

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo di tutte le opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.

IDRAULICA PRATICA

IL RIGURGITO PRODOTTO DALLE TOMBE A SIFONE E MODO DI CALCOLARLO.

Nell'occasione in cui l'ingegnere dott. Cesare Marignani pubblicava in Roma, coi tipi di Carlo Voghera, un volume di ben 265 pagine ed una tavola, col titolo: « Rapporto fra l'altezza del rigurgito e la grandezza della luce viva nelle botti sotterranee o tombe idrauliche », il signor Ildebrando Nazzani, professore d'idraulica nella Scuola di Applicazione degli ingegneri in Roma, pubblicava a sua volta una Memoria nel *Giornale del Genio Civile*, nella quale, premesso in poche pagine, ossia in una prima parte, il modo di procedere in via generale colle teorie dell'idraulica per fare il calcolo del rigurgito prodotto dalle tombe a sifone, prende nella restante parte del suo lavoro a particolareggiato esame i singoli termini della formola proposta dall'ingegnere Marignani.

Essendo precipuo scopo di questo periodico mantenere i lettori al corrente di tutto ciò che si va facendo o proponendo nel campo delle applicazioni delle teorie alla pratica, riproduciamo qui la prima parte, che è la più essenziale della nota dell'ingegnere Nazzani, per comodità di coloro che non l'avessero sott'occhi, e subito dopo pubblichiamo l'autorevole parere del chiarissimo professore Richelmy.

G. S.

I.

Nota del professore Ildebrando Nazzani.

Due sono le questioni che si presentano all'ingegnere nei progetti delle *tombe a sifone*: una di *costruzione*, l'altra di *idraulica*, fra cui bene spesso primeggia la seconda, la quale comprende tanto la determinazione delle pressioni interne, quanto la ricerca dell'*altezza di pressione o del carico idrostatico* ossia del *dislivello dei peli da monte a valle della botte*, detto ordinariamente *rigurgito*, abbisognevole pel passaggio dell'acqua attraverso quel manufatto. È di quest'ultima solo che ora ho divisato d'intrattenermi; la cui importanza magna si argomenta dal suo intimo nesso colla pendenza assegnabile al canale interrotto dalla tomba a sifone. Questo edificio idraulico è una specie di condotto chiuso formato di platea, di piedritti e di volta, di cui i due tratti estremi (*spalle*) più o meno inclinati all'orizzonte in senso opposto imboccano superiormente in due diversi punti il canale e si congiungono inferiormente al tronco intermedio orizzontale (*canna*) convenientemente depresso sotto il livello del fondo del canale. Quei due rami laterali sono sovente foggiate a strombatura dal basso all'alto: quello a monte o d'imbocco, per ricevere e condurre l'acqua al tronco inferiore più ristretto con mutamento il più possibilmente dolce di sezione; l'altro a valle o di sbocco, per rallentare gradatamente l'impeto ond'esce il liquido dallo stesso tronco orizzontale e versare l'acqua dalla luce finale di sbocco colla minore velocità possibile.

È cosa notoria che la *perdita di carico* richiesta pel passaggio dell'acqua dentro la botte ossia la differenza di livello dei peli dell'acqua a monte e a valle della stessa od il *rigurgito*, che dir si voglia, prodotto da questa *del pari che per un tubo o per un condotto chiuso qualunque*, riassume in sé la somma delle seguenti quattro specie di carichi perduti.

1° La perdita di carico consumato per le resistenze di attrito.

2° La perdita di carico prodotta da tutti i repentini mutamenti di direzione che distornano l'avviamento diretto dell'acqua.

3° La perdita di carico dovuta agli urti delle masse liquide animate di differenti velocità nei bruschi cambiamenti di sezione.

4° La perdita di carico, infine, impiegata ad ottenere la velocità finale alla sezione di sbocco: quest'ultima essendo recuperabile.

La prima viene espressa, alla maniera di Darcy, nella formola usuale

$$\frac{\xi_0 L Q^2}{D^5}$$

dove siano L, D la lunghezza e il diametro medio del condotto, Q la portata, e ξ_0 un coefficiente numerico che vedremo più innanzi.

La seconda è misurata in idraulica per l'ordinario colla formola $\xi \frac{w^2}{2g}$, essendo ξ un coefficiente numerico che daremo più oltre, e w in generale la velocità dell'acqua nel condotto appena dopo il subitaneo cambiamento di direzione.

La terza è, secondo i dettami rudimentali della meccanica elementare,

$$\frac{(u_1 - w)^2}{2g}$$

poste u_1 , w a designare le velocità nello stesso senso delle masse che s'urtano.

L'ultima, finalmente, sta ad indicare un carico destinato a trasformare la velocità iniziale v nella finale w; il quale può essere positivo o negativo o nullo secondo che $w > v$, e quindi

può, siccome aggiungersi, così detrarsi alla somma delle perdite di carico dovute alle altre tre cause precedenti di resistenze, o, che è il medesimo, crescere o diminuire il dislivello od il rigurgito determinato da queste tre cause da monte a valle della botte. Questo carico, come ognuno sa, è dato dalla differenza delle altezze a cui sono dovute le velocità messe a paragone, cioè da

$$\frac{w^2 - v^2}{2g}$$

Pertanto la *perdita di carico* od il *rigurgito totale* nella sua forma più generale viene ad essere espresso dalla relazione

$$H = \xi_0 \frac{L Q^2}{D^5} + \sum \frac{\xi w^2}{2g} + \sum \frac{(u_1 - w)^2}{2g} + \frac{w^2 - v^2}{2g} \dots (1)$$

Questa formola, dei cui termini ogni trattato d'idraulica è pieno, non è altro che quella generale del moto dell'acqua in un tubo a sezione variabile. Essa, combinata coll'equazione di continuità per la quale i prodotti delle sezioni per le velocità si adeguano in ogni punto della botte, dà mezzo di calcolare, nei limiti d'approssimazione compatibili coll'uso dei coefficienti conosciuti, il cosiddetto *rigurgito* o il *dislivello* dei peli liquidi all'imbocco e allo sbocco d'una botte qualunque a sezione variabile.

Per scendere ad un caso pratico supporremo che la tomba abbia la forma ordinaria sopra descritta, e però:

1° Che si verifichi all'entrata nella botte un solo brusco cambiamento di sezione fra la sezione contratta e la successiva;

2° Che nessun subitaneo mutamento di sezione si incontri, oltre il precedente, dentro il corpo della botte ed all'uscita di essa.

3° Che si abbiano quattro mutamenti improvvisi di direzione, uno all'imbocco, uno allo sbocco, e due nei punti di congiungimento dei bracci inclinati col tronco inferiore orizzontale.

Ritengansi pertanto cotali ipotesi e le denominazioni seguenti:

A, v la sezione e la velocità media dell'acqua nel canale d'arrivo,

a l'area delle luci d'imbocco e di sbocco della botte,

μ il coefficiente di contrazione della vena alla sezione d'imbocco,

S l'area della sezione costante del tronco orizzontale inferiore della botte,

u la velocità dell'acqua nello stesso tronco orizzontale,

w la velocità dell'acqua nella luce di sbocco e in quella d'imbocco non contratta della tomba e nel primo tronco del canale successivo alla botte.

La 1^a perdita di carico dovuta agli attriti rimarrà la stessa data sopra

$$\frac{\xi_0 L Q^2}{D^5}$$

La 2^a perdita di carico ascritta ai bruschi mutamenti di direzione, ossia ai gomiti o alle curvature, essendo u la velocità dell'acqua dopo il 2° gomito, e posto che le velocità dopo il 1°, il 3° e il 4° gomito sieno prossimamente uguali a w colle sezioni corrispondenti sarà

$$\xi \left(\frac{u^2}{2g} + \frac{3w^2}{2g} \right)$$

La 3^a perdita di carico prodotta dall'unico brusco cambiamento di sezione fra la sezione contratta μa e la sezione a del condotto all'entrata, essendo, per la condizione di continuità, la velocità nella sezione contratta

$$u_1 = \frac{aw}{\mu a} = \frac{w}{\mu}$$

diviene, trasformando il 3° termine della formola generale (1),

$$\left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 \frac{w^2}{2g}$$

Infine la 4^a perdita di carico impiegata nella trasformazione della velocità v iniziale del canale d'arrivo, nella velocità finale w alla luce di sbocco, essendo $wa = vA$, e quindi $v = \frac{w}{\eta}$ se si fa $\eta = \frac{A}{a}$, viene espressa mediante l'ultimo termine della formola generale in

$$\left(1 - \frac{1}{\eta} \right)^2 \frac{w^2}{2g}$$

Laonde la equazione del rigurgito per il caso considerato risulta

$$H = \xi_0 \frac{L Q^2}{D^5} + \xi \left(\frac{u^2}{2g} + \frac{3w^2}{2g} \right) + \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 \frac{w^2}{2g} + \left(1 - \frac{1}{\eta} \right)^2 \frac{w^2}{2g} \dots (2)$$

ovvero, ponendo per brevità

$$\xi_1 = \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2, \quad \xi_2 = 1 - \frac{1}{\eta},$$

$$H = \xi_0 \frac{L Q^2}{D^5} + \xi \frac{w^2}{2g} + (3\xi + \xi_1 + \xi_2) \frac{w^2}{2g} \dots (3)$$

nelle quali, chiamando i il semiangolo di deviazione del gomito, ossia la metà dell'angolo che fa un braccio del gomito col prolungamento dell'altro, od anche l'angolo d'incidenza della curvatura, d la larghezza radiale del condotto nel gomito o nella curvatura, ρ il raggio di curvatura dell'asse del condotto, λ la lunghezza sviluppata dell'asse della parte arcuata, D_1 ed R , il diametro e il raggio della sezione circolare del tubo nel gomito, si ha secondo Darcy

$$\xi_0 = \frac{32}{\pi^2} \left(0,001014 + \frac{0,00001294}{R} \right),$$

e secondo Levy

$$\xi_0 = \frac{0,00776}{1 + 3\sqrt{R}}$$

entrambi per i tubi di ghisa *in servizio corrente* di raggio R , i quali coefficienti sono da riguardarsi duplici di quelli relativi agli stessi tubi *in stato nuovo*; e secondo Weisbach (*)

$\xi = 0,9457 \operatorname{sen}^2 i + 2,047 \operatorname{sen}^4 i$ per i gomiti ad angolo vivo,

$\xi = 0,124 + 3,104 \left(\frac{d}{2\rho} \right)^{7/2}$ per le curvature nei tubi a sezione rettangolare,

$\xi = 0,131 + 1,847 \left(\frac{D_1}{2\rho} \right)^{7/2}$ per le curvature a sezione circolare; e secondo Navier

$\xi = (0,0039 + 0,0186\rho) \frac{\lambda}{\rho^2}$ per i tubi a sezione circolare,

e secondo Dubuat

$\xi = 0,241 \operatorname{sen}^2 i$; id. id. id.

e infine recentemente Grashof (**) combinando quest'ultima formola di Dubuat con quella superiore di Weisbach, ed esprimendo i in gradi, ha proposto la relazione

$$\xi = 0,00416 i \left(1 - \frac{D_1}{2\rho} \right) \sqrt{\frac{D_1}{2\rho}}$$

quanto al valore di ξ_1 , esso dipende dal rapporto $\frac{a}{A}$ fra la sezione a della tomba all'imbocco e la sezione A del canale, e nella mia *foronomia* (***) è indicato un modo di calcolarlo, da me ora seguito appunto per ottenere la seguente tabella

$\frac{a}{A}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
μ	0,59	0,60	0,61	0,64	0,66	0,67	0,70	0,73	0,80	1,00
ξ_1	0,48	0,44	0,41	0,31	0,26	0,24	0,18	0,13	0,06	0

finalmente per il coefficiente ξ_2 , valga la seguente tabella

$\frac{1}{\eta}$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
ξ_2	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0

È già stato avvertito che l'ultimo termine della formola proposta (3) $\xi_2 \frac{w^2}{2g} = \frac{w^2 - v^2}{2g}$ rappresenta, anziché una perdita di forza viva, un carico latente sotto forma di velocità se $w > v$, o una velocità trasformata in carico se $v > w$, carico che riesce nullo per $w = v$: nel primo caso tal carico è positivo ed aumenta il rigurgito *apparente* prodotto dalla botte, nel secondo esso è negativo e va a degradarlo del rigurgito stesso: in entrambi, fa mestieri non dimenticarlo,

(*) Die Exp. Hyd., pag. 149 e 156.

(**) Theoretische Maschinenlehre. Erster Band, 1875, pag. 499.

(***) Idraulica mat. e prat., pag. 312, vol. I, Palermo, 1876.

esso conserva la forza o la proprietà di trasformarsi in guisa da cadere nel terzo caso $w = v$, eliminando così dal rigurgito *reale* il rigurgito *apparente* $\frac{w^2 - v^2}{2g}$, salvo le perdite dipendenti dalla maniera in cui può aver luogo tale trasformazione.

Se avvenga quindi che si voglia conoscere il dislivello fra il pelo del canale d'arrivo e quello un poco a valle della botte, in una sezione del canale successivo al sifone, nella quale l'acqua abbia una velocità p. es. $V < w$, allora se il passaggio dalla sezione w alla V ha luogo senza brusco ampliamento di sezione, il termine in discorso diviene, prendendo a scorta la formola generale (1),

$$\frac{V^2 - v^2}{2g};$$

e se in questo passaggio fosse avvenuto l'urto $w - V$, si terrebbe conto della perdita $\frac{(w - V)^2}{2g}$ dovuta al medesimo, e il termine anzidetto diverrebbe

$$\frac{(w - V)^2}{2g} + \frac{V^2 - v^2}{2g}.$$

Se poi la velocità V a valle della tomba fosse uguale a quella v del canale all'arrivo, quel termine diverrebbe nullo nel caso di nessun urto; e si ridurrebbe all'altro

$$\frac{(w - v)^2}{2g}$$

nel caso del repentino allargamento di sezione o dell'urto della massa d'acqua di velocità w contro l'altra dotata di velocità v nello stesso senso.

Insomma la formola generale (1) serve facilmente di lume per la soluzione dei casi più complessi di sezioni rapidamente variabili in tutto l'interno della botte, cioè sia nei rami inclinati o nelle spalle, sia nel tronco orizzontale o nella canna.

Notata questa circostanza, il carico H determinato rappresenta di fatto l'altezza onde si eleverebbe il pelo dell'acqua nel canale poco a monte della botte quante volte il pelo allo sbocco rimanesse allo stesso livello del pelo ordinario non alterato del canale dinanzi all'entrata nella botte: esso si confonderebbe adunque, in questo caso, con ciò che propriamente si chiama *altezza del rigurgito di rigonfiamento*. Ma se si suppone di volere che il pelo a valle della botte si trovi esso stesso al disotto del livello del pelo normale a monte dell'altezza h , *l'altezza del rigurgito di rigonfiamento*, che verrà prodotto dalla botte, cioè l'alzamento del pelo a monte, non sarà più allora che $H - h$; e sarà poi nullo nel caso di $h = H$ in cui il pelo a valle sottostia al pelo normale appunto d'una distanza verticale uguale al carico idrostatico richiesto pel passaggio dell'acqua nella botte; infine il rigurgito di rigonfiamento può anche convertirsi in un *rigurgito di depressione* o in una *chiamata* quando il pelo a valle sia posto sotto al livello del pelo normale a monte di un'altezza h_1 maggiore della perdita di carico H prodotta dalla tomba a sifone, ossia quando $h = h_1 > H$.

E qui mi si apre il luogo di avvertire che, in generale, nel progetto d'un condotto chiuso e forzato, dopo avere valutata la perdita di carico fra i peli liberi estremi nel modo suddetto, torna bene che l'ingegnere s'accerti se tutti i punti del medesimo condotto versino nella condizione di pressione sottintesa nei calcoli; nella condizione, cioè, che la velocità in qualunque sezione non debba essere maggiore di quella che sarebbe generata dal carico piezometrico disponibile su quel punto ad acqua stagnante accresciuto dell'altezza della colonna liquida indicante la pressione atmosferica; o più chiaramente, chiamando z la differenza di livello fra il punto considerato del condotto e il pelo liquido del recipiente alimentatore, y la perdita di carico subita dall'acqua nel percorso dentro al condotto fino a quel punto, H_a la pressione

atmosferica in colonna liquida, v la velocità dell'acqua iniziale nel canale o nel recipiente, ed u quella nella sezione considerata, la suddetta condizione da soddisfarsi è

$$\frac{u^2}{2g} < \frac{v^2}{2g} + z - y + H_a$$

ossia

$$u < \sqrt{v^2 + 2g(z - y + H_a)}; \quad (a)$$

avvegnachè se tale condizione non si verificasse per previsione dell'ingegnere, si avverrebbe naturalmente di fatto con dissèsto generale di tutto il movimento dell'acqua. Ma però nessun alzamento di pelo o rigurgito vi ha ragione a temere nel recipiente o nel canale d'alimentazione, quale sia per essere il valore della velocità u , perocchè esso dipende interamente, e dentro i limiti della suddetta condizione, dal dislivello delle sezioni estreme nei recipienti alimentatore e ricevitore che si commisura alla perdita di carico totale dovuta a cause ben diverse da quella della produzione della velocità u .

