan*, e finalmente con lampade di *Edison*.

SISTEMA BRUSH.

Spesa pel lavoro motore, incluse l'installazione e la manutenzione delle macchine e dei conduttori. — Per 100 *carcel* occorrono due lampade, le quali richiedono 2 cavalli dinamici, che, a lire 150 ciascuno, costano annualmente lire 300; su 2000 ore di illuminazione il costo del lavoro per ogni ora risulta $\frac{300}{2000}$ ossia L. 0,15

Spesa per la provvista delle lampade. — Due lampade *Brush* costano lire 800, il che importa una quota annua di ammortizzazione e d'interesse di lire 80; questa somma, divisa per 2000 ore di illuminazione, dà per ogni ora. " 0,04

Spesa oraria pei carboni consumati nelle lampade " 0,20

Totale L. 0,39

SISTEMA SWAN.

Spesa pel lavoro motore, come sopra. — Secondo l'asserto dell'inventore, il quale, come ho notato già, attribuisce alla lampada una intensità luminosa forse doppia della vera, occorrono per 100 *carcel* circa 5 cavalli, che costano annualmente lire $5 \times 150 = 750$, e quindi per ogni ora di illuminazione lire $\frac{750}{2000}$ ossia. . . L. 0,38

Spesa per la provvista delle lampade. — Ammettendo la potenza asserita di 2 *carcel* per lampada, occorrono 50 lampade, e siccome la durata media di una lampada è, secondo l'inventore, uguale a 6 mesi,¹ così bisogna

¹ Che una lampada *Swan* possa durare, in media, 6 mesi, era asserito dagli espositori durante la mostra; ora però si ammette che la durata di una lampada ad incandescenza non possa superare 400 a 500 ore di illuminazione. Noi riteniamo tuttavia in questo calcolo il dato dell'inventore, come il più favorevole al sistema.

Riporto L. 0,38

provvedere annualmente 100 lampade. Attualmente le lampade si vendono a 20 lire ciascuna, ma ammettendo, come promette l'inventore, che questo prezzo possa nell'avvenire ridursi a 3 lire, abbiamo una spesa annua di

lire 300 ed una spesa oraria di lire $\frac{300}{2000}$ ossia di. . . L. 0,15

Totale L. 0,53

SISTEMA EDISON.

Spesa pel lavoro motore. — Essendo necessari, secondo l'asserzione dell'inventore 12,5 cavalli per ogni 100 becchi *carcel*, si avrà la spesa annua di lire $12,5 \times 150$, ossia di lire 1875, che divisa su 2000 ore di illuminazione dà per ogni ora. L. 0,94

Spesa per la provvista delle lampade. — Siccome la potenza di una semilampada è, secondo l'inventore, di 0,8 *carcel*, così occorrono 125 lampade, che al prezzo di lire 2 importano una spesa di 250 lire. E siccome le lampade si debbono rinnovare ogni 6 mesi, così si ha all'anno la spesa di lire 500, ed in ogni ora di illuminazione quella di „ 0,25

Totale L. 1,19

Confrontando questi risultati si riconosce la grande differenza che dal punto di vista del prezzo della luce esiste tra i sistemi a lampade differenziali ad arco voltaico ed i sistemi ad incandescenza: per entrambe le lampade ad incandescenza, che noi abbiamo considerato, la spesa necessaria per ottenere una determinata quantità di luce, 100 *carcel*, è notevolmente più grande di quella che essa sarebbe quando si facesse uso di un sistema ad arco con lampade differenziali analogo a quello di *Brush*; per le lampade di *Edison* poi questa spesa sta a quella che si avrebbe con lampade *Brush* nel rapporto di 2,5 ad 1.

Alla differenza notevole che esiste tra i due numeri trovati per le lampade di *Swan* e per quelle di *Edison* non bisogna attribuire molta importanza, prima perchè essa può risultare in parte da dati inesatti forniti dagli interessati, e poi perchè è

possibile che l'intensità luminosa delle lampade *Swan*, che noi abbiamo assunto ricavandola dalle dichiarazioni dell'inventore, sia bensì ottenibile, ma corrisponda ad una intensità di corrente eccessiva, che in un lungo esercizio potrebbe diminuire la durata delle lampade e la regolarità della illuminazione. A questo riguardo importa notare che le differenze di splendore ed anche di effetto utile presentate dalle diverse lampade ad incandescenza, che figuravano nell'esposizione, possono non corrispondere punto a differenze di bontà e di convenienza delle lampade medesime, ed essere dovute unicamente alle condizioni diverse della installazione.

