

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO QUINDICINALE

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 delle relazioni, memorie e disegni pubblicati in questo Periodico.

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

A PROPOSITO DI ALCUNE RECENTI ESPERIENZE SULLA RESISTENZA DI STRUTTURE SPECIALI PER LE COSTRUZIONI

*Conferenza al Collegio degli Ingegneri di Palermo
fatta il 15 dicembre 1901 dall'Ing. ELIA OVAZZA*

Professore di Meccanica applicata
alla R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Palermo.

Recentemente è stato pubblicato il terzo volume (1) degli Atti del Congresso internazionale di meccanica applicata tenutosi in Parigi nel luglio 1900, preziosa collezione di interessanti monografie esposte in forma di comunicati e di conferenze fatte a detto Congresso. Anche ad una prima lettura spicca subito fra le altre una conferenza dell'ingegnere M. Rabut, professore alla Scuola nazionale di ponti e strade di Parigi, sia per l'eleganza della forma, sia per l'invidiabile accoglienza avuta dallo sceltissimo uditorio, presieduto dallo Hâton de la Goupillière, ma più ancora per le comunicazioni in essa fatte, ardite e segnalanti l'attività di una Scuola che alacramente va studiando i problemi di stabilità delle costruzioni. Leggendo questa conferenza, sorsero in chi vi parla spontanee talune considerazioni e formularonsi taluni dubbî che credette opportuno esporre ai suoi Colleghi, meravigliato di non essere stato prevenuto da qualcuno di coloro che ebbero la ventura di udire tale conferenza.

L'argomento è d'attualità per l'Italia, ove le molte opere d'arte sparse lungo le ferrovie richiedono accurata revisione, avuto riguardo all'epoca ed alle circostanze in cui furono costruite, nonchè alle accresciute richieste del traffico.

La Scuola che fa capo al prof. Rabut, avendo perfezionato gli strumenti di misura delle deformazioni totali e di quelle locali delle strutture resistenti, va con essi eseguendo misurazioni sistematicamente condotte, per dedurne quelle regole che l'esperienza suggerisce, ed i risultati di tali studi rende pubblici, per quanto anche discordi da quelli che le teorie comunemente accettate forniscono. Da questo studio sperimentale sarebbesi appunto reso manifesto un complesso di fatti, che non credo ozioso far noti ad una più ampia cerchia di tecnici, sperando con ciò meritarmi venia per l'iniziativa presa.

Per non abusare troppo del tempo vostro e della vostra cortesia, mi limiterò ai più caratteristici, in gran parte comunicati dal prof. Rabut nella prelodata conferenza; non voglio però tacere che alcuni fatti analoghi erano già stati avvertiti in Italia da taluno che per modestia o per altro motivo non credette opportuno pubblicarli.

(1) *Conférence sur l'expérimentation des ponts*, par M. RABUT. — Paris, Dunod, 1901. — La stessa conferenza fu pubblicata pure nel numero di novembre 1901 dalla « Revue générale des Chemins de fer ».

*

A) Nel 1894, dovendosi togliere d'opera il ponte sull'Emme a Wolhusen (ferrovia Berna-Lucerna), che dopo un solo ventennio di esercizio gli aumentati carichi avevano reso insufficiente, si procedette a prove ufficiali di resistenza, spinte fino a rottura (1). Il ponte aveva due travi maestre a graticcio Warren con correnti paralleli, a triangoli isosceli senza montanti verticali. In taluni nodi là dove la teoria mediante le comuni semplificazioni prevedeva compressione gli strumenti avrebbero rivelato trazione, e dove quella teoria prevedeva sforzi molto prossimi al carico di rottura non si rivelarono nè deformazioni inquietanti e nemmeno la minima dislocazione, non dubbî segni che la trave resisteva ben diversamente da quel che supponeva la teoria.

