ANNO XXV. Torino, 15 Novembre 1899 NUM. 22.

L'INGEGNERIA CIVILE
E
LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO BIMENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.
È riservata la proprietà letteraria ed artistica degli articoli e disegni pubblicati in questo Periodico.

R. MUSEO INDUSTRIALE ITALIANO

LA TRAZIONE ELETTRICA

Discorso pronunziato dal professore GUIDO GRASSI il 5 novembre 1899 per l'inaugurazione del nuovo anno scolastico

Un secolo è trascorso dalla scoperta della corrente elettrica, e sulle sponde di quel medesimo lago di Como che vide nascere Alessandro Volta s'iniziano i lavori per attuare una delle più ardite imprese dell'elettrotecnica, l'impianto di una linea ferroviaria a trazione elettrica a corrente alternata, che sarà la più grandiosa ed importante applicazione di questo genere nel mondo.

Tale impresa riguarda uno dei problemi che oggi destano il più vivo interesse nel campo dell'elettrotecnica. È appunto per il carattere d'attualità e per la grande importanza pratica della questione che si connette ad uno dei principali insegnamenti di questo Istituto, mi è parso il tema non disadatto ad intrattenere l'eletto uditorio accorso a solennizzare l'apertura del nuovo anno scolastico.

La trazione elettrica, come quasi tutte le applicazioni dell'elettricità, non è un'invenzione recente. Fin dai primi tempi in cui si ebbe a disposizione la corrente elettrica, il genio inventivo degli studiosi aveva previsto anche questa applicazione.

Dal giorno in cui Volta diede al mondo la corrente elettrica, fu tale il lavoro incessante di scienziati e uomini tecnici per studiare le proprietà del nuovo agente e ricercarne le possibili applicazioni, che ben poche di quelle che ora vediamo attuate sfuggirono all'acume dei nostri predecessori. Se molte di esse acquistarono importanza pratica soltanto da pochi anni, ciò si deve principalmente al fatto che ai nostri predecessori mancava il mezzo di produrre economicamente l'energia elettrica.

Il giorno in cui la geniale invenzione del Pacinotti diede all'elettrotecnico la nuova forma di armatura della dinamo, l'elettrotecnico trovò di possedere a buon mercato quella corrente elettrica che gli occorreva per farne le applicazioni già note. L'utilità pratica evidente di tali applicazioni fu stimolo potente a quegli studi di perfezionamento che fecero moltiplicare le novelle invenzioni con rapidità meravigliosa. Ma questa stessa rapidità dimostra che il lavoro inventivo dovette essere abbastanza facile, poichè non possiamo credere che l'invenzione di Pacinotti, oltre a darci il motore elettrico e la dinamo a corrente continua, abbia avuto la virtù d'accrescere la potenza inventiva dell'ingegno umano.

La trazione elettrica si cominciò infatti ad attuare nel modo stesso che era stato ideato dai primi inventori. L'elettrotecnico però lavorava ora in condizioni ben più favorevoli dei primi che tentarono gli altri sistemi di trazione meccanica, poichè trovò già risolute le principali questioni che riguardano la trazione sulle vie ferrate, e trovò l'arte meccanica così perfezionata da poter richiedere ad essa la soluzione immediata di mille problemi accessori.

Così accadde che la trazione elettrica entrò nel novero delle applicazioni industriali con notevole successo nel corso di pochi anni, che possono sembrar molti soltanto alla febbrile impazienza del pubblico d'oggidì, il quale ha bisogno del telegrafo Marconi per aver notizie mezz'ora prima del vincitore d'una regata, ed è convinto ormai che l'elettricità deve prestarsi a soddisfare tutti i nostri più arditi desideri, qualunque nostro capriccio.

Però all'elettrotecnico è forza confessare che se la trazione elettrica, ultima venuta fra le grandi applicazioni, ha fatto qualche passo notevole, essa ha urtato e urta ancora contro difficoltà abbastanza gravi, e non vede ancora ben tracciata una via sicura di progresso.

Di qui la necessità di nuovi studi, di nuovi esperimenti.

Uno sguardo rapido al passato ci porta al 1834, epoca in cui l'americano Davenport costruiva la prima vettura elettrica: l'idea prima fu naturalmente quella di collocare sulla vettura mobile insieme al motore una batteria di pile, unica sorgente allora nota della corrente elettrica. Poco dopo, nel 1838, Roberto Davidson, scozzese, riuscì a far percorrere più volte la ferrovia da Edimburgo a Glasgow da una locomotiva elettrica che pesava 5 tonnellate colla batteria di pile, ma raggiungeva appena la velocità di 6 chilometri all'ora. Nel 1840 Henry Pinkus accenna all'idea di far giungere la corrente alla vettura per mezzo delle rotaie. Nel 1851 Page in America, perfezionando il motore, riesce a costruire una vettura elettrica che, per mezzo di una batteria di pile Grove, corre colla velocità di 30 chilometri all'ora. Nel 1855 il piemontese Bessolo prende un brevetto per il sistema di trazione nel quale la corrente è condotta al motore per mezzo d'un filo portato da pali come quelli del telegrafo.

Si comprende però che la questione fosse quasi abbandonata, se si pensa alle difficoltà di ottenere colle pile grandi quantità di energia elettrica, sicurezza e costanza di funzionamento, e sopratutto energia a buon mercato. In luogo del carbone consumato dalle macchine a vapore, la pila consuma zinco ed altri materiali che, a pari sviluppo d'energia, rappresentano una spesa enormemente superiore, perciò, quando pure si fosse giunti a perfezionare la pila nei particolari di costruzione, per ovviare ad altri inconvenienti tecnici, non era da pensare menomamente a servirsene come sorgente di energia elettrica per uso di trazione.

La trazione elettrica fu possibile il giorno in cui Pacinotti ci diede il suo motore elettrico a corrente continua, che, oltre a lavorare in modo assai più perfetto dei precedenti motori, è atto a trasformare l'energia meccanica in energia elettrica funzionando come dinamo. Con questa trasformazione un chilogrammo di carbone ci dà tanta energia elettrica quanta ce ne darebbe la pila con una spesa da 10 a 20 volte superiore soltanto in zinco, notando che in pratica poi la spesa è anche maggiore perchè altre sostanze si consumano insieme allo zinco, e il ricupero di materiali dalle

combinazioni che avvengono nella pila non permette di compensare che una piccola parte della spesa.

La trazione elettrica entra adunque nell'ultima sua fase di rapido progresso. Nel 1879 la Casa Siemens e Halske presentava una piccola locomotiva elettrica all'Esposizione di Berlino. La corrente era fornita al motore per mezzo di una terza rotaia posta in mezzo al binario. E questo sistema della terza rotaia, che oggi ritorna in onore, fu adottato dal Siemens nella ferrovia elettrica di Gross Lichtenfeld, attuata nel 1881. Poco dopo la stessa Casa presentava all'Esposizione di Parigi la prima ferrovia elettrica a conduttore aereo: non era il filo col *trolley*, o contatto a rotella, come usa oggidì, ma era il principio stesso applicato in forma poco diversa.

Fu press'a poco nella stessa epoca che, per opera specialmente del Faure, cominciò ad acquistare importanza industriale l'accumulatore elettrico, derivato dalla pila secondaria di Planté. Immediatamente se ne fece l'applicazione alla trazione elettrica. E' anzi notevole che lo stesso Faure, nel suo brevetto pel nuovo sistema di accumulatori, ne rivendica distintamente l'applicazione alla trazione, mostrando di dare una grande importanza all'accumulatore appunto perchè si presta a tale applicazione.