Lo splendore ed il rendimento di una lampada ad incandescenza, di qualunque sistema, possono farsi variare fra limiti assai estesi facendo variare l'intensità della corrente, da cui dipende la temperatura del filo di carbone; ma per correnti troppo intense la durata delle lampade può essere ridotta al punto da rendere la lampada inetta ad applicazioni veramente pratiche.

Dimostrata la superiorità delle lampade differenziali su quelle ad incandescenza rispetto alla spesa necessaria per la produzione di una determinata quantità di luce, riesce dimostrata *a fortiori* la superiorità che per questo riguardo hanno su tutti gli altri sistemi le lampade ad arco voltaico di grande potenza funzionanti sole nel circuito, come le lampade di *Serrin*, di *Jaspar* e somiglianti. Per queste infatti tutti gli elementi della spesa sono minori che per le lampade differenziali; e ciò risulta dai dati numerici che noi abbiamo testè riferiti.

Il confronto delle spese corrispondenti ad una medesima quantità di luce non basta, in generale, per decidere sulla scelta fra i vari sistemi d'illuminazione: bisogna per questa scelta tener conto anche della divisibilità della luce. È infatti evidente che quanto meno la luce è suddivisibile, quanto più sono potenti e lontani i centri luminosi, altrettanto maggiore è la quantità totale di luce che bisogna produrre onde avere nei punti più lontani una illuminazione sufficiente. L'importanza di questa considerazione dipende evidentemente da una quantità di circostanze diverse, di cui sarebbe impossibile tener conto in modo generale. Tuttavia, se si pensa che il confronto numerico che noi abbiamo fatto è basato su ipotesi forse più favorevoli alle lampade ad incandescenza di tutte le realizzabili, se si pensa, per esempio, che il costo del lavoro motore può nei casi pratici equivalere al quintuplo di quello che noi abbiamo

posto a base del nostro calcolo, si può con molta sicurezza asserire che le lampade ad incandescenza non saranno mai preferibili a quelle ad arco voltaico, se non in quei casi in cui la scelta non può essere basata su considerazioni di economia, ed in cui le lampade ad arco voltaico non sono ammissibili, sia per la potenza, sia per la qualità della luce.

I numeri, che abbiamo calcolato poc' anzi, sono destinati unicamente a confrontare tra di loro i diversi sistemi di lampade elettriche; essi sono basati su ipotesi scelte a quest'uopo, e per conseguenza non rappresentano il costo che la luce può realmente avere nella pratica. In realtà il costo del lavoro motore sarà ordinariamente molto più grande di quello che noi abbiamo ammesso, e quindi sarà più grande il prezzo della luce data da tutti i sistemi. Per considerare il caso opposto a quello già trattato ed avere un limite superiore della spesa, come abbiamo già un limite inferiore, possiamo esaminare quello di un sistema di lampade di *Edison* attivate con una macchina a gas. In questo caso per ottenere i 12 cavalli e mezzo necessari per produrre la luce di 100 becchi carcel bisogna consumare in ogni ora circa 12,5 metri cubi di gas, che al prezzo di lire 0,20 costano lire 2,5. A questa spesa bisogna aggiungere quella per l'ammortizzazione e per l'interesse del capitale impiegato nell'impianto, capitale che può ascendere a circa 20,000 lire; assumendo il tasso del 10 per cento si ha una quota annua di lire 200, che, ripartita su 2000 ore, dà per ciascuna lire 0,1. Bisogna finalmente aggiungere la spesa pel meccanico che possiamo valutare a 0,50 all'ora; e quella per la provvista e per la rinnovazione delle lampade, che, come sopra abbiamo visto, equivale a lire 0,25. Si ha così una spesa oraria di lire $2,5 + 0,10 + 0,50 + 0,25$ ossia di lire 3,35.