Con tali discrepanze circa il modo di resistere delle travi a graticcio possiamo spiegarci come in Europa, non volendosi adottare i collegamenti americani a cerniera di costosa esecuzione, abbiano potuto meritare considerazione e le travi Mesnager, ove l'accoppiamento cinematico a snodo si ottiene mercè l'interposizione di lamine flessibili, e le travi Vierendeel ove le diagonali sono soppresse, abbondandosi invece nelle dimensioni trasversali dei montanti e dei loro attacchi ai correnti.

Il Rabut in molte travi a graticcio avrebbe rilevato in gran copia ed in misura inaspettata inflessioni di sbarre che il calcolo suppone solo cimentate a sforzo assiale di compressione od anche di trazione. Alla importanza di queste deformazioni e dei conseguenti sforzi secondari, che non considera il calcolo ordinario costretto a parecchie ipotesi semplificative, già accennavano i begli studi del Manderla, dell'Engesser, del Ritter e quelli fatti in seguito alla memorabile catastrofe del ponte di Mönchenstein. Ma v'ha di più: applicando apparecchi misuratori della deformazione locale in diversi punti di una stessa sezione trasversale di sbarre di graticcio, gli sforzi dedottine non solo non risultavano eguali, ma neppure in relazione lineare con la posizione delle fibre sperimentate, in disaccordo col postulato di Navier circa la conservazione delle sezioni piane. E così, causa lo svilupparsi di azioni secondarie di contorsione, questo postulato, come quello del parallelismo delle falde nella teoria del moto dei fluidi, non avrebbe che l'importanza di un semplice spediente di calcolo.

B) La ferrovia Parigi-Auteuil traversa parecchie grandi vie di Parigi e la piazza Pereire in tunnel, essendo coperta mediante solai di voltine sopra travi metalliche. Dice il Rabut: « Le parti inferiori delle travi, non rivestite di » cotto, erano state corrose dal fumo delle locomotive, a tal » punto che in certi fori delle anime sarebbe passato il » pugno; percosse col martello, avevano la sonorità del » cartone; così le parti inferiori non avevano più resistenza; » il momento d'inerzia delle travi, calcolato detraendo dette

(1) Cfr. *Le pont Vierendeel*, par A. VIERENDEEL. — « Bulletin de la Commission internationale des Chemins de fer », décembre 1898. Bruxelles.

» parti, era ridotto al quarto od al quinto del suo valore
 » iniziale; nondimeno l'impalcatura reggeva benissimo, e
 » malgrado un'intensa circolazione i voltini non avevano
 » fatto cedimento alcuno ed avevano i giunti intatti. Avevasi
 » così la prova che questi voltini, insieme col rimanente
 » delle travi, formavano un complesso resistentissimo. Per
 » avere una certezza più completa si sottopose il manufatto
 » alle prove regolamentari; queste dimostrarono che la freccia
 » reale non sorpassava sensibilmente la calcolata, senza
 » tener conto dei voltini ma senza dedurre le parti corrose
 » del metallo; l'effetto delle voltine compensava dunque
 » pressochè esattamente la perdita di resistenza dei ferri.
 » Questo tunnel fu quindi conservato, tuttavia si rivestirono
 » con cemento le parti apparenti delle travi e si introdus-
 » sero armature metalliche nel cemento là dove la resistenza
 » erasi mostrata inferiore a quella del progetto; questo
 » consolidamento pochissimo costoso assicura una durata
 » indefinita a quest'opera la cui demolizione era considerata
 » inevitabile e pressochè decisa ».

C) Il ponte di Asnières sostiene quattro binari mediante cinque travi maestre parallele, essendo ogni binario fra una coppia di travi consecutive; misurate le frecce massime durante il passaggio di un treno, di due treni ed anche di tre e quattro treni simultanei, i risultati furono pressochè eguali. Questo venne assunto come la prova che le varie travi si aiutano mutuamente molto più di quanto si suole presupporre e che improbabile debba considerarsi la coincidenza delle condizioni di massimo sforzo in uno stesso punto per rispetto a più di un treno, e così il bel ponte, sospettato insufficiente in base ai calcoli che consideravano indipendenti le varie travi principali, sottoposto ad ancora più minute indagini, fu riconosciuto in buone condizioni e conservato con vantaggio che bene può immaginare chi pensi che di tal ponte servesi tutto il traffico che fa capo dall'Ovest della Francia alla stazione parigina di Saint-Lazare.