Si ritornò così al primitivo sistema, che a tutti parve il più razionale: collocare la batteria sulla vettura mobile. L'accumulatore, quando si scarica, non è che una pila: ma rispetto alla pila offre il vantaggio di somministrare l'energia elettrica a buon mercato, perchè non fa che restituire quella che esso ha ricevuto da una dinamo. Il grave difetto dell'accumulatore è quello di pesar troppo, e anche più di una pila di egual potenza. Di tutto il materiale che lo costituisce, e specialmente della massa di piombo che ne forma la parte principale, soltanto una minima frazione prende parte all'azione chimica che dà luogo alla produzione di energia elettrica; il resto è zavorra che non lavora affatto.

La pila primaria, per questo riguardo, è forse in condizioni più vantaggiose. Il giorno in cui i materiali che si consumano nella pila si avessero a miglior mercato, o perchè si scopra il modo di utilizzare altre sostanze, o perchè si riesca a ricuperarli con operazioni poco costose, o ad approfittare dei suoi prodotti secondari, è certo che le difficoltà di dettaglio si vincerebbero. Allora la pila primaria potrebbe risorgere. Oggi non solo siamo assai lontani da tale successo, ma non possediamo neppure un criterio per giudicare della sua probabilità.

Nella lotta attuale vince necessariamente il sistema del conduttore continuo collocato lungo la linea, che dà la corrente alla locomotiva elettrica per mezzo d'un contatto mobile. In America specialmente si ripetettero esperimenti intesi a perfezionare il sistema.

Il conduttore era formato o dalle rotaie stesse della linea, o da una terza rotaia, o era sotterraneo e collocato in un canaletto continuo, o aereo, e in tal caso formato da un filo portato da pali, facendo ritornare la corrente per le rotaie, ovvero costituito da due fili, andata e ritorno, per chiudere il circuito della corrente.

Il corsoio di contatto, di varie forme, scorreva ora sopra, ora sotto il filo; altre volte serrava il filo in mezzo mediante due contatti laterali. Ancora nel 1888 la maggior parte delle linee era a due fili, e il contatto si prendeva per mezzo di una specie di carrello, che scorreva al di sopra dei fili, trascinato da una corda flessibile congiunta alla vettura.

Intanto si perfezionarono rapidamente anche i particolari di costruzione dei motori e degli apparecchi regolatori, e si compose quel sistema di trazione elettrica che venne adottato con poche varianti in quasi tutte le linee tramviarie, e che specialmente in America ebbe in pochi anni uno sviluppo grandissimo.

In Europa, quasi tutte le volte che si trattò d'impiantare una nuova linea di tramvia elettrica, si ripigliò la discussione intorno alla scelta del sistema, se a filo aereo col ritorno per le rotaie, o a condutttore sotterraneo, o a contatti superficiali che ricevano la corrente soltanto nel momento in cui vi passa sopra la vettura, o, finalmente, cogli accumulatori. Quasi sempre, forse 99 volte su 100, la vittoria è rimasta al primo sistema. Le opposizioni tendenti ad escludere il filo aereo, specialmente dalle vie più frequentate delle grandi città, dovettero quasi sempre cedere, e molti Municipi finirono col togliere il veto a questo sistema, pur di vedere attuata la trazione elettrica.

Ma possiamo noi dire perciò che il problema della trazione elettrica sia risoluto?

Sulle tramvie di città o sulle linee a breve percorso non è mai abbandonata la speranza di poter sostituire al filo aereo o un sistema a contatti superficiali, o quello ad accumulatori. Perciò vediamo ripetersi continuamente nuovi tentativi, taluni non privi di successo: fino a ieri non ancora fortunati al punto da vincere la concorrenza del filo aereo, potranno esserlo domani e forse per opera di un nostro valoroso concittadino, l'ing. Diatto.

Ma l'elettrotecnico si è posto un altro problema: egli vorrebbe estendere la trazione elettrica alle comunicazioni da città a città, alle linee di lungo percorso, alle grandi linee ferroviarie. E l'elettrotecnico ha dovuto persuadersi che in questo caso non si possono applicare senz'altro i sistemi adottati per le tramvie. Non solo, ma, appena posto il problema, le difficoltà di ordine tecnico e di ordine economico sorsero in tal numero e così gravi, che finora i progressi fatti furono ben scarsi.

I vantaggi della trazione elettrica possono variare assai, a seconda delle condizioni di estensione e di traffico della linea ferrovaria.

Supposto pel momento che non si presentino difficoltà tecniche, sulle linee di ferrovia secondaria a velocità moderata sarà più vantaggiosa la trazione elettrica in confronto di quella a vapore, quando il traffico diventi così intenso, per effetto della trasformazione stessa, da rendere rimunerativo un servizio con frequenza di treni assai maggiore di quello che è possibile mantenere colla trazione a vapore. Non lo sarà quando tale condizione non si verifichi, poichè allora la spesa d'impianto per la produzione e l'utilizzazione dell'energia elettrica rappresenta un capitale sproporzionato al reddito; e d'altra parte i vantaggi tecnici, rispetto alla trazione col vapore, non sono in generale di tanta importanza da bastare essi soli a far preferire la trazione elettrica.

Sulle grandi linee invece che mettono in comunicazione centri popolati, industriali, dove si sente il bisogno di maggior frequenza e maggiore rapidità di treni, mentre è certo che le forti spese d'impianto troveranno un compenso nell'affluenza dei viaggiatori, la trazione elettrica presenterebbe vantaggi indiscutibili, potendosi con essa abbreviare la durata del percorso e offrire al viaggiatore più frequenti e più comodi mezzi di trasporto. La locomotiva elettrica non ha bisogno nè di carbone, nè di acqua, nè di caldaia, nè di tender: essa ha bisogno soltanto del motore, e questo ci dà addirittura il movimento rotatorio, che si trasmette direttamente alle ruote senza bisogno di congegni per la trasformazione del moto, senza bisogno neppure di ingranaggi quando si tratta di ottenere grandi velocità; così è facile raggiungere con sicurezza velocità medie assai maggiori di quelle a cui è forza limitarsi colla trazione a vapore.

L'energia elettrica distribuita lungo la linea può dare il

moto a piccoli treni, che si susseguono a brevi intervalli. Le macchine generatrici possono lavorare nell'officina in buone condizioni di rendimento.

A questo proposito val la pena di ricordare uno dei primi progetti, forse il primo, in fatto di ferrovie elettriche a grande velocità, dovuto all'ing. Zipernowsky di Budapest, e presentato nel 1891 al Congresso Elettrotecnico di Francoforte.

Partendo appunto dalla massima che i vantaggi della trazione elettrica derivano anzitutto dalla rapidità e frequenza delle corse, lo Zipernowsky propone addirittura di adottare la massima velocità compatibile colla stabilità del materiale, velocità che, in base ai suoi calcoli, stabilisce di 250 chilometri all'ora in orizzontale. Caratteri principali del progetto Zipernowsky sono i seguenti: linea a doppio binario senza scambi; i due binari alla distanza di almeno 10 metri, per evitare la scossa prodotta dall'aria all'incontro di due treni spinti a velocità così grande; dovendosi costruire viadotti, convien fare due linee parallele, anzichè un solo viadotto larghissimo, che richiederebbe soverchia spesa; curve di grande raggio, non minore di 3000 metri. La necessità di evitare curve più strette obbliga ad adottare pendenze abbastanza forti, ma di queste il progettista non si preoccupa, perchè egli calcola di superare pendenze del 10 0|00 con velocità di 200 chilometri. La pendenza richiede soltanto maggiore potenza, e di questa si può disporre facilmente.