Conosciuto pertanto in tutte le sue circostanze il *rigurgito totale* H o *parziale* $H - h$ di *rigonfiamento*, o il *rigurgito di depressione* (chiamata) $h_1 - H$, sarà cosa agevole colla scorta delle leggi del moto permanente determinare la curva del rigurgito che si propagherà a monte della botte, coll'approssimazione compatibile collo stato odierno della scienza.

Sono queste le conclusioni che scaturiscono di leggieri dai dettami elementari dell'idraulica, le quali però lasciano sempre aperta la lacuna dei coefficienti sperimentali appropriati a questa sorta di edifici idraulici. Anche la formola trovata, infatti, ha da un lato il vizio di negligere in parte i movimenti complessi d'indole vorticoso che si debbono verificare nei gomiti, i quali si succedono a due a due a troppo breve intervallo per dare a conoscere la vera velocità media dell'acqua parallelamente all'asse della botte dopo il primo gomito di ciascuna coppia di risvolte; dall'altro il difetto di esprimere la perdita di carico dovuta ai mutamenti repentini di velocità coll'altezza a cui è dovuta la differenza delle velocità stesse, facendo così implicitamente l'ipotesi che una delle masse urtanti sia grandissima rispetto all'altra, si da conservare la medesima velocità primitiva dopo l'urto. Il perchè il tema è involuto d'avvantaggio e difficile, quanto complicato e astruso il fenomeno dei movimenti tumultuosi e le contrazioni e gli spandimenti varii che con bizzarra deviazione di filetti viene generando l'acqua nei successivi suoi mutamenti rapidi di sezione. E però rimane sempre da soddisfarsi il desiderio di conoscere esperienze speciali che somministrino per le tombe a sifone dei dati da cui colla regola dei minimi quadrati e colle leggi degli errori d'osservazione si possano dedurre i valori dei coefficienti ξ_1, ξ_2 della formola (3) ovvero ricavare altre formole empiriche nella maniera e coi metodi che mi accadde altre volte di applicare (*).

II.

Parere del prof. comm. Richelmy.

Stimatissimo amico mio cav. Sacheri,

Mando a V. S. per iscritto il mio sentimento riguardante i rigurgiti prodotti dalle tombe a sifone, e la controversia di cui parlammo pochi giorni fa. Nel ripeterle ciò che già le dissi a viva voce, devo premettere alcune osservazioni.

Prima di tutto le noterò che non conosco (**) lo scritto dell'ing. Marignani fuorchè per quanto ne disse nel suo opuscolo il prof. Nazzani. Parmi tuttavia che da questo mi son fatto un criterio abbastanza esatto di quello. In secondo luogo

(*) Formole empiriche per l'idraulica sperimentale. Nuove formole per le portate del Po e del Tevere. I. Nazzani; Palermo, 1877.

(**) Dopo che questa lettera fu scritta e mandata al suo indirizzo, il prof. Richelmy ebbe comunicazione del libro dell'ingegnere Marignani; la lettura del medesimo non ne cambiò tuttavia il modo di pensare.

mi giova avvertire che da tutti i trattati di Idraulica pratica sorge evidente il modo con cui deve procedere il calcolo del rigurgito; e che perciò non posso a meno di unirmi all'esimio professore di Roma nel trovare meno giusto il lagnò dell'ing. Fambri, il quale accusa trattati e trattatisti di idraulica di lasciare in troppa oscurità l'articolo riguardante cotesto rigurgito. No: le teorie idrauliche (teorie a vero dire approssimate e solo grossolanamente approssimate) danno direttamente la risoluzione del problema. Ci conducono a dire: che la velocità nel canale a valle della tomba è dovuta alla stessa altezza, cui corrisponde la velocità a monte, aumentata dell'altezza del rigurgito, e diminuita di tutte le perdite cui dà origine l'esistenza dell'edificio. Queste poi sono di tre specie: i cambiamenti di sezione, le risvolte, l'attrito. Scrivasi l'equazione che ho qui enunciata a parole, ed ecco trattato l'articolo del rigurgito. Il modo di calcolare ciascuno dei termini compresi in questa formola i trattati di idraulica parimente lo espongono, quindi mi pare che non sia il caso di esigere altro di più. Ma, si dirà, restano i calcoli effettivi, resta la scelta fra le diverse espressioni che furono da altri proposte per rappresentare ciascuna delle tre specie di perdite, resta da ricavarsi dalla equazione s'annunciata il valore dell'altezza del rigurgito. Ciò è verissimo, tuttavia parmi che lo scendere ai particolari non possa farsi se non in ciascun caso individuato, ed a spiegare qui meglio il perchè di questa mia opinione, riprendo e distinguo. Il calcolo materiale non è guari difficile a trattarsi. Nell'equazione citata l'altezza del rigurgito potrà ridursi a non entrare (almeno per approssimazione) fuorchè al primo grado, perciò non sarà la risoluzione rispetto alla medesima che abbia ad introdurre difficoltà nell'applicazione al caso pratico, la difficoltà invece che si potrà temere proverrà solo dalla determinazione del numero e dalla espressione di ciascun termine. Ma sì l'uno che l'altro di questi due elementi varia da volta a volta. Il numero dei termini: saranvi tombe, nelle quali i cambiamenti di sezione o non sono, o son minimi, altre, nelle quali questi cambiamenti esistono e ve ne ha più d'uno. Le risvolte: in certe tombe saranno arrotondate, dolci, costruite cioè con direttrice curva; in altre ve ne avrà forse meno o più, ma saranno brusche. Gli attriti: dipendono dalla grandezza dell'area della sezione, e del suo perimetro, più dalla natura della parete.

Che cosa stabilire di un po' generale in tanta varietà di casi? Quanto alla scelta delle espressioni di ciascun termine i trattati presentano la forma ed i coefficienti che furono proposti dai diversi idraulici; siccome tuttavia questi, persuasi sempre che la loro maniera di rappresentare le leggi dei fenomeni è soltanto un'approssimazione delle leggi naturali, e nulla più, cercano di convalidare le formule con ragionamenti più o meno plausibili, i coefficienti con le esperienze; così al trattatista rimane da esporre gli uni e le altre, e proporre ciò che concorda meglio con tutte quelle fra le esperienze che furono eseguite fino al momento della stampa del trattato o della sposizione della lettura. Sarebbe certamente bella cosa possedere una formola, nella quale, sostituendo solamente i dati pratici di ciascun caso speciale, si ottenesse immediatamente il valore dell'altezza del rigurgito; ma per le ragioni che son venute svolgendo fin qui credo la cosa quasi impossibile. Ciò non pertanto, siccome vi fu chi tentò la risoluzione in questo senso, entro a parlare della medesima, ma non credo poter ricordare altri nomi fuorchè del chiarissimo Turazza, dell'ing. Zanella, citato da lui, e presentemente del Nazzani e del Marignani. Tralascio il più antico di tutti, ing. Colombani, perchè la sua memoria stampata nel 1857, anzichè recare una formola da impiegarsi in tutti i casi, si occupa piuttosto della maniera di scrivere l'equazione che io recai in parole nel principio di questo scritto, presenta esperienze dall'autore eseguite intorno a certe tombe, e riassume esponendo i procedimenti da seguirsi per prevedere l'effetto massimo che si abbia a temere nella costruzione di uno di cotesti edifici.

La formola dell'ingegnere Zanella, la più semplice fra tutte le proposte, trascura a un dipresso tutte le altre re-

sistenze e considera unicamente il solo attrito. In compenso aumenta un po' quest'ultimo, cioè il suo coefficiente, per il quale dà due valori, uno conveniente alle tombe dette a canna continua, l'altro alle tombe dette a pozzetto. Infine trascura il termine che proviene dalla altezza corrispondente alla velocità nel canale a monte, e ritiene piuttosto maggiore che non il termine proveniente dalla altezza che corrisponde alla velocità nel tronco a valle. Di questa formola dice il Turazza, che quantunque ingegnosa si risente tuttavia troppo dell'arbitrario, e lascia desiderio di altra più esatta.

Nel proporre la sua, l'illustre professore di Padova seguì più da vicino le tracce segnate dal Colombani, e solo dove questi aveva lasciato indeterminati varii coefficienti, espressi cioè in funzione delle varie condizioni in cui si sarebbero trovati gli elementi dai quali i medesimi dipendevano, Turazza invece volendo dare una formola più pratica, ammise certe ipotesi riguardanti coteste condizioni, e ne dedusse in conseguenza i valori dei coefficienti. Dopo di avere coi predecessori distinto le tombe nelle due specie a canna ed a pozzetto, diede per entrambe la rispettiva formola, supponendo dapprima per le tombe a canna continua quattro cambiamenti bruschi di velocità, due per mutamento di sezione e due per contrazione, e quattro risvolte, pelle quali adottò coefficienti presi da una formola suggerita da Weisbach, semplificata e ridotta dal Colombani, ammettendo certi angoli di piegatura; finalmente adottò un coefficiente d'attrito che gli parve necessario assumere a fine di tener conto dei depositi probabili che si faranno nel tronco orizzontale della canna. Per le tombe a pozzetto avvertì dapprima che il calcolo riesce men certo, principalmente per la difficoltà di valutare le perdite che si verificheranno dalle due parti della canna orizzontale, a causa della variabilità della sezione, e della difficoltà, per non dire impossibilità, di giudicare la quantità dell'acqua che dirò viva, e quella dell'altra quasi stagnante, e che partecipa solo per attrito o trascinamento al movimento della prima. Perciò introduce nella formola due coefficienti indeterminati, poi paragonando i risultati di questa con quelli delle esperienze istituite dal Colombani, e valendosi del metodo dei minimi quadrati li determina entrambi. Ben a ragione conchiude poi l'illustre professore, che probabilmente la diversa forma delle botti apporterà necessità di variare i coefficienti; egli crede tuttavia di averli dati tali che fino a più accurate e più numerose esperienze si possano prudentemente ritenere.

Poche cose dirò della formola stata proposta dal prof. Nazzani. È stabilita essenzialmente per l'ipotesi che la tomba sia a canna e non a pozzetto, inoltre l'autore suppone che si abbia un solo cambiamento brusco di sezione dalla contratta alla successiva, e che sianvi quattro risvolte. In simile ipotesi ammette una formola che ha ancora alcunchè di indeterminato, poichè egli non si decide per nessuna delle espressioni date da Darcy o da Levy per rappresentare la perdita di carico dovuta agli attriti, e nemmeno per quelle proposte da Weisbach, Navier, Dubuat od altri per calcolare quella originata dalle risvolte, presenta tutte coteste espressioni, e lascia al lettore di decidersi. Io non lo rimprovererò di cotale ambiguità, poichè il suo scopo non era quello di dare una formola numerica da impiegarsi in ogni caso, ma sì piuttosto di analizzare l'espressione proposta dall'ing. Marignani.

Invece mi pare che un rimprovero di altra natura sia da muoversi contro entrambe le formule, del Nazzani e del Marignani, rimprovero che sarebbe anche da farsi alla prima dell'ing. Zanella, se questi, anzichè mirare ad una mediocre approssimazione, avesse avuto in animo di far qualche cosa di ben esatto. Ecco la mia osservazione. Nella formola del Nazzani ed in quella che riporta come dovuta all'ing. Marignani, chi ne voglia far uso è condotto a pigliare per la velocità d'arrivo alla tomba quella che corrisponde alla sezione A del canale, prima che l'edificio esistesse, poichè una diversa interpretazione darebbe la sopraelevazione detta H dal Nazzani espressa per H, sarebbe cioè una petizione di principio, e siccome dopo costruito l'edificio la sezione che prima era detta A, si sarà cambiata

in $A + \lambda H$, ove dicasi λ la larghezza superficiale di A , perciò è evidente che manca alcuna parte alle anzidette formule per avvicinarle alla esattezza. Il Turazza ha dimostrato che per correggere cotesto errore conviene il valore di H dividere per $1 - \rho\lambda$, ρ essendo un coefficiente facile a calcolarsi.

Havvi ancora un altro appunto che temo possa farsi alla formula del Nazzani: rispondendo al Marignani ed analizzando il terzo ed ultimo termine della formula di quest'ingegnere, egli osserva, e parmi con ragione, che la differenza fra le due altezze, una dovuta alla velocità iniziale, l'altra alla velocità finale, deve essere presa proprio così, che il minuendo in cotesta differenza sia questa velocità finale e non la massima che si incontra nel percorso della canna, imperciocchè la è la prima e non l'altra di queste due che viene somministrata alla equazione dal principio dei lavori o delle forze vive che si voglia dire; ciò, come dissi, parmi giustissimo; temo però che mentre lo rimprovera altrui, egli sia incappato in un equivoco quasi pari. Secondo me, per calcolare la H , dovrebbero nelle sue formole (1) (2) e (3), delle pagine 5 e 7 della sua nota (*); introdurre non la velocità che egli dice w , ma sibbene quella che a pag. 10 (**) rappresenta poi con V , altramente il lettore potrà essere tratto in inganno e scambiare H col vero dislivello fra il canale d'a monte e quello di iuga.

Vengo infine alla formula (4) pag. 13, la quale vedo essere la proposta dal Marignani (***). Essa si compone, come osserva il prof. Nazzani, di tre termini, la cui somma dovrebbe dare il dislivello H . Tralascio i due primi dei quali la genesi è abbastanza dichiarata dall'esimio Professore, e vengo immediatamente al terzo $\left(\frac{1}{\mu^2 K^2} - \alpha\right) \frac{v^2}{2g}$. Questo termine corrisponde all'aumento di forza viva fra la prima e l'ultima sezione del vaso composto, cioè dell'edifizio della tomba. Il prof. Nazzani fa contro del medesimo due appunti: l'uno è di avere scambiata la sezione ultima nella contratta, scrivendo entro parentesi $\frac{1}{\mu^2 K^2}$ laddove egli avrebbe scritto

$\frac{1}{K^2}$, l'altro di avere moltiplicata l'altezza corrispondente alla velocità iniziale per quel fattore α . Convengo col professore di Roma, sebbene mi paia giusto avvertire, ciò che per altra parte rilevasi dallo stesso scritto di lui, che l'ingegnere Marignani ha creduto coll'aumento prodotto dai divisori μ^2 nel termine positivo, e colla diminuzione prodotta dal fattore α sul sottrattivo, di compensare i termini trascurati, e che sarebbero dovuti a contrazioni nel percorso della canna, non meno che ad un certo attrito e a moti vorticosi, nel primo tronco inclinato della medesima. Tutto sta adunque nel vedere se il compenso proposto dal Marignani sia o no accettabile. Ma anche ridotta a questo punto la quistione, mi af-

(*) Veggansi le formole (1) (2) e (3) a pag. 81 e 82 di questo periodico.

(**) Colonna 1^a a pag. 83.