D) La ferrovia Paris-Hàvre traversa la Senna presso Rouen sopra il viadotto di Eauplet ad otto luci di quaranta metri ciascuna; ogni campata consta di quattro archi in ghisa con timpani e longaroni pure di ghisa. Il calcolo teorico fatto accusava sforzi eccessivi di trazione presso le reni dell'arco; laonde, vista la natura del metallo, eransene ormai decise la demolizione e la ricostruzione, per le quali si preventivava la spesa di quattro milioni di franchi. Senonchè lo studio sperimentale del manufatto avendo accertato la produzione di deformazioni elastiche notevolmente minori di quelle calcolate dietro le medesime ipotesi che avevano portato a diffidare della stabilità, portò a giudicare inattendibili quelle ipotesi ed a constatare invece la produzione di sforzi così poco in eccesso che rinforzi di poco costo prevedonsi sufficienti a rendere quel viadotto uno dei manufatti più resistenti di tutta la rete.

E) Con gli stessi strumenti e metodi d'indagine sarebbe verificata la legge del Dupuy, affermando che l'esistenza di un'impalcatura chiodata alle travi trasversali d'un ponte metallico, come la continuità dei longoni ottenuta prolungandone le piattabande attraverso le traverse, notevolmente contribuisce a diminuire gli sforzi nei correnti inferiori od in quelli superiori delle travi maestre secondochè l'impalcato è inferiore ovvero superiore. Ed eguale influenza avrebbero le crociere di controvento. E da tali influenze e dal sussidio di resistenza a flessione che alle briglie apportano i montanti e le diagonali presso gli appoggi si sarebbe giunti a spiegare come le travi maestre continue dei ponti molto meno di quanto suggerisca la teoria si rivelino cementate presso le pile, dove, per dirla col Rabut « gli angoli salienti in freccia di cattedrale, ornamento pittoresco dei classici

diagrammi », vogliono imporre spessori molti grandi di piattabande.

Ed ora ancora un cenno su quanto il Rabut volle comunicare intorno alle sue indagini sugli sforzi dinamici, le cui manifestazioni vengono rivelate mediante apparecchi cronometrici-registratori.

F) Il ponte Jean-François-Lépine, costruito dalla città di Parigi a cavalcioni della ferrovia del Nord alla Villette, ha 40 metri di portata, 15 metri di larghezza ed è reso oltremodo massiccio e rigido da voltini in cotto. Per prova di collaudo si fecero transitare separatamente sul ponte un rullo compressore pesante 30 tonnellate ed una squadra di 16 uomini avanzanti al passo ginnastico, pesanti in complesso forse una tonnellata. La freccia massima dovuta alle vibrazioni, originate dal passaggio di questi uomini, superò quella misurata durante il transito del rullo ed avrebbe raggiunto un limite pericoloso per l'aggiunta di qualche uomo in più o per un non troppo grande aumento della velocità di marcia. Questo il Rabut spiega con la differenza d'azione del sovracarico su un ponte per strada ordinaria e su un ponte ferroviario, che lo studio sperimentale fatto su parecchi manufatti ha rilevato. « Nel ponte per strada ordinaria » (sono parole del Rabut) « il sovracarico è piccola » frazione del carico totale e passa lentamente e perciò » senza urti sensibili; il tavolato vi cambia lentamente di » posizione media oscillando elasticamente secondo un pe- » riodo che gli è proprio (quello del suono fondamentale » ch'è suscettibile di rendere); l'ampiezza di queste vibra- » zioni è soprattutto questione d'interferenza. Nei ponti » ferroviari invece il sovracarico prepondera e la sua grande » velocità determina urti intensi producenti brusche altera- » zioni della freccia, senza periodo reale, ma solo al mo- » mento dell'urto. Pei ponti da strada ordinaria è il tavolato » che dà il suo carattere al diagramma di deformazione, » pei ponti sotto rotaia è il treno; in questi ultimi la causa » più faticante il metallo è l'urto, in quelli è la periodicità » degli sforzi, il loro ritmo. In quelli l'andamento cadenzato » di un cavallo ed il passaggio delle ruote su pavimenti a » giunti regolari, fatto senza importanza in sè, diventa un » pericolo se crea un ritmo in concordanza, in consonanza » col ritmo proprio del ponte, perchè la ripetizione rinforza » le vibrazioni come fa il campanaro tirando la corda della » campana ».