Il treno si riduce ad una sola vettura da 60 tonnellate, con 4 motori da 200 cavalli: in tutto 800 cavalli.

La corrente giunge ai motori per mezzo di due rotaie isolate, disposte lungo l'asse del binario; due ruote di contatto scorrono su quelle rotaie, premutevi contro da molle a spirale.

Dall'officina centrale la corrente alternata ad alta tensione di 10000 volt è lanciata in una condottura aerea che alimenta diverse stazioni secondarie collocate lungo la linea. In esse la corrente è trasformata a tensione più bassa di 1000 volt. Però lo Zipernowsky rimase indeciso se utilizzare direttamente nei motori la corrente alternata o trasformata in corrente continua. Si riservò di dare la preferenza all'una o all'altra, secondo i risultati delle esperienze sui motori: riserva giudiziosa, se si riflette che nel 1891 il motore a campo rotante del Ferraris aveva fatto appena la sua prima apparizione, e ancora non se ne conoscevano le proprietà.

Ma il progetto dello Zipernowsky rimase sulla carta; parve a molti che egli volesse pretendere troppo: quella velocità di 250 chilometri anche oggi sembra un'esagerazione.

Quanto all'uso diretto della corrente alternata, fino ad oggi non se ne ebbe altro esempio che quello della piccola tramvia di Lugano, e quello della ferrovia di montagna da Zermatt al Gornergrat, dove furono applicati in condizioni specialissime dei motori a campo rotante, a piccola velocità.

Del resto fu spesso utilizzata la corrente alternata, ma solo indirettamente, applicandola ai motori dopo averla trasformata in corrente continua. E sempre colla corrente continua la trazione elettrica cercò d'invadere il campo delle ferrovie a vapore, specialmente in America.

In Italia la questione delle ferrovie elettriche richiamò l'attenzione dei tecnici, delle Amministrazioni ferroviarie e del Governo, specialmente allorchè si pose avanti l'idea che colla trazione elettrica sarebbe possibile utilizzare la potenza delle nostre cadute d'acqua e risparmiare così l'equivalente in carbone. Fu questa l'occasione: forse non sarà la ragione principale che porterà alla trasformazione vagheggiata. In ogni modo ciò che a noi interessa è di considerare a qual punto è la questione dal lato tecnico.

Quando si parla di trazione a vapore, non bisogna dimenticare che le spese dovute alla provvista di energia non rappresentano che una piccola frazione delle spese totali d'esercizio, computandovi anche l'interesse e l'ammortamento dei capitali investiti nell'impianto. Cosicchè per sostituire con vantaggio economico il carbone, bisogna non solo che l'acqua ci sia fornita gratuitamente o a molto buon mercato, ma che le opere idrauliche e l'impianto dell'officina idroelettrica richiedano una spesa moderata. Se poi si volesse adottare la trazione elettrica con officina di produzione a vapore, è vero che in tal caso l'impiego di motrici fisse permette di consumare minor quantità di carbone a pari potenza sviluppata in confronto delle locomotive ordinarie; ma siccome, per effetto della trasformazione del lavoro meccanico in energia elettrica e della perdita nelle condotture e nei motori, il rendimento del sistema si abbassa di molto, ne risulta che l'unità di potenza, il chilowatt utile della locomotiva elettrica consuma press'a poco altrettanto carbone come su di una ordinaria locomotiva a vapore.

Ma, fatta astrazione dall'economia, la trazione elettrica può offrire, come dissi già, molti altri vantaggi che ne rendano raccomandabile l'adozione; e il Governo italiano fece opera saggia quando nel 1897 determinava di nominare una Commissione composta d'Ingegneri governativi e delle Società per le Strade Ferrate, affidandole l'incarico di studiare l'applicazione della trazione elettrica alle ferrovie.

Tutti ormai si sono convinti che l'applicazione della trazione elettrica alle ferrovie va fatta in ben altra forma che sulle tramvie urbane, e del pari la costruzione e l'esercizio delle linee vanno regolati secondo criteri ben diversi che nelle ferrovie odierne.

Come già in parte era indicato nel progetto Zipernowsky, molti sono i particolari nei quali una ferrovia elettrica si differenzia da quella a vapore, e su di essi si deve intraprendere uno studio accurato.

In riguardo alla linea, converrà studiare quali sono i limiti delle curve e delle pendenze ammissibili, quale lo scartamento più opportuno, quale la distanza dei binari, la disposizione degli scambi, delle stazioni, la forma delle rotaie, la posa dell'armamento.

In riguardo alla parte elettrica, quale specie di corrente conviene adottare, se continua o alternata, semplice o polifase, e come deve essere condotta al motore, quale per conseguenza il tipo di motore; a quale tensione di corrente conviene spingersi, sia nella condottura di alimentazione, sia nel motore.

In riguardo al materiale mobile, bisognerà studiare la forma e la disposizione delle vetture per rendere minima la resistenza, e distribuire convenientemente il peso; la sospensione dei motori, la trasmissione del movimento alle ruote; i sistemi di freni meccanici ed elettrici.

In riguardo all'esercizio, si dovranno stabilire, in relazione colle velocità ammissibili, le norme per la frequenza e composizione dei treni, e quindi per un sistema di segnalazioni atto a garantire la sicurezza del servizio.

La Commissione che si occupò principalmente delle ferrovie secondarie a traffico limitato, fece pure un computo preventivo per stabilire il costo del treno-chilometro coi diversi sistemi. I risultati di tale computo sono i seguenti:

Cogli accumulatori il treno-chilometro (vett. da 55 tonnellate) costerebbe L. 1.04, cifra non molto diversa da quella che si deduce dalle statistiche per il costo chilometrico della trazione a vapore dei treni di limitata composizione sulle grandi reti;

Coi sistemi a conduttore continuo, e l'officina animata da una caduta d'acqua, il costo del treno chilometro risulta di L. 0.88 se si adotta la terza rotaia e di L. 0.76 col filo

aereo; queste cifre si riducono rispettivamente a 0.20 e 0.19 se si suppone il traffico decuplicato.

Però la Commissione non trovò ragioni decisive per escludere l'uno o l'altro sistema, e concluse proponendo di fare esperimenti con tutti e tre i sistemi.

Il primo che potè essere attuato fu quello ad accumulatori sulla linea Milano-Monza. I risultati definitivi non sono ancora noti. La difficoltà principale da vincere è sempre quella dell'eccessivo peso della batteria in relazione colla sua capacità e durata. Un accumulatore leggero e di grande capacità troverebbe il terreno preparato e sicuro, e sarebbe un'ottima soluzione. Ma allo stato attuale dell'elettrotecnica il solo sistema possibile per un vero servizio ferroviario è quello a conduttore continuo, con terza rotaia o filo aereo. Contro la terza rotaia vi è l'obbiezione fortissima che essa obbliga all'uso di tensioni basse, per il pericolo che vi sarebbe ad usare alte tensioni in un conduttore troppo facilmente accessibile alle persone, e per la difficoltà dell'isolamento.