Per avere analogamente un limite superiore pel prezzo della luce data da un sistema di lampade differenziali, supporremo di attivare due lampade *Brush* con una macchina a gas. Le due lampade richiedono 2 cavalli, per cui si debbono consumare 2 metri cubi di gas all'ora. Al prezzo di lire 0,20 questi costano lire 0,40. Aggiungiamo a questa somma lire 0,10 per ammortizzazione della installazione, lire 0,50 per salari, e lire 0,20 pel consumo di carboni nelle lampade, ed otteniamo come costo orario complessivo della luce di 100 carcel lire 1,20.

Questa spesa vale circa il triplo di quella dianzi calcolata corrispondente al limite inferiore.

Abbiamo confrontato i diversi sistemi di illuminazione elettrica tra loro, confrontiamoli ora colla illuminazione a gas.

La luce di 100 becchi carcel si può ottenere col consumo di metri cubi 10,5 di gas, che, al prezzo di lire 0,20 col quale lo paga oggidì la città di Torino, e che potrebbe aversi in tutte le città italiane, costano lire 2,10. Confrontando questo numero coi precedenti possiamo asserire:

1.° Che l'illuminazione fatta con lampade ad incandescenza costa assai più di quella a gas quando il lavoro motore è dato da macchine appositamente installate per l'illuminazione; ma può diventare economica quando il lavoro motore sia dato da grandi motori già installati per altri usi, oppure da motori destinati alla illuminazione, ma di grande potenza ed animanti un esteso sistema di distribuzione di correnti. L'economia è evidentemente massima quando il lavoro è dato da grandi macchine idrauliche, come nel primo esempio che abbiamo considerato.

2.° Che l'illuminazione fatta con lampade ad arco voltaico, a parità di quantità assolute di luce costa sempre meno di quella fatta col gas.

Non bisogna però dedurre da ciò che convenga in tutti i casi sostituire alla illuminazione a gas quella elettrica con lampade ad arco. Bisogna ricordare infatti che il paragone fra i due sistemi non vuole ordinariamente essere fatto in base a quantità uguali di luce. Per fissare le idee, supponiamo che si tratti della illuminazione di strade o di piazze pubbliche; in questo caso una condizione da soddisfarsi è che nei punti meno illuminati l'illuminazione elettrica sia almeno uguale a quella che si ha col gas. Siccome le lampade *Brush* danno una luce equivalente a 37 becchi di gas, e siccome l'intensità dell'illuminazione diminuisce come crescono i quadrati delle distanze, così per soddisfare alla detta condizione è necessario che le distanze fra le lampade *Brush* stieno a quelle, che si hanno tra gli attuali fanali a gas, come $\sqrt{35}:1$. Quindi bisogna, per avere l'illuminazione voluta, produrre $\sqrt{\frac{35}{35}}$ ossia circa sei volte la quantità di luce che si ha attualmente col gas. Così facendo, si sarebbe condotti ad una spesa maggiore che pel gas anche nel caso più favorevole. Dunque non solo l'economia dell'illuminazione elettrica non esiste sempre, ma per ottenerla è in generale necessario munire le lampade di riflettori e collocarle

in modo che la diminuzione dell'intensità della illuminazione segua una legge meno rapida di quella dei quadrati delle distanze.

41. Dopo queste considerazioni e questi confronti numerici possiamo tentare una risposta alla questione che ci siamo posti come oggetto principale del nostro studio: quali sono le applicazioni attualmente convenienti e quali le probabili nell'avvenire per i diversi sistemi d'illuminazione elettrica?

Se teniamo conto, oltrechè delle condizioni economiche, anche delle qualità della luce, noi possiamo rispondere colle seguenti conclusioni:

1.° Per l'illuminazione dei fari la luce elettrica può fin d'ora presentare vantaggi indiscutibili, e per questa applicazione convengono tutti i regolatori monofotici come quello di *Serrin*, o meglio ancora come quello di *Jaspar*.

2.° A rischiarare cantieri per opere di costruzioni all'aperto, alle operazioni della guerra, alle applicazioni della marina, alla telegrafia ottica, le lampade elettriche ad arco voltaico di grandi potenze sono fra tutti gli apparecchi d'illuminazione i più convenienti; e fra queste lampade elettriche, per la regolarità del funzionamento e per la semplicità del meccanismo, sono preferibili quelle del *Jaspar*.