Pei ponti ferroviari il pericolo sarebbe dunque negli urti, ed intorno alle cause di questi i moderni sperimentatori indagarono misurandone gli effetti. Così venne studiata l'influenza dei giunti delle rotaie, i punti deboli dell'armamento ferroviario, che sembra convenga anche a caro prezzo evitare sui manufatti metallici, specie se di piccola portata; così si rivelò l'enorme importanza che può avere il logoramento ineguale dei cerchi delle ruote in corrispondenza della superficie di rotolamento.

G) Il Rabut eseguiva le prove di un piccolo viadotto di 5 metri appartenente alle ferrovie dell'Eure, ove per l'indole locale del traffico i manufatti metallici erano stati calcolati in modo da raggiungere la massima leggerezza permessa dalle prescrizioni regolamentari e da quella certa malleabilità che hanno i calcoli di resistenza. « Al passaggio » del treno di prova, composto d'una locomotiva e d'un » tender, il diagramma della freccia elastica non accusò » pressochè alcuna vibrazione durante il passaggio della » macchina; appena il tender entrò sull'impalcatura si » rivelarono vibrazioni accentuatissime, e questo fatto si » ripeté rifacendosi l'esperienza con sempre maggiori velo- » cità, tanto che la freccia totale dovuta al tender, vibra- » zioni comprese, finì per sorpassare quella dovuta alla » macchina, il cui peso era pur doppio di quello del tender.

» Esaminate le ruote del tender, si trovò un appiattimento
 » unico e nemmeno troppo accentuato, che aveva raddop-
 » piata la fatica del metallo ».

L'importanza di tali appiattimenti, generati da slittamenti dovuti allo inchiodamento dei ceppi dei freni ovvero da urti fra le masse propellenti in corrispondenza di eccessivi giuochi alle connessioni, è notoria agli ingegneri ferroviari. Sarebbe constatato che una macchina viaggiante da Parigi a Limoges in una notte rompe circa cento rotaie di una stessa fila del binario e l'indomani una cinquantina dell'altra fila, perchè una delle ruote aveva un forte appiattimento locale.

*

Non so se il riassunto ora esposto faccia a chi ha la cortesia di ascoltarmi la stessa impressione che io riportai in prima lettura dalla parola del Rabut che, smagliante nella forma e calda come quella che sgorgava da chi godeva di aver trovati interessanti fatti e di comunicarli ad un uditorio sceltissimo, plaudente, ha veramente una potenza suggestiva. Chi da un professore ufficiale di scienza delle costruzioni, così benignamente accolto, sente messe in evidenza tante e tali discrepanze fra i risultati di comuni calcoli teorici e quelli di esperienze che, fino a prova contraria, dev'essere ritenere consciamente eseguite, e sente come abbiano prevalsi i risultati sperimentali su quelli teorici nel dar luogo a decisioni cotanto importanti come quelle della conservazione in servizio di manufatti che calcoli teorici avevano condannati, può essere perdonato se, invaso da un momentaneo senso di pessimismo, sta per credere al fallimento della scienza delle costruzioni, per adoperare una brutta frase di moda.