Il motivo che fece adottare la terza rotaia in quel tratto di ferrovia sulla linea da Boston a Nantasket Beach, che si porta spesso ad esempio, fu un motivo particolarissimo, dovuto a una circostanza locale. Si trattava di una linea già esistente, e l'applicazione del filo aereo non si poteva fare in un certo tratto senza allargare la sede stradale; per evitare tale spesa si adottò per quel tratto, di soli 5 chilometri, la terza rotaia; per il resto il filo aereo.

Più importante è la linea Berlino-Hartford, lunga quasi 20 chilometri, pure a terza rotaia: ma non pare che i risultati siano molto soddisfacenti; le perdite sono fortissime, malgrado la tensione bassa di 600 volt; il servizio si fa lo stesso, perchè si impiegano come combustibile dei residui che non hanno alcun valore commerciale.

L'America, pur avendo iniziato la trazione elettrica su diverse linee ferroviarie, non ha fatto su questa via un sensibile progresso, poichè si è limitata ad applicarvi i sistemi già noti. Ha costruito potenti locomotive elettriche, ma si è mantenuta alle basse tensioni di 500 a 700 volt, alle correnti continue, ai tipi di motori ed al materiale già adottato per le tramvie elettriche: al che in gran parte hanno contribuito, più che ragioni tecniche, interessi commerciali.

Ora, escluso pel momento l'uso degli accumulatori per le linee di lungo percorso, è noto che per trasmettere l'energia a grandi distanze bisogna ricorrere alle tensioni elevate; ma queste non si possono utilizzare direttamente ai motori; occorre un sistema che permetta di trasformare facilmente la tensione lungo la linea. Di qui la necessità di adottare la corrente alternata, che sola si presta a tale trasformazione, con apparecchi semplici, che non richiedono sorveglianza.

Ma la corrente alternata finora non fu applicata alla trazione, salvo che in circostanze specialissime: nessun esperimento si è fatto ancora su linee a lungo percorso, con motori di grande potenza e con grandi velocità, quali si richiedono in un servizio ferroviario.

Ed è questo appunto il problema che si vuol risolvere coll'esperimento, o, per dir meglio, coll'applicazione del nuovo sistema di trazione elettrica alla rete Valtellinese.

L'energia fornita dalle acque dell'Adda sopra Morbegno in Valtellina darà la corrente alternata trifase ad alta tensione di 15,000 volt, prodotta da 2 alternatori da 1500 cavalli normali e 2000 massimi, oltre un terzo di riserva, e quindi colla potenza minima di 3000 cavalli. In 10 stazioni distribuite lungo la linea, che ha complessivamente uno sviluppo di 109 chilometri, la tensione sarà portata a 3000 volt, per mezzo di trasformatori statici. La corrente trifase a questa tensione passerà direttamente nel doppio filo aereo che alimenta i motori trifasi a campo rotante collocati sulle locomotive elettriche. Un'unica palificazione porta le due linee ad alta e bassa tensione, eccetto pei tratti in galleria pei quali la linea primaria passa su palificazione esterna.

La presa di corrente è fatta mediante un *trolley* a doppio rullo sostenuto da un parallelogrammo articolato.

Tutti i particolari del materiale elettrico furono oggetto di studio da parte della Casa Ganz di Budapest.

Il servizio viaggiatori sarà interamente distinto da quello delle merci; vi saranno tre tipi di vetture, cioè: vetture automotrici di lusso per i treni diretti, vetture automotrici di 2ª e 3ª classe per i treni locali e carri automotori per treni merci. I primi due tipi pesano 30 tonnellate e sono capaci di rimorchiare altre 35 tonnellate, con velocità di 60 chilometri fino a 10 0[00 di pendenza, e a 30 chilometri fino al 20 0[00; i carri automotori per treni merci sono capaci di uno sforzo di trazione di 5000 chilogrammi con velocità di 30 a 15 chilometri, a seconda della pendenza.

L'energia elettrica è impiegata pure per l'illuminazione, la ventilazione e il riscaldamento dei veicoli.

Sarà un esperimento grandioso, ardito e veramente degno del maggior plauso, quando si pensi che in esso si abborda un problema tecnico che racchiude non una, ma molte incognite, e che il risultato può aver conseguenze di un'importanza straordinaria.

Augurandone il pieno successo, non voglio porre neppure il dubbio che da esso possa scaturire una risposta negativa. Ma qualunque ne sia l'esito, certo è che esso farà fare un gran passo sulla via della soluzione definitiva, assoggettando ad una prova decisiva la trazione a grande velocità colle alte tensioni e coi motori a campo rotante.

Sarà un vanto per l'Italia l'iniziativa presa, e sarà nuova gloria che circonderà il nome di un grande italiano, di Galileo Ferraris, che primo rivelò le mirabili proprietà del trasformatore a corrente alternata, e primo ideò il motore a campo rotante, che solo rende possibile di trasformare direttamente l'energia di una corrente alternata in energia meccanica, con quelle modalità che sono indispensabili per un motore da applicarsi alla trazione.

Ma non solo di vanto e compiacenza dev'essere fonte quest'avvenimento: esso deve esserci d'esempio e d'insegnamento profittevole, se ci soffermiamo a considerare quale e quanto studio e lavoro di preparazione ha costato un'impresa, che pur si presenta sotto il modesto titolo di esperimento. Il gettarsi arditamente su di una nuova via, il ripudiare decisamente quei sistemi ai quali nessuno ebbe ancora il coraggio di rinunciare, non è un salto temerario nell'ignoto, ma il frutto di studî rigorosi, di pazienti indagini e calcoli scientifici, di accurate esperienze, da cui l'elettrotecnico ha acquistato la convinzione che il nuovo sistema deve rispondere allo scopo.

In tutte le scienze, ma forse più che in ogni altra nell'elettrotecnica, l'applicazione pratica è oggi così intimamente collegata alla ricerca scientifica, che io non saprei mai abbastanza raccomandare, precisamente a chi ha di mira le applicazioni pratiche, uno studio approfondito dei principî fondamentali della scienza. Ciò dipende dalla natura stessa dell'ente elettrico, le cui leggi, le cui proprietà sfuggono ai nostri sensi, e si rivelano soltanto all'intelletto guidato dalla scienza. Il profano, che, osservando un congegno meccanico, spesso ne indovina e ne comprende il funzionamento, rimane quasi sempre perplesso davanti all'apparecchio elettrico che gli appare un enigma; e sovente lo stesso elettricista, confuso davanti a fenomeni che a prima giunta gli sembrano strani, deve ricercare a lungo nel corredo delle sue cognizioni scientifiche per trovarne la spiegazione.

Soltanto una larga e salda coltura, una chiara ed ampia conoscenza delle dottrine scientifiche e dell'arte di sperimen-

tare può fornire quella sicura preparazione che permetterà di risolvere le nuove e più importanti questioni pratiche che oggi si affacciano all'elettrotecnico, e che sempre deve avere di mira una Scuola, come la nostra, di elettrotecnica per dare un giusto indirizzo al suo insegnamento.

Signori: una scuola informata a questi concetti sorse già in questo Museo da molti anni per iniziativa di Galileo Ferraris, e fu la prima in Italia. I rapidi progressi dei nuovi studi hanno mostrato la necessità di dare a questa Scuola più ampio sviluppo e novelli ordinamenti. Ed io non potrei meglio chiudere il mio discorso che rivolgendo una parola di sincero plauso all'illuminata e generosa cooperazione della Provincia, del Comune, della Camera di Commercio di Torino, ai provvidi consigli della Giunta Direttiva del Museo ed alla saggia attività del suo Presidente, che seppero far sorgere nella nostra città un Istituto, il quale, fornito di larghi mezzi di studio, potrà gareggiare coi più rinomati Istitituti elettrotecnici d'Europa.