3.° In quegli opifici o parti di opificio ove si hanno locali ampi ed alti, ed ove, per la natura dei lavori che vi si fanno, è ammissibile un'illuminazione con pochi centri di luce, le lampade ad arco voltaico monofotiche, di potenza uguale a 100 o più carcel, non solo possono convenire, ma possono essere fra tutti i mezzi d'illuminazione il più economico. L'economia è certa e notevole quando l'opificio non è in luogo ove esista una distribuzione di gas d'illuminazione, nè è provvisto di gazometro speciale. Essa poi è certa quando l'opificio ha forza motrice esuberante data da motori di grande potenza, ed è grandissima se questi motori sono idraulici. L'applicazione a questi casi delle lampade *Serrin* s'è fatta fin dal 1872, e la esperienza di 10 anni ha dimostrato che in circostanze convenienti la cosa è perfettamente pratica. Meglio però che le lampade *Serrin* potrebbero forse convenire le *Jaspar*. Qualora l'ambiente da illuminare non fosse sufficientemente alto, o qualora si richiedesse un'illuminazione uniformemente distribuita in tutte le parti del locale, potrebbe prestare utili servigi la disposizione ideata già da tempo dal *Jaspar*, e da lui presentata

all'esposizione, nella quale la lampada elettrica, mascherata tutt'attorno e di sotto, invia la luce dal basso all'alto contro ad un grande riflettore a superficie bianca, che la riflette e la diffonde uniformemente. Nei casi, finalmente, in cui nemmeno questo sistema fosse applicabile potrebbero servire, benchè con un'economia alquanto minore, le lampade differenziali di *Brush* o di *Siemens*.

4.° Anche in quegli opifici nei quali è indispensabile una luce molto suddivisa, come sono gli stabilimenti di filatura e di tessitura, opifici in cui le sole lampade elettriche ammessibili sono quelle ad incandescenza, può in alcuni casi convenire la illuminazione elettrica. Questo alle condizioni: 1. che non si abbia nell'opificio o nelle località una fabbrica di gas d'illuminazione; 2. che la forza motrice sia idraulica ed esuberante. Queste condizioni si presentano ordinariamente nelle più industrie delle nostre vallate alpine, ed il caso considerato è perciò importantissimo per noi. Ciò dicendo però noi miriamo, più che al presente, ad un prossimo avvenire, quando l'esperienza avrà dimostrato che le lampadine a vuoto sono veramente pratiche.

5.° Le lampade differenziali sono di tutti i mezzi di illuminazione il migliore per le grandi tettoie delle stazioni delle strade ferrate. In parecchie delle principali stazioni di Londra, come nella stazione di Charing-Cross, in quella di Cannon street, ed altre, funzionano inappuntabilmente per tutta la notte le lampade di *Brush*, e l'esempio meriterebbe di essere imitato in molti casi, anche nel nostro paese.

6.° Sulle linee di strade ferrate, ove esistessero parecchie stazioni illuminate nel modo ora detto, potrebbe forse presentarsi la questione se non convenga utilizzare durante il giorno le macchine dinamo-elettriche destinate alla illuminazione delle stazioni per caricare accumulatori con cui attivare durante la notte lampade ad incandescenza per l'illuminazione delle altre parti degli edifici, e fors'anco dei treni. È questa una questione che non può essere risolta se non nei casi speciali dalle amministrazioni, ma a cui io dovevo accennare.

7.° Pei teatri il problema della illuminazione elettrica presenta attualmente ancora gravi difficoltà: la luce delle lampadine ad incandescenza si è mostrata nei recenti esperimenti fatti a Parigi, in occasione dell'esposizione d'elettricità e del congresso, poco adatta all'illuminazione completa di grandi ambienti come

sono le sale di spettacolo; e la luce delle lampade ad arco presenta, oltre all'inconveniente di non potere essere regolata e moderata, oltre a quello di produrre rumore, oltre a quello di non potersi distribuire convenientemente sulle scene, l'inconveniente di essere ancora, per la sua colorazione e per la non perfetta fissità poco familiare e poco accetta ai scenografi e ad una parte del pubblico.

Attualmente possono tentarsi sistemi misti ad arco voltaico e ad incandescenza, oppure ad arco ed a gas; disponendo i luminari elettrici ad arco nel centro di lampadari a gas od a lampade incandescenti, così che la luce fredda dell'arco voltaico non si diffonda nella sala se non dopo di essersi filtrata e mescolata con quella più calda delle lampade ad incandescenza o delle fiamme di gas.