Ed io confesso che mi sono creduto in dovere di considerare con sguardo sintetico come attualmente questa scienza risolve i problemi che ne sono speciale oggetto.

Per risolvere questi problemi essa studia la resistenza e l'elasticità di certi campioni dei materiali impiegati nelle costruzioni, campioni che cercasi di assoggettare a determinate sollecitazioni semplici, più raramente a sollecitazioni composte. Tali studi sperimentali sono stati e vanno continuamente e meravigliosamente disciplinandosi, specie per l'opera dell'Associazione internazionale per i saggi dei materiali, sorta dietro l'iniziativa del Bauschinger.

Queste esperienze, principalmente istituite allo scopo di determinare il grado di bontà dei materiali da costruzione, di collaudare i materiali da porsi in opera, vengono utilizzate per stabilire i carichi di sicurezza, i limiti superiori cioè da imporsi alle tensioni unitarie interne quali risultano dai calcoli di stabilità, e per misurare i moduli di elasticità, i cui valori assoluti occorrono per la preventiva determinazione delle deformazioni elastiche, mentre suole bastare la conoscenza dei loro rapporti quando si debba impiantare il calcolo di stabilità di una costruzione avente struttura mista, cioè risultante di materiali eterogenei, ferro e legno, cemento e ferro, ecc.

Ma perchè non torni vano il paragone fra le tensioni interne massime ed il carico di sicurezza, questo essendo fissato dietro risultanze sperimentali, quelle venendo dedotte dalla conoscenza dei carichi esterni mediante calcoli, bisogna che fra le massime tensioni interne calcolate e quelle effettivamente provocate dai carichi possa garentirsi corrano differenze praticamente nulle, cioè nei limiti di una approssimazione tecnicamente accettabile. Ora è notorio che le difficoltà, in buona parte insormontabili, ond'è irta la teoria rigorosa della elasticità dei corpi obbligano la scienza delle costruzioni a limitarsi ad accettarne taluni teoremi come postulati, a considerare soltanto travi di forma speciale, per lo più prismatica, e casi specialissimi di sollecitazione nella dedu-

zione delle sue formole fondamentali, ed a introdurre ipotesi semplificative sulla costituzione del materiale. Le formole così dedotte vengono poi estese a travi con sezione variabile e di forma qualunque, soggetti a carichi distribuiti in modo differente da quello supposto in teoria, costituiti con materiale di cui non sono bene conosciute o definite le condizioni elastiche, o pel quale è noto il differente comportarsi sotto sforzi di tensione e sotto sforzi di compressione, come la ghisa, come le pietre; e si dice con ciò di operare per approssimazione, mentre non è dato di sicuramente stabilire l'importanza degli errori che le fatte estensioni hanno certamente originato. Ciò porterebbe a diffidare dell'applicabilità di quelle formole alle membrature di un solaio, di una tettoia, di un ponte, ecc., se non intervenisse l'esperienza a stimare il grado della approssimazione ottenuto, a quel modo che le diligenti ed ormai innumerevoli esperienze di idraulica e di pneumatica valgono a rendere utilizzabili le formole che le teorie forniscono circa il moto dei fluidi, basandosi sopra ipotesi semplificative.

E per vero, non cessa per le travi semplici l'attività scientifica nel campo della scienza delle costruzioni, nel senso corrispondente a quello indicato per l'idraulica e la pneumatica. Recentemente in Italia ed all'estero si sono moltiplicate le esperienze allo scopo di stimare l'influenza di molti elementi che il calcolo non giunge ad analizzare, come, per esempio, la forma delle sezioni trasversali, la legge di variazione della sezione in una stessa trave, la durata della sollecitazione, la varia distribuzione e la limitazione del carico sulle sezioni estreme della trave, la differenza fra le costanti di elasticità a tensione ed a pressione pel materiale ond'è fatta la trave, ecc., ecc.