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

CALCOLO DELLA STABILITÀ D'UN SOLAIO IN CEMENTO ARMATO.

Nota dell'Ing. Flaminio Accattino

Lo studio della stabilità del cemento armato non presenta difficoltà se, ammesse *a priori* certe ipotesi, si applicano le formole usuali date dalla teoria generale dell'elasticità dei materiali.

La questione a risolvere anzitutto è la posizione dell'asse neutro che non si può subito stabilire come si fa generalmente pei solidi omogenei a forma di trave.

Il vantaggio del connubio del ferro col cemento si palesa non solo economicamente nella difesa del metallo contro le ossidazioni, ma staticamente per l'allontanamento dell'asse neutro dagli elementi estremi della sezione del ferro, aumentando così il momento di resistenza della sezione stessa alla trazione.

Per dimostrare come si può nei vari casi determinare la posizione dell'asse neutro, consideriamo l'esempio d'una copertura in *beton*, d'una portata l, attraversata inferiormente da n barre di ferro dolce (fig. 124).

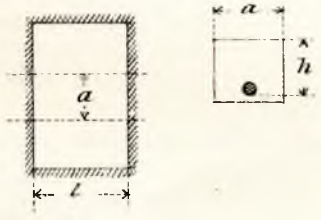

Fig. 124.

Di questa soletta consideriamo un tratto di larghezza a nota eguale alla distanza delle barre da asse ad asse.

Si tratta di determinare l'altezza h della lastra ed il diametro d dell'asta, sufficienti a conseguire la stabilità relativa ad un determinato carico uniformemente ripartito sulla copertura.

Si osserva che sotto alle aste vi ha ancora un sottile strato di cemento che serve puramente per difesa del metallo.

Supporremo per ora la soletta semplicemente appoggiata. È noto che se si ha un solido ad asse rettilineo appoggiato agli estremi e sollecitato da un carico uniformemente ripartito, per una sezione qualsiasi il momento flettente è positivo, all'infuori degli appoggi, dove i momenti sono nulli: vale a dire dalla curvatura della linea elastica si deduce che per una sezione qualsiasi del solido la parte superiore dell'asse è soggetta a sforzi di compressione, quella inferiore a sforzi di tensione.

Nel caso nostro sarebbe quindi teoricamente sufficiente armare il cemento solo nella parte inferiore.

Per l'agevole risoluzione del problema dobbiamo ora ammettere nei calcoli:

1° che la sezione rimanga piana dopo la deformazione;

2° che la barra di ferro sopporti tutto lo sforzo di trazione e la parte in cemento superiormente all'asse, lo sforzo di compressione;

3° che le dilatazioni unitarie siano proporzionali alle distanze degli elementi sollecitati, dall'asse neutro.

Ciò premesso, ricorriamo alla formola fondamentale $\sigma = E\,\varepsilon$ nella quale gli sforzi interni sono proporzionali alle dilatazioni unitarie.

Avremo pel cemento: $\sigma_c = E\,\varepsilon$

e pel ferro: $\sigma_f = E_1\,\varepsilon_1$

essendo σ_c e σ_f gli sforzi unitari interni rispettivamente di compressione e tensione, E, E_1 i moduli d'elasticità noti dei due materiali, ε ed ε_1 le dilatazioni unitarie negativa e positiva.

Si ha quindi:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_c}{E},\quad \varepsilon_1 = \frac{\sigma_f}{E_1},$$

e chiamando con Δs e Δs_1 gli allungamenti per un tratto s di fibra si avrà:

$$\Delta s = \frac{\sigma_c}{E}\,s \quad \text{e} \quad \Delta s_1 = \frac{\sigma_f}{E_1}\,s\,.$$

Noti così gli allungamenti in funzione degli sforzi noti di compressione e trazione e dei moduli d'elasticità, resta fissato il rapporto delle distanze degli elementi ω cemento e ferro dall'asse neutro, che supporremo coniugato all'asse di sollecitazione, ammettendo, come sopra, la proporzionalità delle dilatazioni alle distanze.

Esprimiamo ora la distanza dell'elemento ω cemento dall'asse neutro con $y_1 = \lambda\,h$ e quella dell'elemento ω ferro dal medesimo asse con:

$$y_2 = h - y_1 = h\,(1-\lambda).$$

Avremo:

$$\frac{\Delta s}{\Delta s_1} = \frac{\lambda\,h}{h\,(1-\lambda)} = \frac{\lambda}{1-\lambda}\,.$$

$$\Delta s\,(1-\lambda) = \lambda\,\Delta s_1\,,$$

da cui:

$$\Delta s - \Delta s\,\lambda = \lambda\,\Delta s_1\,,$$

ovvero:

$$\lambda = \frac{\Delta s}{\Delta s + \Delta s_1}\,.$$

Siano ora le equazioni di stabilità alla flessione:

$\sigma_c = \dfrac{M\,y_1}{I}$ dove I = momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse neutro;

$\sigma_f = \dfrac{M\,y_2}{I'_1}$ dove I'_1 = momento d'inerzia della sezione ferro rispetto all'asse neutro;

e $I'_1 = I_1 + F\,v^2$ in cui I_1 è il momento d'inerzia del ferro rispetto all'asse baricentrico;

F area della sezione circolare dell'asta;

v distanza fra i due assi;

$$v = y_2 - \frac{d}{2}\,.$$

Ma $\dfrac{d}{2}$ è una quantità piccola rispetto ad y_2 essendo le barre ordinariamente di piccole dimensioni e per semplicità di calcolo possiamo trascurarla e metterci nel caso più favorevole alla stabilità.

Si hanno così due equazioni fra le due incognite h e d che risolvono il quesito proposto.

Infatti σ_c e σ_f ed M sono quantità stabilite *a priori*, e di y_1 e y_2 si conoscono le espressioni:

$$I = 0{,}0833\, a\, h^3,$$
$$I_1 = 0{,}049\, d^4,$$
$$I'_1 = 0{,}049\, d^4 + \frac{\pi d^2}{4} h^2 (1-\lambda)^2 .$$

Sostituendo, avremo:

$$\sigma_c = \frac{M \lambda h}{0{,}0833\, a\, h^3} = \frac{M \lambda}{0{,}0833\, a\, h^2},$$

da cui:

$$h = \sqrt{\frac{M \lambda}{0{,}0833\, a\, \sigma_c}};$$

$$\sigma_f = \frac{M h (1-\lambda)}{0{,}049\, d^4 + \pi \frac{d^2}{4} h^2 (1-\lambda)^2}.$$

Facciamo: $d^2 = x$ $\quad d^4 = x^2$,

avremo:

$$\sigma_f = \frac{M h (1-\lambda)}{0{,}049\, x^2 + \pi \frac{x}{4} h^2 (1-\lambda)^2},$$

ovvero:

$$x^2 + \frac{\pi h^2 (1-\lambda)^2}{0{,}196} \qquad x = \frac{M h (1-\lambda)}{0{,}049\, \sigma_f},$$

e ponendo:

$$A = \frac{\pi h^2 (1-\lambda)^2}{0{,}196} \qquad B = \frac{M h (1-\lambda)}{0{,}049\, \sigma_f},$$

si avrà:

$$x^2 + A x = B,$$

equazione tipica di 2° grado in x, che risolta dà per x un valore positivo, dal quale estratta la radice quadrata, si ottiene il valore d cercato.