(***) Essa è la seguente:

$$H = \beta L u^2 + \gamma u^2 \sin^2 i + \left(\frac{1}{\mu^2 k^2} - \alpha\right) \frac{v^2}{2g}, \quad (4)$$

dove l'autore denomina v ed L , come nelle formole superiori (2), (3), la velocità dell'acqua nel canale d'arrivo e la lunghezza della botte; $k = \frac{S}{A}$ il rapporto fra la sezione viva ridotta di superficie S del tronco orizzontale inferiore coperto della botte e la sezione A del canale dell'arrivo; u la velocità nella sezione $S = kA$ ridotta del detto tronco orizzontale più depresso; μ il coefficiente di contrazione della stessa sezione S ; inoltre

$$\beta = 0,000507,$$

$$\gamma = 0,0492 \text{ per le botti a gomiti arrotondati,}$$

$$\gamma = 0,19296 + 0,4176 \sin^2 i \text{ per le botti a gomiti vivi,}$$

$$\alpha = (k - 0,20) (4,45 k + 1,108).$$

Giova inoltre avvertire a proposito di questa formula (4) che il primo dei tre termini del secondo membro è destinato a denotare la perdita di carico dovuta all'attrito, ed il secondo quella dovuta alle risvolte.

fretto a dirlo, sto sempre col professore Nazzani. Trovo giuste le osservazioni che mette innanzi perche sia fatta distinzione fra i vasi aperti comunicanti per via di fori e quelli che comunicano per un condotto chiuso più o meno lungo. Nei primi, il principio dei lavori conduce immediatamente alla conclusione che se il foro è piccolissimo, la velocità attraverso alla *sezione contratta* è dovuta alla differenza di livello; nei secondi la differenza di livello sminuita di tutte le perdite, produce l'aumento dell'altezza corrispondente alla velocità finale posta a fronte di quella cui è dovuta la velocità iniziale. Giuste trovo parimente le poche parole con cui si rigetta l'introduzione di quel coefficiente α a vece dell'unità dentro della parentesi, giusta in fine mi pare la conclusione che assieme col prof. Nazzani, si può ricavare dal complesso delle sue osservazioni. Questa enuncierò dicendo: che siccome la introduzione di qualche termine di più nella formula e l'aumento nei coefficienti d'attrito, davano il mezzo di calcolare con maggiore esattezza l'effetto dei moti vorticosi in principio, e delle contrazioni nel percorso della tomba, bisognava far così e non storcere un termine conservato per fargli rappresentare ciò a cui non è atto.

RICHELMY.

GEOMETRIA PRATICA

SULLA MASSIMA DIFFERENZA AMMISSIBILE

fra due risultati di misurazione di una stessa lunghezza fatta col medesimo istrumento

Ricerche del prof. FRANCESCO LORBER

della I. R. Accademia montanistica di Leoben

1. — Per ottenere risultati che di molto si approssimino al vero, è necessario ripetere molte volte le osservazioni e determinare poi il valor medio dei risultati ottenuti; e questa regola che vale per ogni sorta di osservazioni, vuol'essere anche applicata alle misurazioni di lunghezze.

Tuttavia nella pratica, per diverse cagioni, fra le quali principale è la mancanza di tempo, non si può ripetere gran numero di volte una stessa misura e bisogna accontentarsi di determinare una lunghezza misurandola solamente due volte. Meno di due volte non è consigliabile, perchè non si scoprirebbe in tal caso qualche errore grossolano o svista occorsa nella misurazione.

Misurando una lunghezza due volte, si ottengono per essa due valori, che in generale differiscono l'uno dall'altro, e spetta al misuratore di saper decidere se tale differenza sia ammissibile, se essa cioè dipenda dagli errori inevitabili, oppure se sia effetto di qualche svista e renda perciò necessaria una terza misurazione.

Una tale questione essendo per gli Ingegneri pratici assai importante, determinò il Professore Francesco Lorber della I. R. Accademia montanistica di Leoben a cercarne la soluzione; ed a tale scopo si servì delle stesse 6796 misurazioni fatte altra volta per valutare comparativamente il grado di esattezza dei diversi metodi e strumenti di misura delle lunghezze, ed i cui risultati pratici vennero pubblicati in questo periodico (*).

2. — Chiamando M il massimo errore di una misurazione, sarà $M\sqrt{2}$ la massima differenza ammissibile fra due misurazioni della stessa lunghezza.

Nelle 6796 misurazioni suaccennate trovansi le massime differenze seguenti fra due misurazioni:

(*) Sull'esattezza delle misurazioni di lunghezze fatte con aste metriche, nastro d'acciaio, catena, e compasso agrimensorio. Vedi *Ingegneria Civile*, vol. III, anno 1877, a pag. 84, 97 e 113. Sull'esattezza delle misurazioni di lunghezze colla ruota di Wittmann. Id. id. a pag. 155.

Valori di $M\sqrt{2}$ in funzione dell'error medio m .

Per aste metriche adoperate lungo cordicella tesa	4.0 m
» » » senza »	4.1 m
» il nastro d'acciaio su terreno favorevole	4.0 m
» » » sfavorevole	3.8 m
» » compasso agrimensorio	4.6 m
» la catena	3.9 m
ossia in media	4 m.

Da ciò si vede che la massima differenza è eguale al quadruplo valore dell'error medio m di una misurazione. Quanto all'error massimo M esso è quindi $M=2.8m$.

Su questa base si possono calcolare le differenze ammissibili fra due misurazioni fatte collo stesso strumento e si ottengono i valori seguenti:

	Per terreno		
	favorevole	ordinario	sfavorevole
I. Per misurazioni con due aste metriche lungo cordicella tesa	$0.002\sqrt{L}$	$0.002\sqrt{L}$	$0.002\sqrt{L}$
II. Per due aste metriche senza cordicella (2 uomini)	$0.004\sqrt{L}$	$0.010\sqrt{L}$	$0.016\sqrt{L}$
III. Per due aste metriche senza cordicella (1 uomo)	$0.006\sqrt{L}$	$0.017\sqrt{L}$	$0.027\sqrt{L}$
IV. Pel nastro d'acciaio	$0.009\sqrt{L}$	$0.024\sqrt{L}$	$0.038\sqrt{L}$
V. Pel compasso agrimensorio	$0.008\sqrt{L}$	$0.023\sqrt{L}$	$0.038\sqrt{L}$
VI. Pella catena	$0.012\sqrt{L}$	$0.032\sqrt{L}$	$0.052\sqrt{L}$

Questi risultati potrebbero senz'altro essere adottati e prescritti nelle istruzioni per pubbliche misurazioni, e ciò tanto più inquantochè essi contengono anche l'errore che in pratica si fa nel determinare la posizione dei punti che limitano la linea L da misurarsi.

3. — Alcune istruzioni e regolamenti ammettono fra due misurazioni di una stessa lunghezza L , una differenza $D = \frac{1}{n}L$ eguale cioè ad una parte aliquota di L . Ma n essendo in tal caso una quantità costante per ogni valore di L , è chiaro come una tal regola non possa andar d'accordo coi risultati teorico-pratici ora cennati, sebbene sia molto comoda una regola che non richiede la conoscenza di \sqrt{L} .

Ma di cotesto radicale si può anche fare a meno, riconducendo i valori $L \dots VI$ dati più sopra, dalla forma $D = x\sqrt{L}$ alla forma $D = xL + c$ in cui c dinoti una costante. Questa seconda forma dà, entro certi limiti, risultati che concordano perfettamente coi valori esatti, quali si ricavano da $I \dots VI$.

Così per esempio pel nastro d'acciaio si otterrebbe:

$0.00033L + 0.06$	invece di	$0.009\sqrt{L}$	per terreno favorevole
$0.00086L + 0.15$	»	$0.024\sqrt{L}$	» ordinario
$0.00135L + 0.24$	»	$0.038\sqrt{L}$	» sfavorevole

Le differenze ammesse dalla maggior parte dei regolamenti sono, a dir verò, maggiori di quelle che ci sono indicate da queste rigorose formole — le quali però meriterebbero la preferenza, e renderebbero necessaria una maggiore attenzione durante le misurazioni, mentre è certo che essendo esse state calcolate in base alle massime differenze riscontrate in circa 7000 misurazioni pratiche, danno per le differenze ammissibili D , valori che impiegando la necessaria diligenza dovrebbero ben di rado venir raggiunti.

Leoben, 4° giugno 1879.

Ing. G. N. IVANCICH.

SULLA ILLUMINAZIONE ELETTRICA

CINQUE PUBBLICHE CONFERENZE

tenute nel Museo Industriale Italiano dal Professore

GALILEO FERRARIS

Conferenza 2^a — 3 maggio 1879

Della corrente elettrica.

Nella nostra prima conferenza abbiamo fatto una breve e rapidissima escursione nel campo della fisica pura, onde richiamare alla nostra memoria alcune delle cose che la scienza odierna può dirci sull'intima natura di ciò che noi diciamo luce, e sulle condizioni nelle quali questa si produce. Per noi, che ci siamo proposto di esaminare in questi nostri convegni uno de' modi di produzione della luce, questo doveva infatti essere il primo oggetto di studio.

La luce, vedemmo, è calore, calore sensibile all'organo della vista, solo perchè dovuto a vibrazioni di durata compresa fra certi limiti pei quali l'occhio è conformato.

Un corpo solido o liquido incandescente irradia sempre moti vibratorii diversi pei quali le durate di vibrazione hanno infiniti valori differenti compresi fra il massimo, per cui sieno riconoscibili effetti termici, ed un minimo, dipendente dalla temperatura del corpo, e tanto minore quanto più questa è elevata.

La radiazione luminosa non si può avere se non accompagnata da una radiazione di calore oscuro, invisibile, sempre e di gran lunga più abbondante di essa. La radiazione luminosa non è mai che una frazione, una piccola frazione della radiazione totale.

Il valore di questa frazione, ossia il rapporto della radiazione luminosa alla radiazione totale, uguale a zero quando il corpo non è sufficientemente caldo per essere incandescente, piccolissimo quando il corpo comincia ad emettere la cupa luce rossa dell'estremo dello spettro, è più grande quando il corpo manda luce di un rosso più vivo, più grande ancora quando la sovrapposizione di nuove radiazioni corrispondenti a parti più avanzate dello spettro dà alla luce emessa una tinta aranciata o gialla; è massimo quando il corpo è al massimo di incandescenza, ossia quando essa è bianca; quel valore, in una parola, cresce colla temperatura.

Ora ciò che costa, l'energia che si spende, è, a parità di circostanze, proporzionale alla energia della radiazione totale; dunque abbiamo concluso: l'economia della produzione cresce, a parità di circostanze, col crescere della temperatura del corpo da cui la radiazione è fatta. Ma per ottenere un'alta temperatura bisogna, fra le altre cose, accumulare in piccole masse, soprattutto entro ristrette superficie irradianti, grandi quantità di calore: dunque è questa anche la condizione necessaria per una economica produzione di luce, ed il nostro primo problema si riduce a questo:

Trovar modo di accumulare grandi quantità di calore in piccolo spazio.

È il problema generale della illuminazione. Dopo di averlo enunciato, io discendo al caso speciale della illuminazione elettrica, e mi propongo di mostrare come e in quali condizioni esso si possa risolvere coll'impiego di una corrente elettrica.

Per raggiungere il mio scopo debbo dedicare tutta la conferenza di questa sera a ricordare alcune nozioni fondamentali sulle correnti; e nell'accingermi a ciò vi prego di tollerare che io prenda le mosse da fatti del tutto elementari e che vi dia alcune definizioni, le quali se sono note e famigliari a buona parte di voi, io reputo tuttavia necessarie. È indispensabile che noi non adoperiamo nemmeno una parola, sul significato della quale noi non ci siamo preventivamente intesi, egli è solo a questa condizione che noi ci faremo dei fenomeni, che dovremo studiare, idee concrete, esatte, numeriche, ed è solo con queste che potremo portar giudizio sul valore relativo delle varie proposte e delle varie

opinioni, e quindi renderci ragione dello stato presente e del probabile avvenire del problema di cui ci vogliamo occupare. Per mio conto mi propongo di non abusare della vostra pazienza, e limiterò questi richiami preliminari al *minimum* che mi parrà indispensabile.

In un locale attiguo, (non qui, per evitare il disturbo de' vapori acidi, che altrimenti mescoleremmo con quest'aria già troppo scarsa e quindi viziata), feci disporre una pila di 10 elementi alla *Bunsen*, la quale dovrà servire ai nostri esperimenti. Sono 10 apparecchi come quello che avete sotto agli occhi (fig. 29): ciascuno consiste in un vaso di sostanza

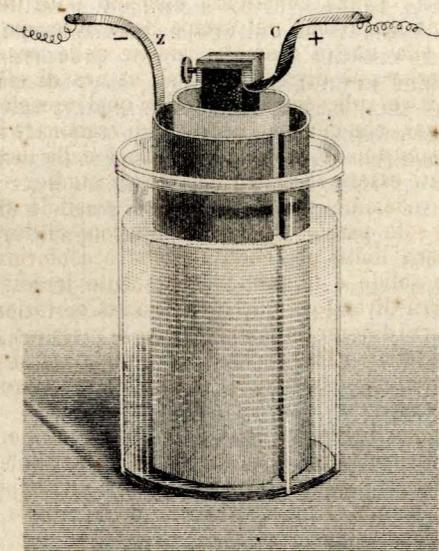


Fig. 29.

non intaccabile dagli acidi, dentro al quale sta concentricamente un vaso poroso. Nello spazio fra i due recipienti v'è acqua acidulata con acido solforico; nel truogolo poroso v'è acido nitrico; nell'acqua acidulata pesca una lastra di zinco amalgamata Z; nell'acido nitrico è immerso un prisma di carbone C, di quel carbone compatto, pesante, conduttore del calore e della elettricità, che incrosta abitualmente la superficie interna delle storte del gas, ed al quale per questo si dà il nome di carbone di storta.

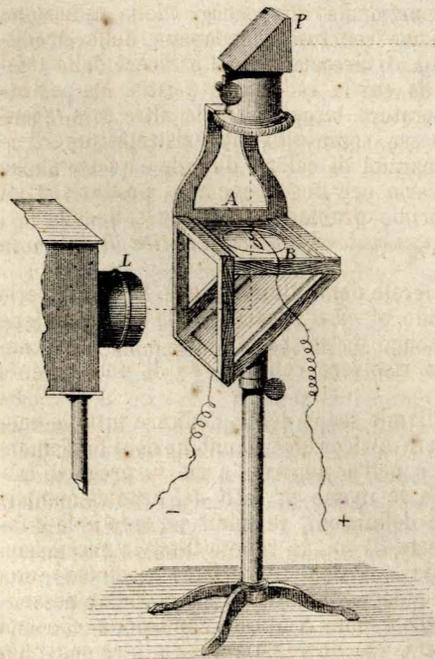


Fig. 30.

Gli elementi così formati sono posti in serie: con morsetti e con lastre metalliche lo zinco di ciascun elemento è collegato col carbone dell'elemento precedente, ed il carbone è collegato collo zinco dell'elemento successivo. Il carbone dell'ultimo elemento e lo zinco del primo, che rimangono liberi, sono i *poli positivo e negativo* della pila. A questi sono attaccati due fili metallici: due reofori, l'uno positivo e l'altro negativo; e questi, isolati con guttaperca, si prolungano fino a noi, così che noi possiamo adoperarli per mettere la pila in comunicazione con apparecchi diversi.

Quando poniamo i due reofori in comunicazione tra di loro, o direttamente, o collegandoli coll'intermezzo di una serie qualsiasi di corpi conduttori, noi diciamo che il *circuito è chiuso*. Il circuito è formato dalla pila e dai conduttori esterni.

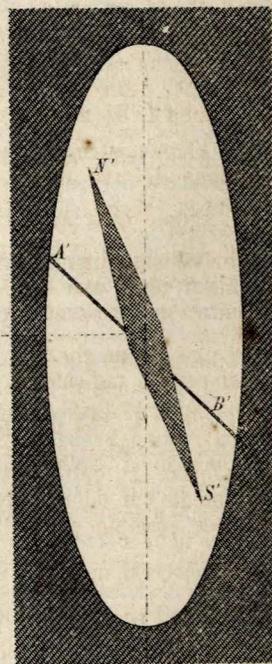
Chiuso il circuito, questo diventa sede di fenomeni diversi caratteristici; per esprimere il fatto noi diciamo: il circuito è percorso da una corrente elettrica. Diciamo anche che la corrente va, nel conduttore esterno, dal polo positivo (carbone) al polo negativo (zinco).

A noi non interessa ricordare il modo di interpretare i fenomeni, dal quale è dedotta la denominazione di corrente; è necessario invece che consideriamo alcuni dei fatti per cui la corrente si rende manifesta, e che si dicono *effetti* di essa.

Gli effetti della corrente ai quali ci importa accennare sono:

- 1° Le azioni della corrente sulle calamite;
- 2° La produzione di calore nelle diverse parti del circuito;
- 3° La magnetizzazione del ferro.

La considerazione del primo ci aiuterà a darci alcuni concetti fondamentali e a precisare il significato di alcune denominazioni, colle quali soltanto noi potremo porre nel



nostro discorso quel rigore, senza del quale esso non ci guiderebbe alla nostra meta.