Passando dalle travi semplici ai sistemi complessi costituenti le costruzioni varie in genere, le difficoltà di calcolo vanno crescendo rapidamente. È ben vero che la teoria tecnica dell'elasticità ha recentemente fatto sì notevoli progressi, da riuscire ormai per ogni sistema elastico ad indicare il modo d'impiantare tante equazioni quante sono le incognite principali di ogni problema di resistenza o di elasticità delle costruzioni; ma a quale prezzo giungesi a ricavare i valori numerici di quelle incognite, appena la statica indeterminazione sia dovuta ad 8, a 10 vincoli sovrabbondanti! Eppure le travi a graticcio multiplo, di sì frequente applicazione, anche supposte coi nodi a cerniera e senza attrito, sogliono presentare a decine, a centinaia magari di tali vincoli. Del resto, ben sappiamo che il calcolo dei sistemi staticamente indeterminati suppone conosciute le dimensioni di tutte le membrature; ora, siccome queste dimensioni non sono di norma note che fino a progetto completamente definito, occorrono negli studi di progetto successivi tentativi, pei quali ben sovente manca od è incerta una guida, onde una mole di calcoli veramente eccessiva. E così si impongono nuove ipotesi semplificative, se vuolsi approdare a qualche risultato.

Fatti i calcoli dietro di tali ipotesi, i risultati ottenuti diciamo approssimati, pur non essendoci noto il grado di approssimazione, e classifichiamo tra gli sforzi secondari quelli costituenti i termini di correzione, ben sovente essendo ignari della loro importanza di fronte ai così detti sforzi principali, a quelli cioè che risultano dai nostri calcoli.

*

Il quadro che precede è fosco forse tanto quanto è roseo, pieno di balda fiducia, pel metodo sperimentale, il discorso del prof. Rabut. E qui non posso tacere che noi ingegneri, quando ci affidiamo alle nostre sole teorie per risolvere i problemi di stabilità delle costruzioni, ci troviamo come fra due fuochi, tra i fisico-matematici puri e gli ingegneri e costruttori della

pratica. Quelli che, mercè i loro studi rigorosi, vedono i numerosi punti vulnerabili delle nostre teorie, hanno generale tendenza ad ancora esagerare le mende e ci contestano che si possano dire approssimati dei risultati di cui non è noto il grado di approssimazione e che abbia valore la nostra distinzione di effetti in principali e secondari; dall'altro lato, buon numero di pratici ci trattano come quei tali medici che o non si dovrebbero interpellare, o si devono, magari con limitata fiducia, seguire fedelmente nelle loro prescrizioni.

I matematici puri hanno perfettamente ragione, respingendo i nostri termini impropri; ma a noi è pure lecito di rimproverare ad una buona maggioranza fra essi di essersi, per un eccesso di rigorismo, allontanati dalla realtà, da quella realtà che continuamente ed imperiosamente si presenta a noi ingegneri con tutte le sue difficoltà, sicchè mentre noi ben poco utilizziamo il pur continuo progredire della matematica astratta, essi devono non di rado mendicare per le loro teorie delle applicazioni ipotetiche, non immediatamente utili, ma solo in un futuro che magari ancora non si delinea. Questo distacco fra matematici ed ingegneri è per altro inevitabile, e non potrà scomparire finchè tante difficoltà offre lo studio, l'analisi dei fatti reali che ci interessano, ciò che equivale a dire che non scomparirà mai, perchè destino dell'ingegneria, come di ogni arte, di ogni scienza è la continuità nel progresso; questo distacco o lacuna non può andare che lentamente colmandosi. Da parte dei matematici puri è sensibilissimo il movimento nel senso accennato; l'esempio dei Bresse, dei Lamé, dei Weyrauch, dei Culmann, dei Bousinesq è tuttodì seguito, e l'Italia per questo non teme il confronto di altre nazioni. Tocca a noi ingegneri di agire in corrispondenza, venendo all'incontro di sì bene intenzionati studiosi, non paventando le difficoltà di più minute indagini matematiche, sull'esempio dei Navier, dei Menabrea, dei Castigliano, dei Fränkel, dei Mohr, dei Müller-Breslau, dei Föppl, ecc., ecc.