Riepilogando, le formole atte alla risoluzione del quesito, sono:

$$\Delta s = \frac{\sigma_c}{E}, \qquad \Delta s_1 = \frac{\sigma_f}{E_1},$$

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \frac{\Delta s}{\Delta s + \Delta s_1}, \qquad h = \sqrt{\frac{M \lambda}{0{,}0833\, a\, \sigma_c}}, \\ A &= \frac{\pi h^2 (1-\lambda)^2}{0{,}196}, \qquad B = \frac{M h (1-\lambda)}{0{,}049\, \sigma_f} \\ x^2 &+ A x = B, \qquad x = d^2. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Per i valori di E, E_1, σ_c e σ_f l'illustre prof. Ritter propone di fare:

E = 200 tonnellate per centimetro quadrato;
E_1 = 2000 » » »
σ_c = 30 kg. » »
σ_f = 1100 ÷ 1200 kg. » »

Questo solido di larghezza a consideriamo appoggiato sopra n_1 travi disposte trasversalmente ed appoggiate od incastrate nei muri estremi.

Pel calcolo della stabilità di tale solido è d'uopo ricorrere alla teoria delle travi continue e determinare le sezioni del cemento e del ferro colle formole discusse precedentemente, ove ad M si sostituisce il massimo momento flettente assoluto fra quelli sugli appoggi, dati dalle formole di Clapeyron, ed intermedi, sollecitanti il solido stesso.

Devesi allora osservare che per la continuità del solido le sezioni in prossimità degli appoggi sono sollecitati da un momento flettente negativo per cui la parte superiore all'asse neutro è soggetta a sforzi di tensione e l'inferiore a sforzi di compressione; dimodochè la curva elastica presenta in prossimità degli incastri due punti di flesso, le cui ascisse date da:

$$x_1 = \frac{l_1}{2}\left(1 \pm \sqrt{\frac{1}{3}}\right)$$

a partire da un'estremità della campata, come dalla fig. 125,

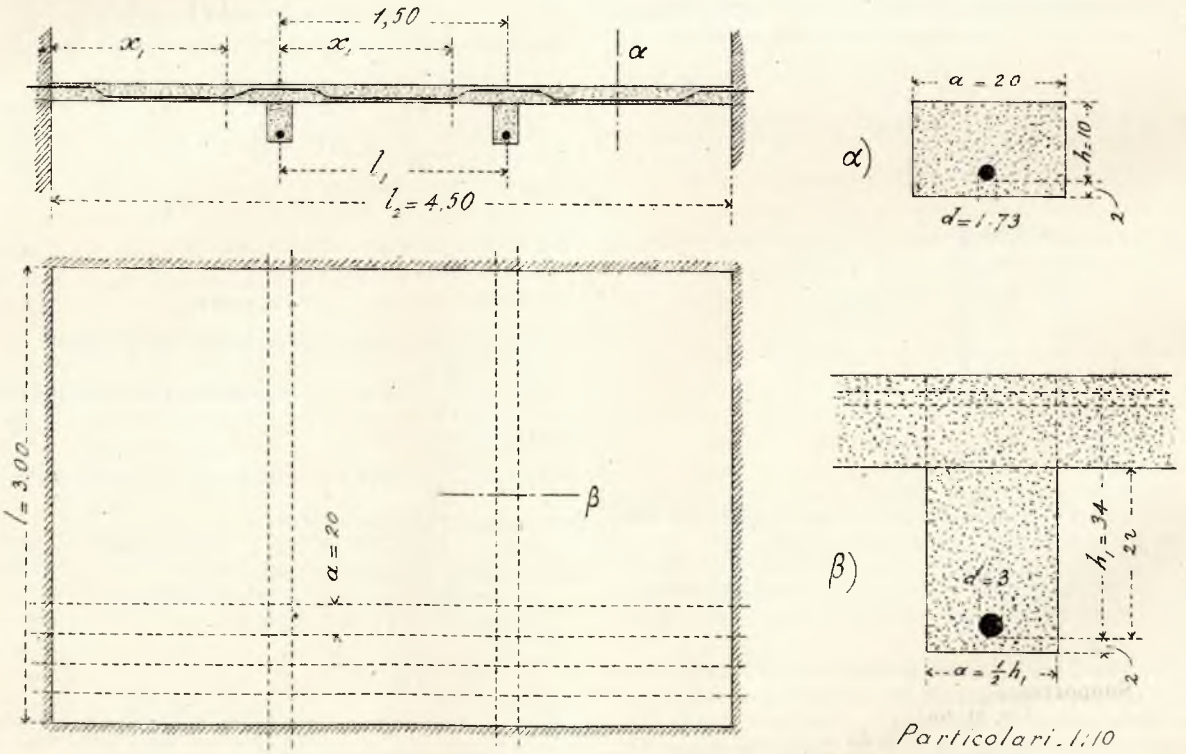

Fig. 125.

servono a trovare precisamente i punti di passaggio della barra dalla parte inferiore alla superiore.

Alla determinazione poi della sezione dei travi in *beton* e ferro sostenenti la soletta, servono le stesse formole trovate, considerando il trave, se appoggiato, affaticato alla sezione mediana da un momento flettente dato da $\frac{Q\,l}{8}$ e, se incastrato, affaticato alla sezione estrema da $\frac{Q\,l}{12}$, calcolate in ambo i casi sino alla faccia superiore della soletta.

In ogni caso la larghezza del trave si esprime in funzione dell'altezza h, cioè si avrà $a = \mu\, h_1$, ove μ ha un valore noto. Si avrà allora:

$$\sigma_c = \frac{M\,\lambda\,h_1}{0{,}0833\,\mu\,h_1^4} = \frac{M\,\lambda}{0{,}0833\,\mu\,h_1^3},$$

ovvero:

$$0{,}0833\,\mu\,h_1^3\,\sigma_c = M\,\lambda,$$

da cui:

$$h_1^3 = \frac{M\,\lambda}{0{,}0833\,\mu\,\sigma_c} \quad \text{ed} \quad h_1 = \sqrt[3]{\frac{M\,\lambda}{0{,}0833\,\mu\,\sigma_c}}.$$

Alle suesposte formole (1) conviene quindi aggiungere l'ultima:

$$h_1 = \sqrt[3]{\frac{M\,\lambda}{0{,}0833\,\mu\,\sigma_c}},$$

e:

$$x_1 = \frac{l_1}{2}\left(1 \pm \sqrt{\frac{1}{3}}\right),$$

che completano con quelle il calcolo della stabilità d'un solaio in cemento armato.

*

Facciamo un esempio di applicazione ad un caso pratico.

Consideriamo un solaio formato da una copertura sorretta da due travi distanti da asse ad asse m. 1,50, e di portata m. 3 (vedi fig. 125).

Se si ritiene di chg. 2500 il peso al m. c. del cemento armato, il peso d'una trave da dati pratici si potrà ammettere di chg. 500.

Il carico permanente uniformemente ripartito sul solaio sia di 2000 chg. per m².