Il secondo fatto, la produzione di calore nelle diverse parti del circuito, si collega intimamente col nostro problema, ed è per noi il principale. Egli è collo studio delle leggi che lo governano che noi dovremo riconoscere se, ed a quali condizioni, la corrente elettrica possa servire a produrre la luce.

Il terzo fatto poi, la magnetizzazione del ferro prodotta dalla corrente, combinato con altri che ad esso si collegano da vicino, è messo a partito negli apparecchi per mezzo dei

quali si producono le correnti *industrialmente*, a buon mercato. Se noi abbiamo visto la corrente elettrica uscire dai laboratori scientifici e dagli uffici telegrafici per entrare nel campo veramente industriale, se si potè sul serio pensare a fare della luce elettrica un mezzo di illuminazione non solo di lusso, ma pratico, corrente, se a discorrere delle controverse questioni, che a questo si riferiscono, noi ci troviamo qui radunati, ciò noi dobbiamo più che ad ogni altra cosa alla invenzione di quelle macchine. E ad esse noi dovremo dedicare tutta una delle nostre sedute.

Nel ricordarvi questi fatti seguirò l'ordine col quale li ho nominati. Comincerò dunque a richiamare alla vostra memoria il fatto, che è certo noto a tutti, della deviazione dell'ago magnetico prodotta dalla vicinanza di una corrente.

Io ho qui un ago calamitato, posto su di una punta attorno alla quale esso può rotare, tenendosi in un piano orizzontale (fig. 30); immediatamente al disopra di esso, parallelamente ad esso, tesi un filo di rame orizzontale AB, le cui estremità posso far comunicare coi due reofori della pila di cui vi ho parlato. Potrò così sottoporre l'ago all'azione di una corrente rettilinea ad esso parallela.

Non potendo sperare che tutti voi poteste vedere direttamente il filo e l'ago, e riconoscere i suoi movimenti, io disposi il tutto su di una lente orizzontale, attraverso alla quale, e per mezzo di uno specchio inclinato, potrò far arrivare in direzione verticale la luce partita da una lanterna elettrica L. Al disopra sta un prisma a riflessione totale P, che dirigerà la luce di nuovo orizzontalmente, e che avendo una faccia curva funzionerà come lente, e produrrà sopra il muro, molto ingrandita, l'immagine dell'ago e del filo per cui si trasmette la corrente. Melto in azione la lampada elettrica, e voi vedete disegnarsi sulla parete la figura dell'ago e del filo che gli sta sopra. Le loro direzioni coincidono. Ma chiudo il circuito? La corrente passa nel filo? Voi vedete: l'ago N'S' è lanciato fuori della sua posizione d'equilibrio, e dopo alcune oscillazioni si ferma facendo un angolo colla corrente A'B'. Tra la corrente e ciascun polo della calamita si esercita una forza perpendicolare al piano determinato da quella e da questo. Queste forze tendono a portare il polo nord dell'ago verso la *sinistra* della corrente, il polo sud a *destra*, se, come è uso fra i fisici, noi personifichiamo la corrente, immaginando in luogo del filo qui teso un osservatore nel quale la corrente entri pei piedi ed esca per la testa, e che stia guardando l'ago, o meglio il polo di cui si tratta.

Sotto l'azione di queste forze l'ago si porterebbe in direzione perpendicolare alla primitiva, si porrebbe in croce colla corrente, se non seguitassero ad agire su di esse il magnetismo terrestre e le altre forze in causa delle quali, prima che la corrente passasse, esso stava in equilibrio stabile nella direzione del filo. Sotto l'azione simultanea delle forze dovute alla presenza della corrente e delle altre, esso si ferma in una posizione obliqua; in quella posizione, dicono i meccanici, nella quale la somma de' momenti di tutte le forze è eguale a zero. L'angolo di deviazione, si capisce, è più o meno grande a seconda della grandezza delle forze esercitate dalla corrente, e varia nel senso in cui variano queste forze.

Immaginate adesso che in luogo del filo con cui abbiamo sperimentato, ne venga collocato un altro, nella medesima posizione; immaginate che questo filo sia anche esso percorso da una corrente nel verso di quella che passava pel primo; e supponete che si sia riconosciuto che questa seconda corrente imprime all'ago la deviazione stessa che questo prendeva sotto l'azione della prima: allora voi potrete dire che le due correnti per le loro azioni a distanza sui poli magnetici si equivalgono; col linguaggio della fisica direte: le due correnti hanno una medesima *intensità*. Prendete i due fili ove si hanno le due correnti di uguali *intensità*, e collocateli l'uno accanto dell'altro, così vicini l'uno all'altro, che rispetto ai poli dell'ago essi si possano ritenere come nella medesima posizione, e sia questa posizione comune quella che ciascuno di essi aveva negli esperimenti precedenti; voi constaterete che l'ago devierà più di quello che deviasse prima; le forze esercitate dalle due correnti si

sommano infatti. Dopo di ciò se riconoscerete che una corrente unica in un solo filo produce da sè la deviazione che avrete visto essere prodotta dalle due correnti uguali riunite, voi direte: Questa nuova corrente ha una *intensità* doppia di quella delle correnti già sperimentate. Nello stesso modo si dice che l'intensità di una corrente è tripla, quadrupla, ecc., di quella di un'altra, quando da sè sola produce sull'ago l'effetto che si avrebbe adoperando tre, quattro, ecc., correnti uguali all'altra, e poste così vicine da poter essere considerate come coincidenti in una medesima posizione. In una parola, si prendono per misura delle intensità delle correnti le grandezze delle forze che queste esercitano sugli aghi magnetici.

Disponendo, in luogo di un semplice filo rettilineo, una spirale che faccia intorno all'ago un grande numero di giri, e della quale ciascuna parte concorra a produrre sull'ago una deviazione in un medesimo verso, sospendendo l'ago ad una bava di seta, o, comunque, sostenendolo in modo che esso giri pel minimo sforzo, sottraendo l'ago all'azione di masse magnetiche vicine, così che esso sia soggetto unicamente al magnetismo terrestre ed all'azione della corrente, dando a tutte le parti dell'apparecchio forme e dimensioni convenienti, si capisce come sia possibile fare delle intensità misure delicate e precise.

Orbene, dall'intensità della corrente dipendono le grandezze di tutti gli effetti di questa. Fra gli altri dipende dall'intensità della corrente la produzione di calore nelle varie parti del circuito, la quale è, di tutti gli effetti della corrente, quello che più particolarmente ci occorre considerare, e del quale vi ho detto di volervi parlare.

Che in un conduttore percorso da una corrente si possa sviluppare calore voi avete visto già. Mi servii infatti di una corrente per rendere incandescenti le spirali di platino e le punte di carboni, con cui cercai di verificare innanzi a voi sperimentalmente le conclusioni della nostra prima seduta. In modo meno brillante, ma tuttavia abbastanza evidente, possiamo accertarci del fatto un'altra volta colla nostra pila di 10 elementi. Inserisco infatti nel circuito una spirale di sottile filo di platino? Questa si arroventa subitamente.

Che poi lo sviluppo di calore che si ha in questa spirale, al quale è dovuta l'incandescenza, dipenda, in grandezza, dalla intensità della corrente, si vede subito. Il circuito è disposto in modo che di esso fa parte il filo teso in vicinanza dell'ago magnetico, col quale abbiamo sperimentato poc'anzi; proietto un'altra volta l'immagine di quest'ago. Questo, che quando il circuito è rotto, è parallelo al filo, devia quando la corrente passa e rende incandescente la spirale. Con questa deviazione esso ci dà un indizio sulla intensità della corrente, dalla quale è prodotto lo sviluppo di calore di cui siamo testimoni. Noto la deviazione, e poi inserisco un lungo filo di ferro nel circuito; diminuisce così la deviazione dell'ago, e nel tempo stesso diminuisce l'intensità della luce mandata dalla spirale di platino.

Adunque la quantità di calore svolta in una determinata porzione del circuito varia col variare della intensità della corrente. Con quale legge? Evidentemente non è qui, in una scuola, che noi potremmo pensare a fare determinazioni numeriche; ed anche quando ci fosse possibile disporre apparecchi di misura, le cui indicazioni fossero precise, e nel tempo stesso visibili a tutti noi, le esperienze nostre non potrebbero avere alcuna utilità. Le più elementari, le più semplici leggi fisiche conosciute sono per lo più il frutto di prove lungamente continuate, sono il risultato del lavoro paziente di ingegni eletti, durato per anni ed anni. E quella che lega la quantità di calore prodotta alla intensità della corrente, che la produce, è una di queste; la scienza ne è debitrice alle ricerche di parecchi de' suoi apostoli più chiari e più coscienziosi, e soprattutto a quelle del JOULE, che la enunciò pel primo, e che vi unì il suo nome. Da queste ricerche risultò che se l'intensità della corrente diventa doppia, la quantità di calore svolta nell'unità di tempo in una porzione data qualunque del circuito diventa quadrupla di quel che era; se l'intensità della corrente prende un valore triplo del primitivo, la quantità del calore svolta diventa uguale a 9 volte ciò che essa era da principio... in

una parola, la quantità di calore svolta è proporzionale al quadrato della intensità. Per quelli de' miei uditori, ai quali posso parlare il linguaggio dell'algebra, posso enunciare la legge concisamente, scrivendo:

$$q = r i^2 \quad \dots (1)$$

ove q è la quantità di calore, i l'intensità della corrente, ed r una grandezza che dipende dalla natura e dalle dimensioni del conduttore, che è sede dello sviluppo di calore.

JOULE studiò anche da quali elementi questa grandezza r dipendesse, e come. Trovò che perchè fosse valida la legge enunciata ed espressa dalla formola (1), bisognava, nel caso di un conduttore avente la forma di un filo, porre r proporzionale alla lunghezza l di questo, inversamente proporzionale all'area s della sua sezione trasversale, inversamente proporzionale ancora ad un coefficiente c , che dipende dalla sostanza del conduttore, e che i fisici conoscono col nome di *coefficiente di conduttività*. A quelli a cui è noto il linguaggio conciso dell'algebra, la legge riuscirà più chiara se scritta così:

$$r = k \frac{l}{cs}$$

ove k è un coefficiente di proporzionalità, il valore del quale dipende dalle unità di misura, per mezzo delle quali r , l , c , s si vogliono tradurre in numeri.

Ora, una grandezza $\frac{kl}{cs}$ proporzionale direttamente alla lunghezza di un conduttore, ed inversamente all'area della sezione trasversale ed al coefficiente di conduttività, è ciò che si suole denominare *resistenza* di quel conduttore; la grandezza r , che figura nella formola (1), è adunque la *resistenza* del conduttore, e la legge di Joule si enuncia: *La quantità di calore che nasce in un conduttore in ogni unità di tempo è direttamente proporzionale alla resistenza di questo, ed al quadrato delle intensità della corrente.*

Come non avremmo potuto eseguire misure per verificare la proporzionalità della quantità di calore svolto al quadrato della intensità della corrente, così non potremmo tentare di verificare qui la proporzionalità che sussiste tra quella quantità di calore e la resistenza. Possiamo però convincerci facilmente che la quantità di calore varia con l , con c , con s nel senso voluto dalla legge di Joule.

La quantità di calore svolto cresce con la lunghezza l , dice la legge, e le è proporzionale. Che così sia basta a dimostrarcelo il fatto che tante porzioni uguali di un medesimo filo si scaldano ugualmente. Del resto non occorre per questo alcun esperimento; il buon senso ci dice che in successive parti uguali di filo necessariamente debbono succedere i medesimi fenomeni.

La quantità di calore q , dice la legge, varia col variare della sostanza con cui è fatto il conduttore; cresce col diminuire del coefficiente di conduttività, è maggiore a parità di altre circostanze per corpi meno buoni, che per corpi più buoni conduttori. Eccone una prova: La corrente della nostra pila circola, come vedete, in questi fili di rame, alcuni dei quali non hanno un diametro maggiore di due millimetri a tre millimetri. Nessuno di questi fili si riscalda così da arroventarsi, nessuno si scalda tanto da rammollire l'intonaco isolante. Ma inserisco nel circuito una bacchetta di carbone? Ebbene, benchè questa abbia un diametro più che doppio di quello dei fili, e quindi una sezione più che quadrupla, voi vedete, si fa incandescente. Perchè? Perchè il coefficiente di conduttività del rame è forse uguale a 400 volte quella di questo carbone. Tolgo dal circuito la bacchetta di carbone, e vi sostituisco una catena, i cui anelli sono alternativamente di ferro e di rame. I coefficienti di conduttività di questi due metalli stanno fra loro prossimamente nel rapporto di uno a sei; gli anelli di ferro si debbono adunque scaldare più di quelli di rame, e noi lo vediamo: i primi diventano incandescenti, mentre gli altri rimangono oscuri.

Finalmente la legge di Joule dice: la quantità di calore

prodotta cresce col diminuire della sezione trasversale del conduttore. Io pongo nel circuito un'altra catena, gli anelli della quale sono tutti di un medesimo metallo, di ferro; ma essi sono alternativamente fatti con un filo grosso e con un filo sottile. Noi vediamo arroventarsi soltanto questi ultimi. Altra prova: pongo il reoforo positivo in comunicazione con un grosso cilindro di carbone, e il reoforo negativo in comunicazione con una bacchetta di carbone che tengo in mano con questo manubrio, e che è terminata in punta sottile. Toccando con questa punta il carbone positivo chiudo il circuito; la corrente passa e riscalda le diverse parti dei carboni diversamente, a seconda del loro diametro; il carbone grosso, a cui viene il reoforo positivo, non si scalda sensibilmente; il carbone più piccolo che io tengo in mano si scalda assai più, si fa incandescente, rosso cupo; la punta poi ove il diametro è minimo si fa caldissima e manda una viva luce. Una luce assai più brillante ottengo quando io distacco alquanto i due carboni; ma questo è dovuto ad un fatto di cui dovremo discorrere poi: si fa un arco di materia fluida in parte, ed in parte polverosa, resistentissima, ed è in questa che si sviluppa il calore.

Parlai di conduttori aventi la forma di fili; ma la legge si estende anche ai conduttori aventi un'altra forma qualunque. Ad una porzione non filiforme di un circuito si può sempre immaginare sostituito un pezzo di filo, tale che la intensità della corrente rimanga ancora una stessa; si dice allora che questo filo ha una resistenza uguale a quella porzione di circuito; la legge di Joule dice che in questa porzione di circuito si sviluppa tanto calore quanto si svilupperebbe in quel filo.

La pila con cui noi produciamo questa corrente, o quell'altro apparecchio elettro-motore qualunque che noi potremmo adoperare invece della pila, è parte del circuito, ed è, come tutte le altre parti di questo, sede d'uno sviluppo di calore; gli esperimenti del Favre ci assicurano che questo si fa come sul circuito esterno, secondo la legge di Joule.

Vera per tutte le parti del circuito esterno, vera per l'interno dell'elettro-motore, la legge di Joule è adunque valida per l'intero circuito: la quantità totale di calore, che si svolge nel circuito di una corrente è proporzionale alla resistenza totale ed al quadrato dell'intensità. Scegliendo convenientemente le unità di misura, possiamo dire anche: *la quantità di calore svolta nell'intero circuito nell'unità di tempo è uguale al prodotto della resistenza totale pel quadrato della intensità della corrente.*

Io m'era imposto per questa sera il compito di darvi definizioni e di fare che noi ci intendessimo su di alcuni concetti fondamentali elementarissimi, e ve l'ho detto cominciando. Per fare ciò era necessario che io mi armassi di tutta la calma, di tutta la freddezza necessaria per descrivere i fatti sperimentali e scolpire nella vostra mente, a semplici contorni, ma chiaramente, le leggi sperimentali quali ci si presentano, senza mistura di alcuna idea teorica, senza la complicazione di confronti con fenomeni di altra natura. Io aveva bisogno che la medesima calma fosse in voi, e per non turbarla, evitai fin qui ogni allusione, non solo all'applicazione pratica che ci siamo proposto di studiare, ma ben anco al grande principio sul quale ci siamo intesi nell'altra nostra conferenza e del quale abbiamo stabilito di fare la base di tutta la nostra trattazione. Ma adesso che le leggi sperimentali ci sono note, e che abbiamo un'idea dei fatti principali, che avvengono nel circuito, io debbo ricondurvi all'idea di energia ed al principio della sua conservazione.