Nelle sale d'assemblea o nei locali per numerose riunioni il problema è analogo ma più semplice; in questi casi le lampade differenziali possono convenire, fin d'ora, da sole.

Le condizioni del problema varieranno completamente se verrà un giorno in cui nelle città esistano grandi distribuzioni di correnti elettriche per l'illuminazione pubblica e privata; allora le condizioni economiche dell'illuminazione elettrica saranno assai migliori, ed anche le lampade ad incandescenza si potranno forse adoperare da sole.

8.° Per l'illuminazione delle strade e delle piazze delle città non è improbabile che l'avvenire riservi alla luce elettrica grandissime applicazioni. Dai confronti numerici, che abbiamo fatto poc'anzi, risulta che ove esiste un impianto già stabilito e *sufficiente*, per l'illuminazione col gas, difficilmente può accadere che la sostituzione di un impianto elettrico al medesimo possa convenire. Ma ove la luce attualmente data dal gas diventi insufficiente, od ove le condizioni per la produzione del lavoro meccanico sieno convenienti, egli è probabile che le applicazioni delle lampade elettriche alla illuminazione pubblica si moltiplicheranno. Le grandiose installazioni che noi vediamo a Londra, ove buona parte della *City* è illuminata con lampade differenziali di *Brush* e di *Siemens*, installazioni che vanno allargandosi ogni dì, giustificano la nostra previsione.

Qualora queste previsioni si verificassero, quali sistemi di lampade elettriche avrebbero maggior probabilità di trovare utili e grandi applicazioni?

Se si volesse dare alle città colle correnti elettriche una quantità di luce non molto maggiore di quella che abbiamo

oggi col gas, le lampade ad arco voltaico sarebbero, per le ragioni svolte più sopra, meno convenienti e si potrebbe pensare ad adoperare le lampade ad incandescenza. Ma la convenienza economica di queste non potrebbe sussistere se non in casi affatto speciali, ove la forza motrice si potesse avere con motori idraulici ad un minimo prezzo. Un caso a cui ho fatto allusione già in altra occasione, parlando degli accumulatori, è quello nel quale si volesse per mezzo di accumulatori e di lampade ad incandescenza utilizzare di notte per l'illuminazione pubblica una forza motrice idraulica di cui l'industria si serve solamente nelle ore del giorno.

Ma questi ed i somiglianti sono casi speciali: nel caso generale io penso che non possa essere questo l'avvenire della luce elettrica applicata alla illuminazione pubblica. Io penso che la luce elettrica non si sostituirà a quella del gas sulle vie e sulle piazze delle città, se non dove l'illuminazione a gas sia divenuta insufficiente, e sia reclamata dal pubblico una illuminazione più ricca. Quando le lampade elettriche avranno a subentrare a quelle a gas esse entreranno in campo collo scopo di migliorare l'illuminazione; è questa la legge naturale del progresso. Allora non v'ha dubbio che le sole lampade ammissibili per l'illuminazione degli spazi aperti saranno quelle ad arco voltaico, lo splendore delle quali è stato la prima cagione per cui si è pensato alle applicazioni possibili della luce elettrica. Se nulla di meglio si sarà inventato, le lampade che rischieranno allora le strade e le piazze saranno lampade differenziali analoghe a quelle che ora possediamo coi tipi di *Brush* e di *Siemens*.

Qualora l'installazione sia grandiosa ed il motore dia il lavoro con piccola spesa, come succederà se esso sarà idraulico, l'illuminazione ottenuta con tali lampade potrà anche riuscire economica in confronto di quella che si avrebbe quando col gas si volesse ottenere la medesima quantità di luce. Una condizione però sarà necessaria, la quale risulta dai confronti numerici fatti poc'anzi, ed è che si muniscano i fanali elettrici di riflettori, che impediscano alla luce di disperdersi in tutte le direzioni. Questo si è fatto nelle installazioni di Londra a cui ho accennato.

Se verrà un giorno in cui le strade e le piazze di una intera città sieno illuminate nel modo che io ho detto, anche le lampade ad incandescenza troveranno la loro applicazione; esse serviranno alla illuminazione dei piccoli ambienti chiusi, delle