Calcoliamo dapprima le dimensioni delle sezioni delle travi. Si avrà:

$$h_1 = \sqrt[3]{\frac{M\,\lambda}{0{,}0833\,\mu\,\sigma_c}},$$

dove:

$$M = \frac{Q\,l}{12} = \frac{[(2000 \times 1{,}50 \times 3{,}00) + 500] \,.\, 300}{12} =$$

$$= \frac{9500 \times 300}{12} = 237500 \text{ Kg. cm.}$$

$$\Delta s = \frac{\sigma_c}{E} = \frac{30}{200000} = 0{,}00015$$

$$\Delta s_1 = \frac{\sigma_f}{E_1} = \frac{1150}{2000000} = 0{,}0006$$

$$\lambda = \frac{0{,}00015}{0{,}00015 + 0{,}0006} = 0{,}20$$

$$\mu = \frac{1}{2}\,h_1 \qquad \sigma_c = 30 \text{ chg.}$$

Avremo:

$$h_1 = \sqrt[3]{\frac{237500 \times 0{,}20}{0{,}0833 \times \frac{1}{2} \times 30}}$$

ossia:

$$h_1 = \sqrt[3]{\frac{47500}{1{,}25}} = 34 \text{ cm.}$$

Ora:

$$A = \frac{\pi\,h_1^2\,(1-\lambda)^2}{0{,}196} = \frac{3{,}1416 \times 34^2\,(1-0{,}20)^2}{0{,}196} = 11858$$

$$B = \frac{M\,h_1\,(1-\lambda)}{0{,}049\,\sigma_f} = \frac{237500 \times 34 \times 0{,}80}{0{,}049 \times 1150} = 114640.$$

Quindi:

$$x^2 + 11858\,x = 114640$$

da cui:

$$x = -5929 + \sqrt{114640 + 5929^2} = 9,$$

quindi:

$$d = \sqrt{9} = 3 \text{ cm.}$$

Passiamo ora al calcolo della soletta.

Determiniamo l'altezza h ed il diametro della barra di ferro immersa nel cemento, considerando la soletta come una trave continua a tre campate, di cui il momento massimo flettente assoluto è dato da $M = 0{,}10\,Q\,l_1$.

Sia $a = 20$ cm.; il peso proprio di questa striscia di soletta larga 20 cm. e di m. 1,50 di portata, si può ammettere, da dati pratici, sia di chg. 80.

Allora:

$$M = [(0{,}10 \times 2000 \times 0{,}20 \times 1{,}50) + 80] \times 150 =$$
$$= 21000 \text{ Kg. cm.}$$

Si avrà:

$$\lambda = 0{,}20$$

come pel trave, e

$$h = \sqrt{\frac{M\,\lambda}{0{,}0833\,a\,\sigma_c}} = \sqrt{\frac{21000 \times 0{,}20}{0{,}0833 \times 20 \times 30}} = \text{cm. } 10$$

$$A = \frac{3{,}1416 \times 10^2\,(1-0{,}20)^2}{0{,}196} = 1025$$

$$B = \frac{21000 \times 10\,(1-0{,}20)}{0{,}049 \times 1150} = 2981.$$

Per cui:

$$x^2 + 1025\,x = 2981$$

$$x = -512{,}50 + \sqrt{2981 + 512{,}50^2} = 3$$

$$d = \sqrt{3} = 1{,}73 \text{ cm.}$$

Ora la formola:

$$x_1 = \frac{l_1}{2}\left(1 \pm \sqrt{\frac{1}{3}}\right)$$

dà le ascisse dei punti di passaggio delle barre alla parte superiore, in prossimità degli appoggi. Avremo:

$$x_1 = \frac{1{,}50}{2}\left(1 \pm \sqrt{\frac{1}{3}}\right) = \begin{cases} 1{,}18 \text{ m.} \\ 0{,}32 \text{ m.} \end{cases}$$

Torino, novembre 1899.

NECROLOGIA

Roberto Guglielmo Bunsen.

Roberto Guglielmo Bunsen, che ha cessato di vivere a 88 anni, nello scorso agosto, era nato nel 1811 a Gottinga.

Ottenuta in quella Università la laurea dottorale, prima di avere raggiunto il ventesimo anno, divenne privato docente; e dopo alcuni studi fatti a Parigi, a Berlino, a Vienna, incominciò a dar saggio della sua speciale attitudine e singolare perizia sperimentale, pubblicando nel 1834 lo studio analitico dell'Allofano nella formazione dell'argilla plastica e la proposta dell'ossido di ferro per antidoto dell'acido arsenioso; e nel 1835 un esteso studio di alcuni speciali composti dei cianuri doppi coll'ammoniaca.

Nel 1836 divenne professore di chimica nel Politecnico di Cassel al posto di Wöhler; nel 1838 nell'Università di Marburgo; nel 1851 in quella di Breslavia, e nel 1852 finalmente fu chiamato all'Università di Heidelberga, ove si fermò e compì tutta la sua luminosa carriera di professore e di scienziato, sinchè gli ressero le forze, cioè sino al 1889, anno nel quale deliberò di ritirarsi, all'età di 78 anni.

In tutti gli svariati ed estesi campi della chimica e della fisico-chimica intervenne colla sua meravigliosa, originale destrezza sperimentale; inventava all'uopo nuovi metodi e costruiva nuovi apparati, che alla sicurezza dei risultati associavano una estrema semplicità caratteristica. E così, oltre di risolvere i problemi che si era proposto, apriva ad altri nuove vie e forniva nuovi strumenti, i quali presto si diffondevano in tutti i laboratori chimici, nei quali perciò rimane indelebile il nome del Bunsen.

E meravigliosamente egli accoppiava la continua operosità scientifica coll'efficace insegnamento pratico, che dava personalmente lavorando alla presenza ed insieme agli allievi.

Appena nominato ad Heidelberga, ottenne di costruire sotto la sua direzione un nuovo laboratorio, e fece così un Istituto chimico, che per molti riguardi servì di modello ai più vasti e ricchi Istituti di scienze sperimentali, che più tardi si vennero ovunque costruendo.

Appena nel 1855 fu compito ed aperto questo nuovo laboratorio, vi affluirono allievi da tutti i paesi: una nuova generazione di chimici fu così dal Bunsen educata al corretto sperimentare, e divennero tra i più illustri chimici di questi ultimi tempi, come, tra gli altri, Landolt, Lothar Meyer, Pebal, Quincke, Roscoe, Beilstein, Carius, Lieben, Aug. Matthiessen, Baeyer e Volhard, ecc., ecc.

Intorno a tale attivo centro di studi chimici, che si era formato nel laboratorio di Bunsen, furono attirati liberi docenti del valore di Kekulè e di Erlenmeyer, i quali, diffondendo le nuove dottrine della chimica organica, cooperarono col maestro.

Il Bunsen ha anche un posto eminente nella storia della chimica geologica.

In più occasioni si occupò di argomenti di geognosia e di geologia, come, per esempio, dopo una gita fatta coi professori dell'Università di Pisa, Pilla e Matteucci, nel 1844, pubblicando una Memoria *Sul terreno carbonifero della maremma toscana;* ma le sue ricerche più importanti nel campo geologico sono quelle riguardanti i fenomeni vulcanici e pseudo vulcanici dell'Islanda. Gli studi dei grandi fenomeni che si manifestano sulla corteccia terrestre erano invero prediletti da lui, che aveva per sole distrazioni le gite per monti e valli, e tra i pochi graditi sollazzi lo accorrere ovunque avvenissero eruzioni vulcaniche.