La corrente, ci disse l'esperimento, ci dà calore, ci dà adunque energia. Ma l'energia non si crea, solo si trasforma; dunque dobbiamo trovare in qualche sito, in qualche parte dell'apparecchio, un consumo di qualche energia equivalente a quella che compare nel circuito sotto forma di calore. Lo troviamo nella pila. Appena chiuso il circuito, incomincia infatti nella pila una azione chimica: lo zinco è intaccato dall'acqua acidulata e si trasforma in solfato di zinco, l'acido nitrico, che sta nel vaso poroso, si scompone, l'ossigeno, che nasce da questa scomposizione, si unisce all'idrogeno posto in libertà nella reazione tra lo zinco e l'acido solforico. Nell'insieme di queste reazioni si ha una scom-

parza di energia: le reazioni si fanno per effetto di quelle forze attrattive che i chimici dicono affinità, i punti di applicazione di queste attrazioni, sono gli atomi de'corpi che prendono parte alla reazione, essi adunque si spostano; si ha nel fenomeno un sistema di forze i cui punti di applicazione si muovono, si ha una somma di lavori meccanici che si fanno, si ha una energia potenziale che scompare. Se noi facessimo avvenire questi fenomeni entro un recipiente così che non si avesse, come qui, una corrente in un circuito esterno, noi ritroveremmo l'energia scomparsa delle affinità chimiche rappresentata da una determinata quantità di calore: l'azione chimica sarebbe accompagnata da un determinato sviluppo di calore. Ebbene, se la reazione avviene nella pila, e se ai poli di questa sono attaccate le estremità di un circuito esterno, non si trova nei truogoli della pila tutto quel calore che l'azione chimica dovrebbe avere prodotto: una medesima quantità di zinco che si consuma produce quantità di calore diverse secondochè il suo consumo ha per effetto la produzione di una corrente elettrica esterna, oppure non produce correnti fuori dei liquidi in cui avviene la reazione. Quando la pila è unita ai capi del circuito esterno, si produce in essa, mentre passa la corrente, quella quantità di calore che è voluta dalla legge di Joule, e questa quantità è sempre minore di quella che l'azione chimica sarebbe capace di generare. Ma il calore, che non si trova nella pila, non è perduto; noi lo troviamo nel circuito esterno, lo troviamo tutto, integralmente; e la sola differenza tra il caso della reazione che avviene senza produzione di corrente ed il caso, che si verifica colla pila, è questa, che nel primo caso tutto il calore equivalente al lavoro delle azioni chimiche si sviluppa nel vaso stesso nel quale avviene la reazione, mentre nell'altro caso questo calore si trova disseminato in tutto il circuito nel modo voluto dalla legge di Joule, in quantità proporzionali alle resistenze delle diverse parti di esso. È questa una conseguenza forzata del nostro principio, ma è anche un fatto sperimentale; le misure di Favre ne diedero una dimostrazione completa.

La pila adunque si può paragonare ad un focolaio, ove con una azione chimica (combustione per via umida) si produce il calore; i circuiti sono condotti per mezzo dei quali una parte di questo calore può essere portato a distanza e distribuito in luoghi diversi a seconda del bisogno. Disponendo le cose in modo che nella pila possa avvenire una abbondante azione chimica, si può avere in essa una produzione di grandi quantità di calore; disponendo poi il circuito così che una breve porzione di esso rappresenti una grande frazione della resistenza totale, si può accumulare su quella breve porzione, e quindi in uno spazio che può essere piccolissimo, una notevole parte di quella grande quantità di calore. Se il corpo che oppone resistenza è così disposto che la sua superficie non possa irradiare nell'unità di tempo una quantità di calore uguale a quella che nel tempo stesso vi si produce, se non quando essa è portata ad altissima temperatura, si ha una abbondante radiazione luminosa.

Noi abbiamo così trovato nella corrente elettrica quello che cercavamo: un mezzo per accumulare in piccoli spazi grandi quantità di energia. Se teniamo dietro ancora per un momento all'ordine di idee, in cui ci siamo portati, e se io posso domandare ai miei uditori ancora per qualche minuto l'attenzione paziente colla quale m'hanno seguito fin qui, noi possiamo fare anche un passo di più, e trovare un enunciato preciso delle condizioni di economia della operazione. Il calore equivalente al lavoro speso nell'elettromotore (qui nella pila, ma lo stesso sarebbe quand'anche l'elettromotore fosse un altro) si distribuisce, abbiám detto, su tutto il circuito, e nelle diverse parti di questo se ne trovano porzioni proporzionali alle loro resistenze; dunque noi possiamo dire: la quantità di calore che si accumula sulla porzione di circuito, che si vuole portare ad incandescenza onde irradii luce, sta a tutto il calore speso come la resistenza di quella porzione di circuito sta a quella del circuito intero: il coefficiente di rendimento in calore, direbbe un ingegnere, è uguale al rapporto tra quella resi-

stenza e questa. Se io potessi far uso del linguaggio dell'algebra sarei molto più chiaro; direi: sia Q la quantità totale di calore che si spende, e q quella che si utilizza, ossia quella che si accumula sul corpo che deve dare la irradiazione; sia poi i l'intensità della corrente e si rappresentino con r e con R le resistenze della parte di circuito ove si vuole accumulare calore e della parte rimanente; noi abbiamo per la legge di Joule:

$$Q = (R + r)i^2 \quad \dots (2)$$

$$e \quad q = ri^2, \quad \dots (3)$$

quindi il rendimento in calore è

$$\mu = \frac{q}{Q} = \frac{r}{R + r}. \quad \dots (4)$$

Per avere poi un buon rendimento in luce, bisogna che una grande frazione di q sia calore luminoso, e a ciò, dissi, occorre una elevata temperatura. Precisiamo la condizione: la porzione di conduttore, che deve dar luce, riceve in ogni unità di tempo la quantità di calore q , e ne perde per la irradiazione una quantità che va crescendo mentre cresce la temperatura. La temperatura diventa costante quando quella porzione di conduttore tanto emette quanto riceve. Ora l'irradiazione è proporzionale alla superficie irradiante S e a una certa funzione $f(t)$ della temperatura t . La temperatura adunque rimane costante quando si ha

$$q = S f(t), \quad \frac{q}{S} = f(t).$$

Ma $f(t)$ è funzione crescente, dunque $\frac{q}{S}$ e t son due grandezze che crescono insieme. Si vede così che da questa equazione si ricava un valore di t tanto più grande quanto maggiore è $\frac{q}{S}$.

Regola: Per avere un grande rendimento in luce bisogna produrre una grande quantità di calore q in una piccola superficie irradiante S .

Per quelli a cui non è ignoto questo linguaggio è bene che io faccia ancora una osservazione. Faraday ha dimostrato che la quantità di zinco, che si consuma nella pila in ogni unità di tempo, è proporzionale all'intensità della corrente. Quindi Q è proporzionale ad i , e si può scrivere

$$Q = E i \quad \dots (5)$$

e la costante E dicesi *forza elettro-motrice* della pila.

Portando nella (2) questo valore (5), abbiamo

$$i = \frac{E}{R + r} \quad \dots (6)$$

l'intensità è uguale alla forza elettro-motrice divisa per la resistenza totale. È questa la legge di Ohm. Finalmente possiamo portare il valore (6) di i nel valore (2) di q , e scrivere

$$q = \frac{r}{R + r} \frac{E^2}{R + r} = \frac{E^2 \mu}{R + r}, \quad \dots (7)$$

e di qui

$$\mu = q \frac{R + r}{E^2}, \quad \dots (8)$$

equazione che c'insegna che, data la quantità di calore q , che si deve somministrare al corpo radiante, si ha un coefficiente di rendimento tanto maggiore quanto più si fanno grandi le resistenze e quanto minore si fa la forza elettromotrice. Ed ecco un altro teorema di immediata e pratica applicazione. Vedremo infatti descrivendo le varie lampade elettriche, che parecchie di esse non si possono attivare se q non supera un certo limite, che se non si conosce bene, è almeno razionale ammettere.

Voi vedete, o signori: nella prima conferenza, guidati dalle idee teoriche in apparenza le più lontane dalle

applicazioni, siamo arrivati, quasi senza accorgerci, a definire con precisione lo scopo a cui dovevamo mirare per avere economicamente la luce: abbiamo trovato che bisognava cercare di accumulare molto calore in poco spazio; in questa seconda nostra seduta abbiamo fatto un nuovo passo, abbiamo riconosciuto nella corrente elettrica, un mezzo per risolvere il problema: abbiamo persino stabilito quali sieno le condizioni necessarie perchè il problema si trovi risolto con economia. Abbiamo fatto questo nuovo passo, anche qui senza accorgercene, mediante l'esame paziente d'una legge fisica; or questa è il frutto del lavoro perseverante di uomini che alle loro fatiche non posero mai per meta la ricerca di qualche cosa capace di applicazioni pratiche immediate, ma che cercarono il vero in sé e per sé, quel vero che se non arricchisce chi lo cerca, e anzi spesso ne consuma le sostanze e la salute, può fare col tempo la ricchezza e la gloria di intere nazioni. Quegli uomini non pensarono alle applicazioni ed è per questo appunto che trovarono; ma fecero per la applicazione la parte più importante: somministrarono le cose applicabili. Le invenzioni sono il più delle volte dovute più a chi non vi pensò mai che a chi diede loro il proprio nome; e noi italiani, per esempio, possiamo dire con orgoglio al più pratico dei popoli, all'americano: il telegrafo che porta il nome del vostro concittadino Morse, non esisterebbe ancora senza l'opera del nostro Volta — e l'opera del Volta è ben altrimenti grande della invenzione di un tasto e di una macchina scrivente. In ogni caso i trovati della scienza sono come fari, tenendo di mira i quali, il tecnico non smarrisce la strada, mentre travia assai spesso senza il loro aiuto.

Io mi lasciai trascinare in queste considerazioni perchè ciò che è vero pei ricercatori delle invenzioni, è vero anche per quelli che, come noi in queste conferenze, si limitano al lavoro più facile di portar giudizio sui trovati altrui. Inoltre voi vedrete che nella questione speciale di cui noi vogliamo trattare, inventori di provata abilità fallirono appunto per aver dimenticato i principii teorici dai quali noi abbiamo preso le mosse.

Un terzo ed ultimo effetto della corrente, al quale, cominciando questa conferenza, ho detto di dovere accennare, è la magnetizzazione del ferro. Il fatto è notissimo, e poche parole basteranno per richiamarlo alla vostra memoria. Se si circonda una massa di ferro dolce, p. es., una sbarra cilindrica, con una spirale di filo metallico isolato, e se in questa si fa passare una corrente elettrica, il ferro diventa magnetizzato, si trasforma in una calamita, la quale presenta il polo nord alla estremità verso la sinistra della corrente, ed il polo sud verso la destra: egli è come se le particelle del ferro fossero tante calamite disposte irregolarmente in tutte le direzioni, e si orientassero come tanti aghi magnetici sotto l'azione della corrente. — Questo vi dico non per dare una spiegazione, ma per offrirvi nel confronto dei due fatti una regola mnemonica.

Interrotta la corrente, il magnetismo scompare; più esattamente: non rimane di esso che una traccia detta *magnetismo rimanente*, la quale è tanto meno sensibile quanto più il ferro è dolce. Per ricordare questo fatto, che il nucleo di ferro funziona come una calamita soltanto quando passa la corrente, si dice l'apparecchio che ho descritto *calamita temporaria*, oppure *elettromagnete*.

Invece di una sbarra di ferro cilindrica si può adoperare una sbarra piegata ad U, dividere la spirale magnetizzante in due parti e dare una di queste all'uno e l'altra all'altro braccio dell'U. Si ha allora una elettromagnete a *ferro di cavallo*; potendosi fare agire con entrambi i poli sopra una medesima massa di ferro, sopra una *medesima armatura*, l'elettromagnete a ferro di cavallo si adopera con vantaggio quando si vogliono produrre energiche attrazioni. L'intensità delle attrazioni che si possono ottenere colle calamite temporarie, è di gran lunga superiore a quelle che possono offrire le più potenti calamite permanenti di acciaio, e un semplice esperimento basterà a provarlo. Ecco una elettromagnete a ferro di cavallo, che io posso attivare colla pila di dieci elementi che ci ha servito in tutta questa lezione (fig. 31). La sua armatura porta un grande piatto di bilancie

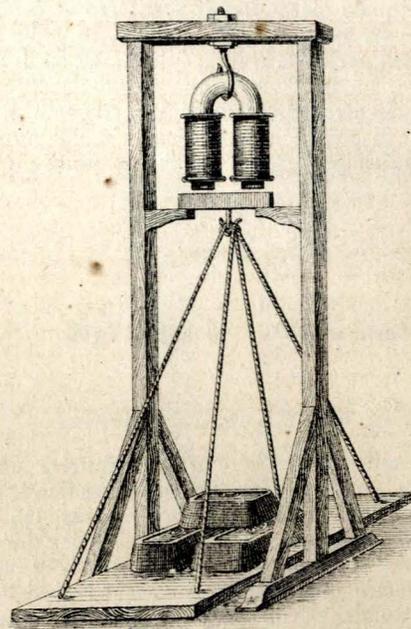


Fig. 31.

che io posso caricare di pesi. Voi vedete: tutti i pesi che abbiamo qui, non bastano a distaccare l'armatura dai poli del ferro di cavallo — e sono più di 150 chilogrammi. Ma rompo il circuito? L'armatura subito si distacca e cade.

Un peso così grande non può essere sostenuto se non quando l'armatura è vicinissima ai poli: ma togliamo i pesi e lasciamo solo il piatto colle sue catene: voi vedete: esso è attratto a distanza, si solleva da sé quando il circuito è chiuso. Rompo il circuito? Il piatto ricade. Chiudo un'altra volta, il piatto è di nuovo sollevato.... Ecco un nuovo modo di manifestarsi dell'energia della corrente: ecco un movimento, ecco un lavoro meccanico. Sapendo che la corrente era una energia, noi eravamo già certi che in qualche modo questa avrebbe potuto darci un lavoro meccanico: ora ecco il modo. Io non voglio allontanarmi dal cammino che mi sono prefisso, e non voglio stancare la vostra attenzione descrivendovi nei suoi particolari alcuno degli apparecchi, che si possono immaginare a migliaia, per mezzo dei quali si può ricavare in modo continuo, regolare, un lavoro da una corrente. Dopo quello che io vi dissi, voi siete convinti della possibilità di fare tali apparecchi, e ciò a me basta.

Una piccola macchina di questa natura è disposta qui, e noi possiamo vederla in moto; chiudo il circuito, e tosto essa si pone in movimento. Nella energia meccanica che qui vediamo comparire, noi dobbiamo riconoscere una porzione della energia della corrente, la quale è distrutta. Appena la macchina si pone in moto, la intensità della corrente diminuisce, e con questa diminuiscono la quantità di calore svolta nel circuito e tutti gli altri effetti della energia elettrica: se noi misurassimo, come fece il Favre, la quantità di calore che un grammo di zinco sciolto nella pila produce adesso, lo troveremo inferiore a quello che si avrebbe quando questa macchina stesse in riposo: la differenza è esattamente equivalente al lavoro con cui la macchina è tenuta in moto. L'esperimento nelle abilissime mani del Favre, non solo riuscì, ma condusse ad una delle più notevoli determinazioni dell'equivalente dinamico del calore.

Noi non possiamo fare misure di lavori, possiamo però constatare che la macchina non si pone in moto senza far scemare la intensità della corrente. Ci basta fare agire la corrente su di un ago magnetico e constatare che la deviazione di questo diminuisce ogni qual volta la macchina si pone in moto, e cresce quando essa si ferma.

Io desiderava, o signori, di condurvi a ciò. Partendo da questa considerazione noi arriveremo naturalmente, nella prossima conferenza, a trovar modo di produrre la corrente per mezzo di un lavoro meccanico. Ora nella soluzione di questo

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

Conferenza 3^a — 10 maggio 1879

Delle macchine d'induzione.

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

Ma perchè la corrente elettrica si potesse proporre industrialmente come mezzo per produrre la luce, non bastava sapere come una grande frazione del calore equivalente alla energia della corrente si potesse trasformare in calore visibile, in luce, bisognava inoltre avere modo di produrre la energia elettrica con piccola spesa. Bisognava avere elettromotori più economici di quello che sia la pila, nella quale l'energia elettrica è data dal lavoro chimico che si compie nella reazione tra lo zinco, l'acido solforico, l'acido nitrico. Per produrre infatti con questa reazione una quantità di calore uguale a quella data da un chilogramma di carbon fossile (litantrace) che costa quattro centesimi, bisogna consumare da 5 a 6 chilogrammi di zinco ed i pesi equivalenti di acido solforico e di acido nitrico, il che, col mercurio necessario per l'amalgamazione, può costare da 15 a 20 lire.

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

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

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

Avevamo qui una elettromagnete: un nucleo di ferro dolce coperto da una spirale di filo metallico rivestito, ed un'armatura: un pezzo di ferro dolce che poteva applicarsi alle due estremità del nucleo, che nel nostro esperimento erano

vicine l'una all'altra per essere il nucleo piegato a ferro di cavallo. Per la spirale fecimo passare una corrente, ed osservammo che subito l'armatura era attratta con forza e poteva sollevare pesi considerevoli: il nucleo di ferro era diventato una calamita e quindi aveva attirato il ferro dell'armatura. Sollevando l'armatura, che cogli annessi, aveva un peso, l'elettromagnete faceva un lavoro, la corrente faceva un lavoro: io vi feci notare che mentre la corrente faceva questo lavoro, essa si trovava indebolita.

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

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

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

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

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

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

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

Per intenderlo bene, è utile innanzi tutto che lo vediamo.

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

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

Ciò posto, io unisco i capi del moltiplicatore con quelli di una doppia spirale, *s s'* la quale avvolge un nucleo arcuato di ferro dolce, formando una elettromagnete a ferro di cavallo, e in faccia alle estremità polari di questa, metterò in moto una calamita *M*, facendola ora avvicinare ed ora allontanare da esse (fig. 32). Se è vero il fatto che io ho enunciato, noi dovremo vedere quell'immagine luminosa spostarsi in un senso tutte le volte che questa calamita si avvicinerà alle estremità dei nuclei delle spirali, spostarsi nel senso opposto tutte le volte che la calamita si allontanerà dai nuclei. L'esperienza conferma pienamente la previsione.

Se potessimo esaminare in qual verso sieno qui avvolte le spire, e come stieno situati i poli dell'ago, noi vedremmo facilmente che la corrente che si ha nel distacco, nell'allontanamento della calamita mobile induttrice è diretta in modo da produrre nei nuclei poli contrarii a quelli a cui stanno affacciati, quindi esercitanti attrazioni che si oppongono al movimento; vedremo invece che durante l'attacco, ossia durante l'avvicinamento della calamita induttrice, si produce una corrente indotta di tale verso da far nascere nei nuclei poli omonimi a quelli affacciati, ossia poli che esercitano su di questi forze ripulsive, ossia finalmente, che si oppongono al movimento. È la legge che si trattava di verificare.

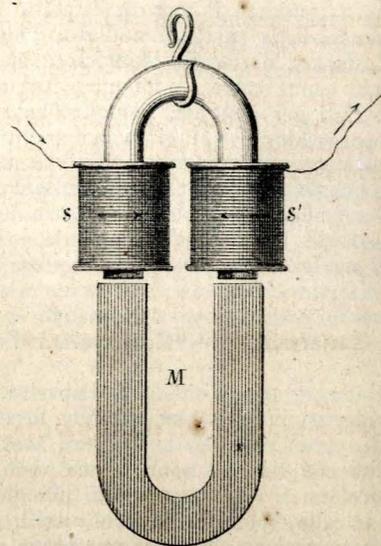


Fig. 32.

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

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

Movendo una calamita in faccia ad una spirale, noi abbiamo appreso, possiamo produrre delle correnti: ma le correnti sono manifestazioni di energie, le correnti producono calore, azioni chimiche, lavori, e siccome l'energia non si crea, così le correnti non si producono senza consumare, senza spendere qualche cosa. Che cosa è ciò che noi spendiamo quando col movimento relativo di calamite induttrici e di spirali indotte noi produciamo correnti d'induzione? Se voi avete posto attenzione a ciò che io ho detto sul verso delle correnti indotte, troverete subito la risposta: la corrente indotta ha sempre tal direzione da produrre forze che si oppongono al movimento col quale essa è generata. Quando il movimento ha per effetto una corrente indotta, questa crea una resistenza, che altrimenti non

sussisterebbe; a produrre il moto a dispetto di questa resistenza è necessaria la spesa di un lavoro: è questo lavoro ciò che si trasforma in energia elettrica, e che la corrente ci restituisce, o come calore, o di nuovo, almeno in parte, come lavoro. Così per esempio, per allontanare la calamita in questo apparecchio di cui ci siamo serviti poco fa, io debbo fare un lavoro più grande quando il circuito è chiuso, e produco in questo una corrente, che non quando è aperto: il lavoro che spendo in più nel primo caso non è perduto: produce la corrente. Quando poi la calamita si riavvicina alle estremità dei nuclei delle spirali, essa acquista una velocità, una energia diversa ne' due casi; questa energia è maggiore quando il circuito è aperto che non quando esso è chiuso: la differenza è equivalente al calore svolto nel circuito dalla corrente indotta.

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

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

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

Noi possiamo ottenere una macchina d'induzione semplicemente così: collocando in faccia ad una calamita fissa una elettromagnete, la quale possa farsi rotare attorno ad un asse O in modo che le sue estremità polari n, s vadano in modo periodico avvicinandosi ed allontanandosi dai poli N, S di quella (fig. 33). Se alle estremità della spirale si attaccano

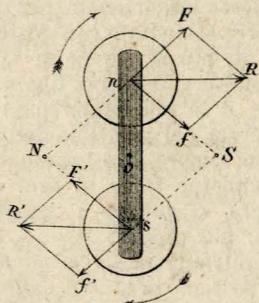


Fig. 33.

ai capi di un circuito esterno e si forma così un circuito chiuso, questo circuito è, finchè dura il moto, la sede di una successione di correnti indotte. Applichiamo il principio ora enunciato e ce ne convinceremo. Immaginiamo a quest'uopo che le spirali mobili sieno percorse da una corrente. Il nucleo per effetto di questa si magnetizza allora, e presenta alle due estremità i due poli nord e sud. Il primo, n , sarà attratto dal polo sud S con una forza f e respinto dal polo nord N

con una forza F, l'altro, viceversa, sarà respinto dal polo sud ed attratto dal nord colle forze f' ed F'. Le spirali saranno così sollecitate da una coppia R, R' a rotare, come indica la saetta nella figura. Dunque, se noi produciamo questo movimento, esso genera sulle spirali una corrente. Il verso? Il verso sarà quello che si oppone al moto; quello adunque che produce un polo nord in s finchè il nucleo s va avvicinandosi al polo nord N, che lo respinge; quella che produce in s un polo sud quando il nucleo s ha oltrepassato il polo N e va allontanandosi da esso. Si hanno adunque così correnti che cambiano di verso ogniquivolta i nuclei mobili passano davanti ai poli fissi N ed S. Con un commutatore il quale inverte (fig. 34) le riunioni dei capi delle spirali coi

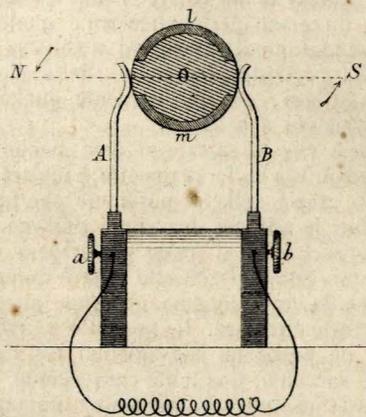


Fig. 34.

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

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

Ma non l'ho descritta che per fare su di un apparecchio certamente noto alla massima parte dei miei uditori una applicazione del principio generale che noi abbiamo enunciato, ed in questo modo renderlo loro viemméglio chiaro e familiare. Io non mi sono proposto infatti di fare in queste conferenze la storia delle invenzioni che si collegano con quella della illuminazione elettrica, storia che troverete assai più completa di quella che si potrebbe svolgere nel limitato numero de' nostri convegni, in tutti i trattati; mi sono invece proposto, come dissi cominciando, di dare dello stato presente di questa applicazione scientifica una nozione sufficiente per poterne dedurre qualche indizio sul suo probabile avvenire. Sono quindi le macchine attualmente in uso che io debbo descrivere, e più particolarmente quelle conosciute col nome di macchine di Gramme alla teoria delle quali si collega intimamente quella di tutte le altre macchine moderne, e le quali sono fra noi le più diffuse.

Le macchine d'induzione di Gramme comparvero nel 1872; i risultati che esse diedero furono tali da far dimenticare tutto quanto in quest'ordine di cose si era fatto prima. I problemi relativi alle applicazioni tecniche della corrente elettrica, fra cui primo quella dell'illuminazione elettrica, si ripresero in grazia di quelle macchine, con una lena e con

una fede di cui prima non si erano creduti degni mai; le macchine Gramme non avevano soltanto il merito di aver forme solide, e dimensioni tali da potersi collocare degnamente fra le macchine industriali, ma davano quello che nessuna macchina anteriore, fatta sul tipo di quella di Clarke o di Störer, non esclude quelle del Nollet, avrebbe potuto dare: una corrente continua, assolutamente costante; e questo esse davano senza bisogno di alcun commutatore, e con organi semplici, robusti, di funzionamento sicuro.

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

La spirale di Pacinotti, che, come dissi, forma la parte caratteristica della macchina di Gramme, è anulare: è un anello circolare di ferro dolce, tutto vestito di spire di filo di rame isolato. Per farvene un'idea dovete immaginarvi una elettromagnete inizialmente diritta, la quale sia poi stata piegata in cerchio e della quale si sieno poi saldate insieme le due estremità, ferro con ferro, filo con filo, così da formare un tutto continuo. Schematicamente voi la vedete qui disegnata (fig. 35). Essa è posta fra i poli N ed S di una

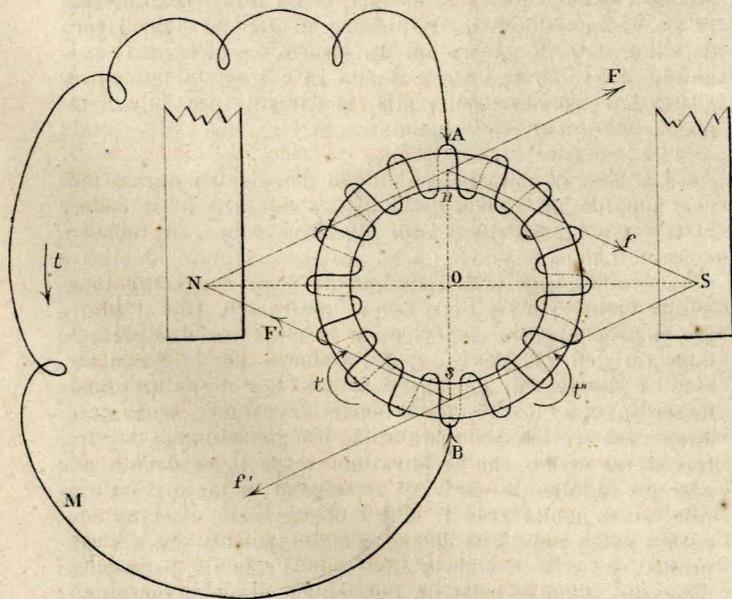


Fig. 35.

calamita permanente o temporaria, ed è portata da un albero O, attorno al quale si può far girare come una ruota. Il filo non ha capi, come non ne ha il nucleo, ma con un artificio, di cui diremo fra poco, esso può mettersi in comunicazione metallica con un circuito esterno M, e precisamente così che i capi di questo comunichino in ogni istante coi due punti A e B della spirale, posti alle estremità del diametro perpendicolare alla retta dei poli

N S della calamita induttrice. Per fissare le idee supponete che i due punti A e B sieno toccati dalle estremità del circuito M, e che mentre gira la spirale anulare, i contatti A, B passino da una spira alle successive in modo da stare sempre nella medesima posizione.

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

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

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

La spirale, di filo isolato, è fatta di tante porzioni uguali, che possiamo dire *spirali elementari*: è formata da una serie di molte piccole spirali uguali s, s, s , infilate l'una dietro all'altra sul nucleo anulare (fig. 36). Queste spirali sono con-

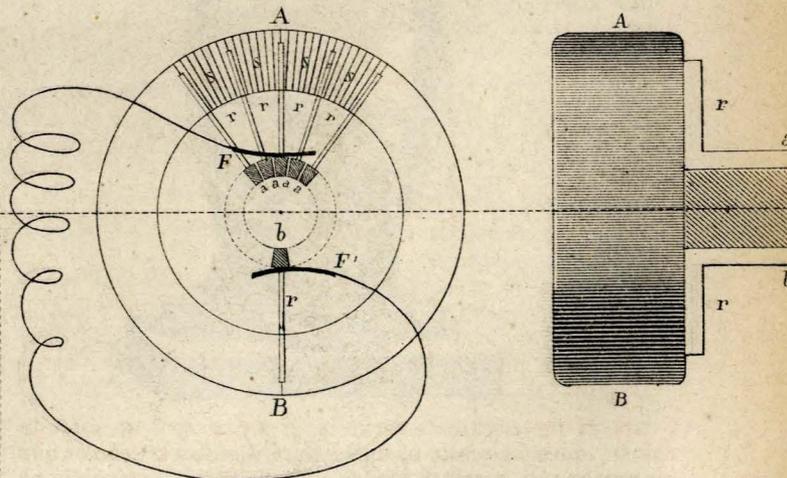


Fig. 36.

giunte l'una all'altra, capo a capo, così da formare una spirale unica continua, come abbiamo detto: ma nei punti d'unione esse sono legate a lastre metalliche r, r, r , le quali son

piegate ad angolo retto ed hanno uno dei bracci, r , diretto come un raggio dell'anello, e l'altro a diretto parallelamente all'asse di rotazione, e collocato sulla superficie di un cilindro ab di diametro minore dell'anello, il quale rota con esso. Le porzioni a , che coprono l'albero di rotazione, sono isolate le une dalle altre, e sulle faccie esterne, che stanno tutte su di una superficie cilindrica, sono nude, prive di ogni vernice. Su di esse si appoggiano due sfregatoi a spazzola F, F' ai quali sono uniti con opportuni morsetti i capi del circuito esterno. Le due spazzole toccano due lastre a, b diametralmente opposte, e quindi pongono, come si voleva, il circuito esterno in comunicazione con due punti A e B diametralmente opposti della spirale. Siccome poi le spazzole toccano sempre più di una lastrina ad un tempo, così la comunicazione della spirale indotta col circuito esterno è sempre chiusa, e la corrente è realmente continua e costante.

La fig. 37 rappresenta la struttura della spirale anulare

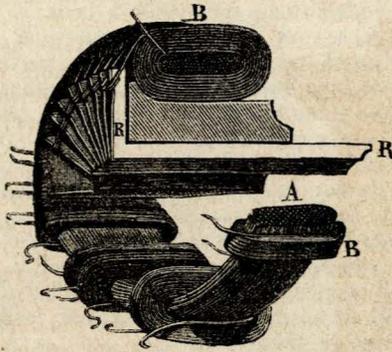


Fig. 37.

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

Abbiamo sotto agli occhi, in condizioni da poter lavorare, una macchina di Gramme di piccolo modello (fig. 38). In essa

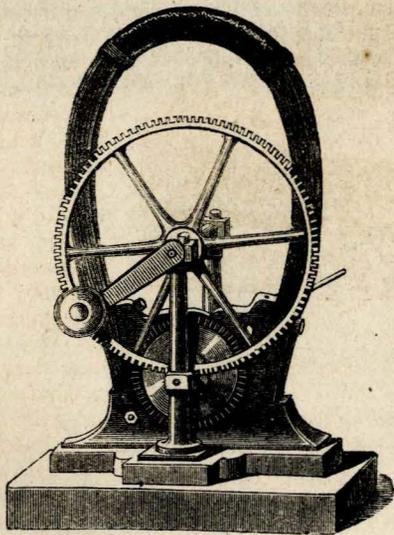


Fig. 38.

la calamita induttrice è una calamita permanente d'acciaio, di quelle a lastre sovrapposte che il Jamin ci mostrò a costrurre recentemente, e che, come sapete, hanno in piccola massa molta potenza. Fra i poli, che stanno qui in basso, voi vedete come una piccola ruota a cui con una manovella ed un paio

di ruote dentate, posso imprimere una rapida rotazione: è questa la spirale anulare. Se foste più vicini potreste vedere da una parte come un grosso manicotto a superficie listata di rame: è questo il sistema delle lastre a e su di esso si appoggiano sopra e sotto due spazzole metalliche. Due morsetti servono a mettere queste spazzole in comunicazione col circuito esterno. Se chiuso il circuito, noi poniamo in moto la manovella, abbiamo la corrente, e questa è così intensa, che per renderla sensibile a tutti voi, io non ho bisogno di ricorrere alla bussola: essa arroventa un filo di platino, che voi tutti potete vedere.