Dopo l'eruzione dell'Hecla, avvenuta nel 1845, egli si recò nell'Islanda e vi intraprese studi, che continuò poi per più anni, sulla composizione delle roccie vulcaniche delle varie età, dei gas e vapori che emanano dai fumaruoli e dal cratere dei vulcani, e sull'azione di essi sulle roccie, e fondò una originale teoria sull'origine delle roccie vulcaniche, che appoggiò colle importantissime ricerche sulla variazione del punto di fusione col variare della pressione.

Il Bunsen di buon'ora rivolse la sua attenzione sul partito che nella chimica si sarebbe potuto trarre dalla corrente elettrica. Sin dal 1841 egli si era procurato una sorgente economica di corrente abbastanza costante, sostituendo, nella pila di Grove, al platino il carbone, convenientemente preparato, e determinando accuratamente le variazioni nell'intensità della corrente prodotte da tale sostituzione.

Nel laboratorio di Marburgo fece impiegare questa sua nuova pila al Kolbe, suo assistente, per intraprendere quelle importanti ricerche sull'elettrolisi dell'acido acetico e di altri acidi grassi, dalle quali ebbero origine quelle fatte poi dal Kolbe in compagnia di Frankland, e quelle tanto feconde di quest'ultimo.

Avendo inoltre Bunsen bisogno per le ricerche fotochimiche di magnesio, ricorse all'elettrolisi del cloruro fuso, e riescì con ingegnosa forma data all'elettrode di carbone, su cui si raccolgono i globuli metallici, ad impedire che vengano a galleggiare sul cloruro fuso. Riuscì pure ad ottenere il cromo metallico dalle soluzioni de' suoi sali.

Rivolse poi ogni cura a perfezionare il metodo della preparazione dei metalli alcalini e terrosi mercè l'elettrolisi dei loro sali fusi, metodo che fu tanto fecondo in mano sua ed in mano dei suoi allievi, soprattutto del Matthiessen e di Hillebrand e Norton, i quali due ultimi sono così riesciti ad ottenere allo stato metallico compatto il Cerio, il Lantanio ed il Didimio.

Anche l'azione chimica della luce fu oggetto dello studio di Bunsen. Le ricerche in questo campo furono fatte in compagnia di Roscoe e pubblicate in più Memorie dal 1855 al 1859, che sono tuttavia considerate tra le più importanti pubblicazioni di chimica generale in questo secolo.

In nessun altro lavoro scientifico di quel tempo si ritrova quel meraviglioso insieme di perizia fisica, chimica e di calcolo, di acutezza nell'istituire le ricerche e di pazienza e perseveranza nell'eseguirle, di minuziosa diligenza nell'osservare ogni piccolo fenomeno, ed infine di larghe e profonde vedute sulle grandi questioni meteorologiche e cosmiche.

Ciò che però tramanderà ai posteri più venerato il nome del Bunsen associato a quello di Kirchoff, è certamente l'introduzione dell'analisi spettrale fatta nel 1860, la quale condusse il Bunsen alla scoperta del Cesio e del Rubidio, e dopo di lui condusse altri chimici alle scoperte del Tallio, dell'Indio, del Gallio e finalmente dell'Elio.

Coll'analisi spettrale si è inoltre fondata la chimica siderea, e molto più ancora si aspetta da codesto metodo per chiarire la condizione di molti corpi celesti, e forse la condizione medesima della materia in generale.

Con quello splendido e celebre lavoro non si fermò l'attività del Bunsen; continuò invece ricerche e pubblicazioni di non lieve valore su diversi argomenti, tra i quali quelle sopra i metodi di determinare le densità di vapori e quello importantissimo sugli spettri delle terre rare per mezzo delle scintille; ciò che giovò alla difficile separazione e riconoscimento di quei metalli rari.

Nel 1870 pubblicò la descrizione di quel suo originale e celebre calorimetro a ghiaccio, col quale egli, prima, ed in seguito altri chimici, specialmente suoi allievi, determinarono i calorici specifici di molti metalli, soprattutto di quelli per la preparazione dei quali egli aveva a disegno perfezionato il metodo elettrolitico. Così egli rettificò il peso atomico e le formule dei composti dell'Indio; e coi suoi proprii lavori direttamente, o con quelli dei suoi allievi, eliminò non pochi dubbi sulle formule dei composti di molti altri metalli, tra i quali quelli del Cerio, Lantanio e Didimio. Si deve perciò riconoscere avere egli notevolmente contribuito alla conferma ed accettazione del sistema dei pesi atomici attualmente in uso, e perciò alla razionale classificazione degli elementi poggiata su tale sistema.

Nè vuolsi tacere che uno dei suoi allievi, il Pebal, guidato dai criteri del suo maestro, dimostrò sperimentalmente la dissociazione del vapore del cloruro di ammonio, confermando quello che il Cannizzaro aveva indovinato, e rimovendo così l'ultimo ostacolo alla sicura applicazione della teoria di Avogadro e di Ampère.

Il Bunsen, invero, non prese direttamente parte alle discussioni teoretiche che si agitavano in quel periodo della sua vita scientifica; ma non era stato indifferente all'argomento fondamentale della chimica, qual era quello dei pesi atomici degli elementi e delle forme delle loro combinazioni. E quando ferveva su tale soggetto la polemica, egli si adoperava in silenzio a raccogliere dati sperimentali ed insegnare metodi per raccoglierne, al fine di troncare i dubbi sulle questioni pendenti.

Questa fu sempre la sua missione. E la compì mirabilmente.

L'ultimo lavoro da lui pubblicato nel 1887 riguarda un nuovo calorimetro a vapore, fondato sull'utilizzazione del calore latente di evaporizzazione, e del quale Joly aveva avuto contemporaneamente l'idea. Bunsen mostrò che con una disposizione opportuna si potevano ottenere risultati molto precisi; pare però che l'apparato proposto non sia stato finra adoperato.

Nel 1889, compiti i 78 anni, mancandogli le forze fisiche, decise ritirarsi dall'insegnamento, e visse in riposo fino all'agosto scorso, ma in continua lotta tra il desiderio, che continuava in lui vivissimo di creare qualcosa col lavoro, e l'impotenza prodotta dagli acciacchi fisici.

Tentò nondimeno una ricerca sperimentale, fatta coi soliti mezzi semplici, sopra non so quale questione di ottica; ma la vista dell'occhio sinistro, il solo che un'esplosione gli aveva lasciato intatto, si venne in tal modo indebolendo, che egli dovette rinunziare al suo proposito.

La conversazione degli amici a lui devoti potè sulle prime soddisfare il bisogno vivissimo in lui d'essere almeno informato dei più rilevanti progressi delle scienze naturali, ma anche l'udito veniva indebolendosi, e questo conforto dovette sempre più ridursi.

La melanconia, che di lui s'impossessò, non era in altro modo temperata che dalle gite nei boschi e nei monti, da lui tanto amati. Un altro conforto però non gli mancò mai: quello delle prove di venerazione e benevolenza che gli venivano da tutti coloro che avevano goduto della sua intimità, e la serenità con cui poteva sempre guardare indietro tutta la sua vita, spesa in beneficio della scienza e dell'insegnamento.

(*R. Accademia dei Lincei*).

Giovanni Sacheri, *Direttore.* Tip. e Lit. Camilla e Bertolero di Natale Bertolero, Editore. Paolo Mariano, *Gerente.*