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

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

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

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

esso può agire, nei primi giri della spirale indotta, come una vera calamita permanente, soltanto è debole, e produce deboli correnti indotte. Ma se queste correnti si fanno circolare nella spirale magnetizzante in verso conveniente, esse aumentano lo stato magnetico induttore. La corrente indotta si fa perciò anch'essa più intensa. Ma seguitando a circolare nelle spirali magnetizzanti, questa corrente più intensa aumenta ancor più la potenza delle calamite induttrici. Le quali, a loro volta, producono una induzione più energica.... così seguitando, si vede che dopo alcuni giri della spirale indotta, i nuclei delle elettromagneti induttrici si porteranno ad uno stato magnetico massimo, che dipende dalle dimensioni dell'apparecchio e dal lavoro con cui lo si tiene in azione.

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

Ecco il primo modello di queste grandi macchine: quello che figurò alla esposizione di Vienna del 1873 (fig. 39). Le elettromagneti induttrici sono costituite da sei sbarre di ferro verticali collegate dallo zoccolo e dal capitello di ghisa della macchina. Queste sbarre sono coperte da spirali in cui dovrà circolare la corrente magnetizzante, e queste spirali sono avvolte in tal modo che quando la corrente vi circoli si forma un polo nel punto di mezzo delle sbarre e due poli opposti ad esso alle due estremità. I poli che si formano sul mezzo delle sbarre di sinistra sono contrarii a quelli che si formano nel mezzo delle sbarre di destra. Questi poli mediani sono gli induttori; e per questo sono in questi punti di mezzo unite alle sbarre di ferro gannasce che abbracciano, senza toccarla, la spirale indotta. L'insieme delle sbarre, del capitello e dello zoccolo costituisce come un sistema di due elettro-calamite a ferro di cavallo coi poli omonimi affacciati — come la spirale anulare.

In queste macchine di antico modello si hanno due spirali indotte: una di esse dà la corrente esterna, l'altra, minore, non dà che la corrente magnetizzante. Ciascuna spirale ha il suo sistema di lastrine e le sue spazzole, ma mentre le spazzole dell'una comunicano col circuito esterno, quelle dell'altra comunicano soltanto colle estremità delle spirali delle elettromagneti induttrici.

Dopo il 1874 il Gramme modificò, nella posizione delle parti, i suoi apparecchi e con ciò li rese meno voluminosi, più semplici, più leggeri, meno costosi (fig. 40). Le modificazioni essenziali sono due: 1° le elettromagneti induttrici sono orizzontali, sono in numero minore (ordinariamente 2

sole), e son collegate dai montanti di ghisa invece che dallo zoccolo e dal capitello della macchina; 2° v'ha una sola spirale indotta, e serve come corrente magnetizzante la stessa corrente esterna. La spirale magnetizzante è a quest'uopo inserita nel circuito esterno: un medesimo circuito contiene il filo esterno, la spirale indotta, le spirali magnetizzanti. Il vantaggio di queste modificazioni è considerevole.

La fig. 41 rappresenta una sezione longitudinale di una macchina di grande modello. In questa le elettro-magneti induttrici sono quattro, e due di queste si vedono in figura. V'hanno due copie di sfregatori a spazzola; e ciò mentre rende più regolare l'azione della macchina, permette di ottenere a piacimento due correnti distinte od una corrente unica.

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

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

Voi vedete che per moderare la velocità della piccola macchina

occorre uno sforzo considerevole. Una serie di esperimenti che noi eseguiamo ci diedero anche la misura del lavoro consumato dal freno. Per 907 giri al minuto troviamo 28 a 30 chilogrammetri, per 1"; è il lavoro che potrebbero fare quattro uomini lavorando su di una manovella (1).

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

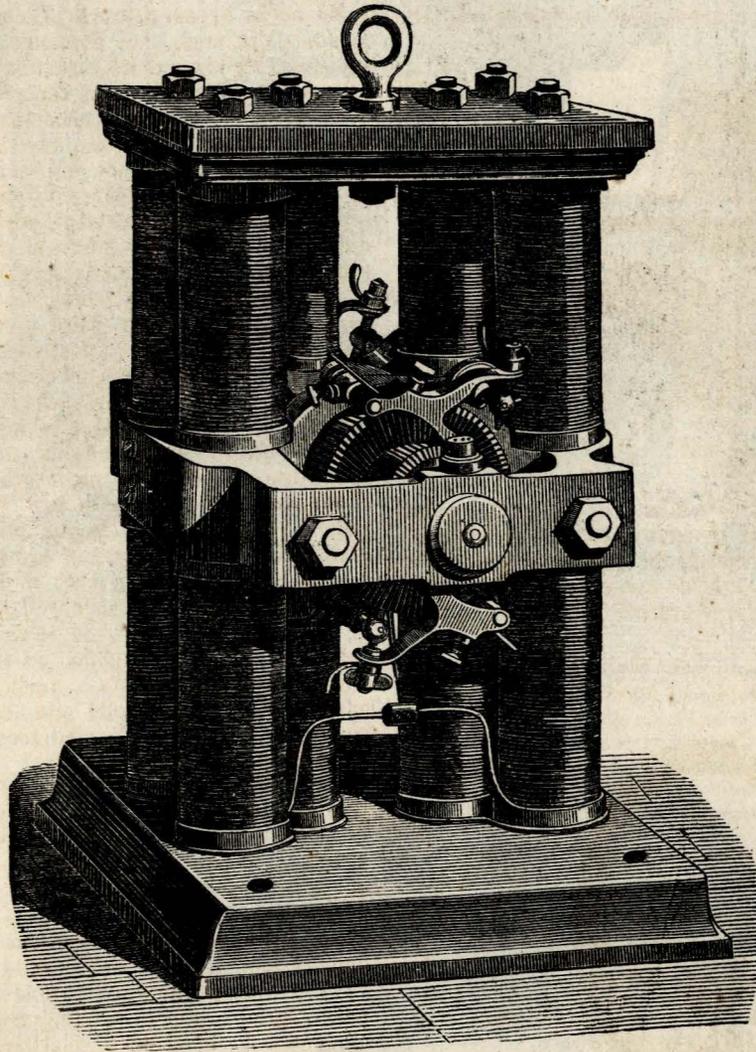


Fig. 39.

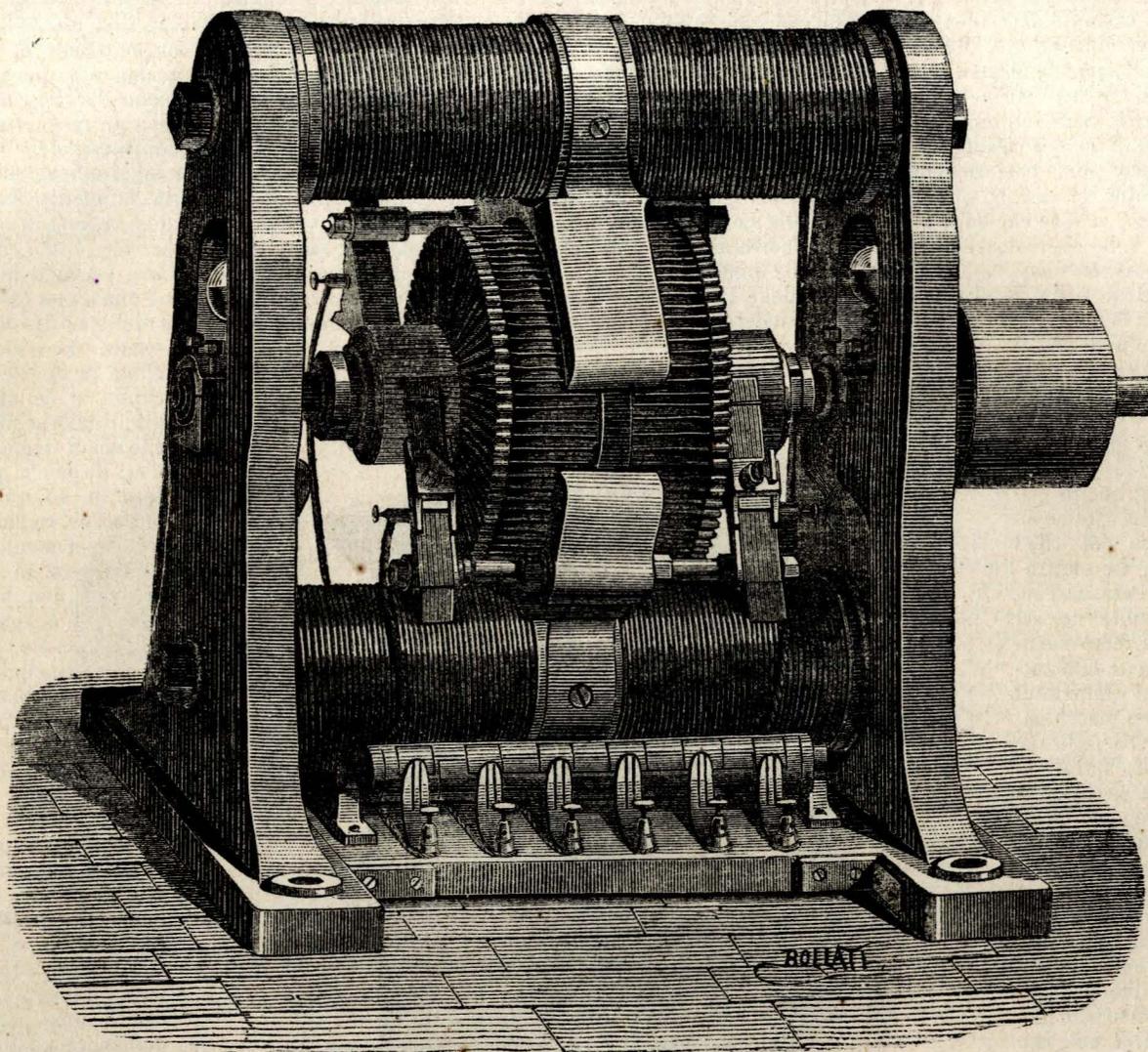


Fig. 40.

Questo lavoro è fatto a spese della corrente. E noi lo verificiamo ripetendo qui con altre proporzioni l'esperimento già fatto. Poniamo nel circuito una spirale di platino: vediamo che essa si fa incandescente quando la macchina non gira, si fa oscura quando la macchina è in moto.

Queste sono digressioni; ma famigliarizzandoci coi grandi principii, io ne sono sicuro, e lo riconoscerete anche voi, ci torneranno utilissime nelle nostre ricerche ulteriori. Le macchine di Gramme non sono i soli apparecchi di induzione, che sieno entrati nel campo industriale e che servono alla produzione

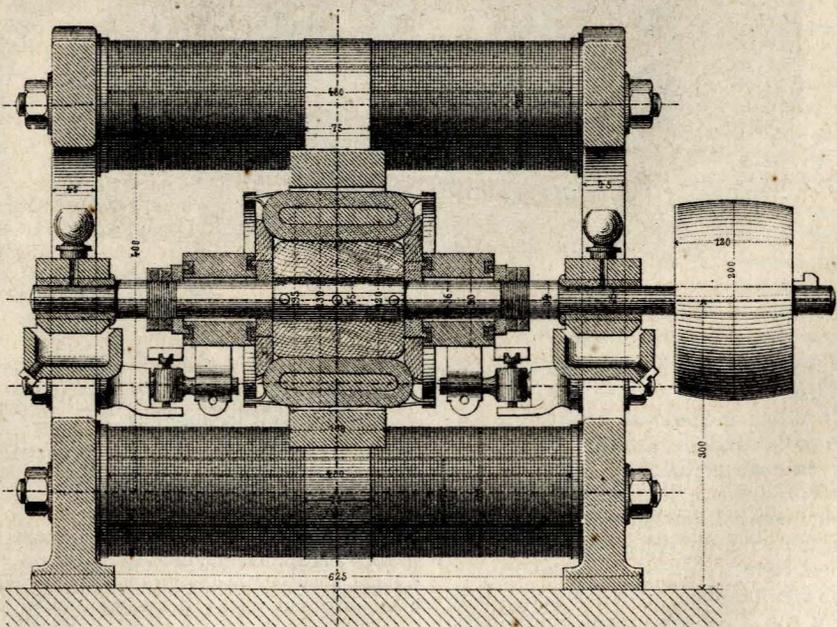


Fig. 41.

della luce elettrica su grande scala. Oltre ai diversi tipi di macchine a spirale anulare dovuti ad altri costruttori, oltre alle macchine a gomito elettro-magnetico di *Siemens ed Halske*, le quali, per la teoria, si possono considerare come macchine a spirale anulare ove il raggio di curvatura del nucleo anulare è ridotto a zero, si hanno parecchi sistemi, che si scostano da quello che abbiamo studiato; e i meriti relativi di questi sono oggidì vivamente discussi. Ma a noi non è nè necessario entrare in particolari su questi vari sistemi, nè conveniente occuparci delle controversie che ad essi

si riferiscono. Scopo nostro era vedere come l'energia meccanica si potesse convertire in energia elettrica, e renderci conto delle condizioni pratiche di questa trasformazione. E a ciò ci bastava la conoscenza di una macchina, scelta fra quelle che nella pratica trovarono più estese applicazioni. Per la discussione, che ci proponiamo di fare, delle condizioni economiche della illuminazione elettrica, i dati numerici che abbiamo sulla macchina che abbiamo scelto e descritto, basteranno. La scelta del tipo della macchina dinamo-elettrica influisce per un coefficiente di rendimento; ma siccome il coefficiente di rendimento delle macchine di Gramme è senza dubbio molto elevato, così si può con sicurezza asserire che la sostituzione ad esse di macchine di altri tipi non potrà migliorare le condizioni economiche della illuminazione elettrica tanto da infirmare le conclusioni, a cui noi arriveremo in queste conferenze. Le quali, d'ora in poi, si aggireranno propriamente sui vari sistemi di illuminazione per mezzo della elettricità.

BIBLIOGRAFIA

Stili di architettura, di E. VON SACKEN, traduzione con note ed aggiunte, dell'ing. RICCARDO BRAYDA, assistente alla Scuola d'Applicazione di Torino. — Loescher, 1879.

1.—Trentasei anni fa *Daniel Ramée* scrivendo il proemio per una raccolta di disegni d'edifici medievali (1) diceva: «oggi giorno...» più non si perdona a nessuno d'ignorare compiutamente la storia dei monumenti che frequenta, ed appiè dei quali ha la sua abitazione ».

Pur troppo ciò che fin d'allora non si perdonava ad ogni colta persona in Francia, in Inghilterra ed in Germania, si verifica ancor presentemente per la maggior parte degli Italiani, i quali vivono pure in mezzo ad una ricchezza di monumenti, che nessun'altra nazione possiede; fra loro molti di quelli stessi che si dedicano all'arte della costruzione, escono dalle scuole senza conoscere i vari stili in cui nella successione dei tempi i vari popoli murarono i loro edifici.

Considerando simile mancanza di cognizioni, non si può a meno di grandemente lodare il solerte editore signor Ermanno Loescher, il quale intraprendendo la pubblicazione d'una biblioteca scientifico-popolare, ossia collezione di operette destinate a promuovere la cultura generale, volle incominciarla con un trattato sugli stili d'architettura. Egli ne incaricò l'ing. Riccardo Brayda, giovane distinto, amante dell'arte e studiosissimo, il quale, avendo giudicato atto allo scopo il *Katechismus der Bau-stile di E. von Sacken*, si accinse a tradurlo, ed a correggerne le parti che credette difettose, corredandolo di note e di aggiunte. Il lavoro del Brayda, anche come semplice traduzione, dovette riuscire assai più faticoso di altri lavori consimili, perchè la mancanza fra noi di studi metodici al riguardo, fa sì, che la lingua italiana non posseda affatto parecchie voci, le quali rispondano a quelle con cui nelle lingue delle nazioni oggi più avanzate, si indicano certe parti delle costruzioni, e si esprimono idee relative al loro sviluppo.

Degno è perciò di molto elogio il traduttore, che secondando la buona idea dell'editore volle regalare agli italiani un libro, il quale coll'allettativa della brevità unita alla chiarezza dovuta a 159 ben disegnate ed evidenti incisioni intercalate al testo, li sollecitasse ad acquistare almeno in modo elementare delle cognizioni, che hanno grande importanza per tutti e frattanto sono fra noi troppo neglette.

2. — Ma se ottimo è lo scopo, fu esso raggiunto nel miglior modo possibile, colla traduzione e colla pubblicazione del libro trascritto? Io credo di no, e la stima che ho dell'egregio collega da cui fu compiuto il lavoro, mi persuade che posso dirlo francamente, esponendone i motivi.

Ed anzitutto, è egli possibile di trattare convenientemente il soggetto col metodo dommatico a cui nella pubblicazione della intera biblioteca dice l'editore di volersi attenere, ed a cui per verità si attene in modo illimitato il von Sacken, che adottò perfino la forma di domanda e risposta? Oramai quel metodo tutte le scienze l'hanno abbandonato; l'ampliarci immenso delle cognizioni in ogni ramo dello scibile non ha servito che a rendere più evidente la verità del giudizio dell'antico saggio: *hoc unum scio me nihil scire*; ed è la caratteristica dello spirito contemporaneo il criticismo, onde invece di procedere per assiomi e teoremi, come i trattatisti d'una volta, i moderni espongono delle premesse, le discutono, ne traggono delle illusioni, ed an-

che le sostengono animosamente contro conclusioni diverse, ma sempre in modo che il lettore possa farsi un concetto della questione e scioglierla da sé.

La qual cosa se si verifica per materie, le quali hanno molto di positivo, e si studiano coll'attualità di procedimenti sperimentali, quanto più non deve essere per la storia dell'arte, costretta a leggere in pagine oscure, avanzi miseri e discontinui di libri dispersi; costretta a cavare da pochi residui di cronache troppo ingenui, e di monumenti tante volte guasti e rinnovati e riguastati, le induzioni necessarie per integrare quello che fu nel volgere di secoli lontani.

L'egregio traduttore dice nella prefazione che stimò conveniente di mutare affatto varie idee dell'autore. Oh dunque, le credette men buone! Ma, e quelle che non mutò son tutte giuste? e lo sono del pari quelle sue proprie che sostituì? Né egli il potrebbe affermare, nè chiechessia, imperocchè nel campo storico una nuova scoperta che avvenga domani, dimostrerà infondata la idea oggi più generalmente ammessa senza contestazioni, e nel campo estetico nessuno saprebbe dommatizzare su quell'infinito che è il bello, le cui leggi l'uomo, che all'infinito tende senza arrivarlo giammai, può bene parzialmente intuire e scrutare al par delle altre armonie che regnano nel creato, ma nell'intimo esser loro gli saranno sempre ignorate.

3. — A codesti inconvenienti generali del modo di trattazione, si aggiunge nel caso concreto lo svantaggio speciale che l'autore tedesco (in ciò non mutato dal traduttore italiano) presenta una delle fasi più importanti dello sviluppo architettonico sotto un punto di vista, che io credo recisamente erroneo, e che se per altri non è ancor tale, dà però luogo ad una discussione, alla quale noi italiani, e specialmente quelli da piè dell'Alpi, dovremmo interessarci a doppia ragione perchè riguarda nel campo speculativo una patria gloria, e nel campo pratico ha, secondo il mio parere, una grande importanza anche per la direzione della nostra architettura moderna.

Passati in rivista ne'primi nove capitoli del suo trattato, gli stili antichi, il primitivo cristiano, il bizantino ed il maomettano, il von Sacken intitola il capitolo x, *stile romano*, e lo definisce dommaticamente così: «stile che si sviluppò nei primordi del Medio evo, nell'Occidente per mezzo d'una composizione del Romano-cristiano-antico, con molte particolarità nate specialmente dallo spirito del popolo della GERMANIA».

Ora, se l'amor proprio nazionale fa dare all'autore simile giudizio, altri e valenti scrittori, e non italiani, epperò imparziali, sostengono con un cumulo di poderose ragioni che invece quello stile dei principii del Medio evo, di cui il cosiddetto *romanicum* è lo sviluppo ed una forma speciale, nacque in Lombardia, e da essa propagossi fra le altre nazioni. E lo chiamano ARCHITETTURA LOMBARDA, seguendo l'*Hope*, che fu forse primo ad adottare un tal nome, colla differenza che questi voleva dire architettura dei *Lombardi*, e parlava di codesto «popolo rozzo e barbaro, il quale, stabilitosi nelle fertili contrade della Italia settentrionale, diede in meno di due secoli così immensi sviluppi a tutto ciò che riguardava il commercio, la legislazione, le finanze e l'industria»; gli altri invece intesero propriamente architettura dei *Lombardi*, indicando con tale parola gli abitanti indigeni di questa Italia superiore, i quali, in mezzo agli sconquassi dell'epoca, al rovesciarsi delle antiche dominazioni ed al sorgere delle nuove, grazie alla fibra di ferro che ne fa oggi ancora la dote, avevano conservato bastanti cognizioni tecniche, bastante spirito d'ordine e genio artistico, da non avere mai lasciato morire compiutamente in mezzo a loro le tracce della civiltà, e da poter dare uno slancio alle prime manifestazioni della vita novella, appena le condizioni dei tempi ne permisero l'esplicarsi.

Gli è perciò che il *Reynaud* scriveva nel suo trattato d'architettura: «Si potrebbe comprendere che la Lombardia, la quale dal VII secolo allo XI fu un centro di lumi per l'occidente, e gli mandava missionari e monaci architetti, sia stata ridotta a farsi imprestare dai Normanni il loro stile d'architettura? Che l'arte sia stata compiutamente stazionaria in Italia in un periodo relativamente florido di quattro secoli, mentre in Normandia si sarebbe sviluppato tutto in una volta, vivo sflogorio di luce sorto dal seno delle tenebre, senza che nulla l'abbia annunziato? Che S. Stefano di Caen, dove il nuovo stile si mostra così risolutamente stabilito, anzi così perfetto, sia stato il punto di partenza, e S. Michele di Pavia la copia? Eppure questa è la conclusione che sono costretti ad accettare coloro che negano l'esistenza di un'architettura lombarda».

Ed il *Vitet* nel suo studio sull'architettura bizantina in Francia diceva: «Adunque se vi è paese in Europa, che abbia inaugurato prima di tutti gli altri lo stile di cui parliamo, codesto paese non può esser altro che l'Italia».

Delle quali cose e di tante altre scritte al riguardo da moltissimi autori, ha fatto e sta ultimando un'accurata e dotta rivista il francese *F. De Dartein*, col titolo di *Étude sur l'architecture lombarde*, opera ricca di considerazioni storiche e tecniche

(1) *Le Moyen Age Monumental et Archéologique*.

corredate da numerosi e pregevolissimi disegni in grande scala, eseguiti in massima parte dall'autore stesso dietro propri rilievi, la quale avrebbe meritato bene d'essere accennata almeno a piè di pagina nella traduzione del trattatello di cui si discorre, per invogliare a studiarla, come quella che a nessun architetto italiano dovrebbe essere sconosciuta.

Come del pari sarebbe stato bene dare un cenno d'altra opera importantissima pel soggetto, ed è quella pubblicata nel 1829 in Brescia, del nostro Conte *Cordero di S. Quintino*, (1) che se deve giudicarsi meno felice nelle sue conclusioni, fu però in grazia della copia di notizie storiche raccolte, il punto di partenza degli studi fatti in proposito dappoi, e fu epilogata e corretta appunto nelle conclusioni dal *Selvatico* nell'*Architettura di Venezia*, e dall'anonimo autore dell'articolo sull'architettura lombarda, nella 2ª edizione dell'*Enciclopedia Popolare del Pomba*.

Terminerò questi cenni augurandomi che il giovane traduttore del Sacken, si accinga, e presto, a sostituire l'attuale manualetto con un altro, che faccia la dovuta parte a quest'architettura cui appartiene quel S. AMBROGIO di Milano, del quale, dice il Dartein, come entrandovi « si sente che si ha veramente » sotto gli occhi la regina e la madre delle chiese lombarde, « tanto l'alta antichità del monumento è bene espressa dalla sua » fisionomia ». Quel S. Ambrogio in cui con una timidità e rozzezza che prova la novità dell'uso, già si riscontrano tutti gli elementi essenziali di quel modo di costruire gli edifici religiosi, che per mezzo d'uno sviluppo graduale, e di trasformazioni successive, produsse le meraviglie delle gotiche cattedrali.

F.

Il riordinamento del Corpo del Genio Civile. — Considerazioni del Cav. ANGELO GRAZZINI. — Genova, 1879.

L'autore di questo opuscolo, che fu Capo-Sezione Governativo per la costruzione della Ferrovia Ligure, riconosce anzitutto che un bene inteso riordinamento dei servizi dipendenti dal Ministero dei Lavori Pubblici, è indubbiamente sentito da molto tempo, e si è fatto ogni giorno più imperioso in causa dei bisogni sempre crescenti dello Stato coll'aver avvocato a sé moltissime costruzioni ferroviarie, con l'acquisto dei canali di irrigazione, coi lavori delle bonifiche, e la viabilità obbligatoria, oltre il servizio generale, per cui precipuamente fu istituito il Corpo del Genio Civile.

Poi facendosi ad esaminare il progetto di legge stato presentato, constata la visibile tendenza di quel progetto ad accentrare nelle mani del Ministero non solo tutti quanti i servizi relativi alle opere pubbliche dello Stato, ma anche quelli delle provincie, dei comuni, e perfino delle società private, per cui verrebbe a creare un vero monopolio di tutti i pubblici lavori. Inoltre volendosi sopperire a tutti i servizi, tanto di carattere permanente, come di carattere transitorio, con impiegati di ruolo, l'autore osserva che oltre ad aumentare moltissimo il numero degli aventi diritto a pensione, si viene ad eliminare la specialità delle attribuzioni, ed a pretendere che tutti gli appartenenti al Genio Civile debbano essere enciclopedici in materia di opere pubbliche, le quali sono di ben svariata e differente natura.

Attualmente per le costruzioni ferroviarie, per i canali di irrigazione, per le bonifiche, esistono direzioni speciali; ed il personale straordinario che vi è addetto, ben difficilmente viene staccato per mandarlo ad un servizio di differente natura: ciò è logico e vantaggioso alle opere stesse, segnatamente per la pratica che il personale non può a meno di acquistare.

Col nuovo progetto di legge invece viene tutto concentrato negli uffici di ogni Capo-luogo di provincia (art. 25 e 26 del progetto di legge); e quindi mentre col sistema della divisione dei servizi e del personale, secondo la natura delle opere, si creano le specialità, le quali un giorno possono diventare vere illustrazioni, col sistema misto non si avranno che mediocrità.

Oltreché il progetto presentato si presenta di per sé insufficiente a provvedere ai bisogni per i quali parrebbe sia destinato. Essendoché risulterebbe che il Ministero, cumulo del personale ordinario e straordinario attualmente in servizio (come all'allegato 14), dispone ora di 687 ingegneri e di 920 aiutanti; in tutto 1607 impiegati; — mentre il ruolo proposto all'art. 56 del progetto di legge è di 513 ingegneri, e di 900 aiutanti; in tutto 1413. E così con una diminuzione di ben 194 impiegati tecnici, si intende di far fronte a tutti gli attuali servizi riuniti, e più alle bonifiche già decretate per legge, alle nuove costruzioni ferroviarie e a tutti i servizi straordinari.

Per la qual cosa l'autore dell'opuscolo osserva molto opportunamente che le opere pubbliche esigono servizi di carattere permanente, e servizi straordinari, o di carattere transitorio, e mentre i primi vogliono essere affidati al Corpo del Genio Ci-

vile, i secondi non possono che affidarsi ad un personale straordinario. E p. es., non sarebbe punto fuori proposito la istituzione di un corpo speciale di impiegati tecnici per le costruzioni ferroviarie, come già abbiamo, quello per il macinato il quale ha dato splendida prova di attività, di capacità e di abnegazione.

Ed un altro esempio ce lo ha dato non è guari la Francia, la quale dopo aver decretato per oltre un miliardo di strade ferrate, non dubitò di creare col decreto presidenziale del 20 dicembre 1878, un quadro organico d'ingegneri straordinari a fianco ed a livello del classico suo Corpo di Ponti e Strade.

Ecco la traduzione degli articoli del decreto presidenziale:

« Il presidente della Repubblica francese, sulla proposta del Ministro dei Lavori pubblici: vista la necessità di provvedere, in modo temporario, all'insufficienza numerica del quadro organico permanente degli ingegneri ed aiutanti di ponti e strade per la esecuzione dei grandi lavori pubblici progettati, decreta:

Art. 1. — È stabilito per il periodo dei grandi lavori pubblici, parallelamente al quadro organico permanente degli ingegneri ed aiutanti (conducteurs) di ponti e strade, un quadro ausiliario, il quale comprende:

1° Ingegneri ausiliari per i lavori dello Stato, divisi in tre classi, rispondenti rispettivamente agli ingegneri ordinari di 1ª, 2ª e 3ª classe;

2° Capi-sezione principali assimilati agli aiutanti principali di ponti e strade;

3° Capi-sezione di 1ª e 2ª classe assimilati agli aiutanti di 1ª e 2ª classe;

4° Sotto-capi-sezione di 1ª e 2ª classe assimilati agli aiutanti di 3ª e 4ª classe.

Art. 2. — Le nomine saranno fatte dal Ministro dei lavori pubblici, ossia:

1° Al grado d'ingegnere, dietro esame dei titoli dei candidati fatto da una Commissione di Ispettori generali di ponti e strade, nominata dal Ministro;

2° Ai gradi di capi-sezione e sotto-capi-sezione, dietro esame dei titoli dei candidati fatto da una Commissione d'ingegneri-capi, nominata dal Ministro, od anche sulla proposizione dell'ingegnere-capo del servizio, appoggiata dall'ispettore generale della divisione.

Art. 3. — Gli aspiranti al posto d'ingegnere dovranno produrre il diploma di ingegnere civile, od altro titolo equivalente, o far constare di aver prestato cinque anni di servizio nei grandi lavori pubblici.

Art. 4. — In via eccezionale, e sul conforme parere del Consiglio generale di ponti e strade, il grado di ingegnere-capo per i lavori straordinari dello Stato potrà essere accordato agli ingegneri straordinari di 1ª classe i quali avessero prestato servizio con distinzione per due anni almeno in tale qualità, od anche ai candidati i quali facessero risultare d'aver prestato con distinzione cinque anni di servizio come ingegneri-capi in una qualche grandiosa impresa di lavori pubblici.

Art. 5. — Gli ingegneri ed altri impiegati del quadro organico ausiliario, riceveranno il trattamento che risponde allo stesso grado nel quadro organico permanente di ponti e strade. Esso sarà inoltre aumentato di un terzo a titolo di indennità per la precarietà del servizio. Essi riceveranno pure le stesse indennità accessorie accordate per il servizio di ponti e strade. Avranno le stesse attribuzioni, e godranno in servizio delle stesse prerogative. Saranno pure oggetto delle stesse distinzioni onorifiche.

Art. 6. — Gli ingegneri ed altri impiegati del quadro ausiliario non andranno soggetti ad alcuna ritenuta di riposo.

Non avranno diritto ad alcuna pensione od indennità quando cesserà loro l'impiego.

Art. 7. — Gli agenti stradali (agents-voyers) facenti funzione d'ingegneri nei dipartimenti potranno, dietro loro domanda, ricevere il titolo di ingegnere ausiliario per i lavori dello Stato.

Art. 8. — Spirando il periodo dei grandi lavori pubblici, quelli tra i membri del corpo ausiliario che si saranno segnalati, ed il cui servizio sembrerà di natura tale da poter essere utilizzato, potranno, sul conforme parere del Consiglio generale di ponti e strade, continuare ad essere impiegati, alle stesse condizioni, nei lavori dello Stato.

Art. 9. — Gli ingegneri-capi dei diversi servizi nei quali sono attualmente impiegati agenti straordinari, dovranno presentare al più presto le loro proposte per regolarizzare la posizione in conformità delle disposizioni del presente Decreto.

Art. 10. — Il Ministro dei lavori pubblici è incaricato della esecuzione del presente Decreto.

Dato a Parigi il 20 dicembre 1878.

« M.^{al} DE MAC-MAHON
Duca di Magenta ».

Per il Presidente della Repubblica

Il Ministro dei lavori pubblici

« C. DE FREYCINET ».

(1) *Dell'italiana architettura durante la dominazione longobarda*; edizione esaurita, che si desidererebbe fosse ristampata.