Se, dimenticandomi di trovarmi fra colleghi, anche in quest'ora ritenessi mio compito di guidare nello studio della meccanica applicata i giovani che con vero amore seguono i corsi della nostra Scuola di Applicazione, dovrei qui ripetere quanto un nostro collega, il prof. Stefano Pagliani, diceva chiudendo il suo discorso inaugurale del corrente anno accademico alla nostra Università (1): « I trionfi dell'Ingegneria » italiana attestano delle importanti attitudini dell'ingegno » italiano, l'attitudine a severi studi matematici ed alla rigorosa indagine scientifica... Mentre è un carattere della » matematica quello di prestarsi ad una grande generalizzazione, tutte le scienze vorrebbero raccogliersi sotto le sue » grandi ali, per tutte si vorrebbe che l'ultima espressione di » ogni teoria fosse un enunciato matematico, l'ultima parola » una formola... Non si sgomentino dunque i giovani per le » difficoltà dei loro studi; più difficili saranno le prove che » voi sosterrate in questo giovevole e simpatico periodo della » vostra vita e maggior vigore voi ne trarrete per affrontare » gli ardui problemi che la scienza e la pratica vi riservano » in avvenire ».

Passando ora ai pratici poco fidenti delle nostre teorie, chi vi parla ricorda l'impressione ricevuta quando, avendo completata la costruzione di una non piccola casa signorile di reddito, ebbe ad invitare un suo eminente maestro, ed ora affettuoso collega, a visitarla, e a dargliene un giudizio che sarebbe stato preziosissimo per analoghe circostanze in avvenire. Fermando l'attenzione sullo spessore dei ballatoi in gneiss e sulle dimensioni dei modiglioni in granito, il visitatore fece significativa allusione alla generosità del proprie-

tario, che non aveva lesinato sul costo dell'edificio; questo consiglio di non giungere nella visita sino al sottotetto, perchè le dimensioni dei travi dei tetti, quelle delle *poutrelles* dei solai e delle volte, come quelle delle lastre, dei modiglioni dei ballatoi e dei balconi, come ogni dimensione che un calcolo di stabilità avesse potuto suggerire, erano state appunto calcolate secondo i dettami della meccanica delle costruzioni, giungendo talvolta a risultati che il senso comune, non per ciò sempre buono, avrebbe giudicato eccessivi. Eppure non erano forse trascorsi sei mesi dal giorno di quella visita e mi toccava di dover giudicare della stabilità di un ballatoio rovinato, travolgendo seco più persone, e venivasi a trovare che le nostre teorie riescivano a spiegare il disastro, ed applicate lo avrebbero molto probabilmente potuto prevenire ed evitare.

Non v'ha dubbio: nonostante il meraviglioso complesso delle sue teorie che ce la mostrano così rapidamente progredita in questi ultimi anni, la scienza delle costruzioni nel suo attuale organismo può paragonarsi ad un rilievo topografico appoggiato esclusivamente ad una poligonale di molti lati, per stabilire la quale siasi partito da un primo lato di base misurato con strumenti e metodi degni della migliore fiducia, definito in posizione col debito collegamento ad una buona rete trigonometrica, ma per cui pochi e talora incerti riferimenti di controllo sieno stati possibili da altri vertici, in causa di enormi difficoltà di esecuzione. Ad ogni nuovo vertice, ad ogni nuovo lato si aggiungono nuove cause di errore, e va man mano diminuendo la fiducia sulle parti del rilievo che sono appoggiate ai vertici ed ai lati più lontani dai primi. Ma questo paragone è ben altro che irriverente per la scienza delle costruzioni. Quale mai scienza tecnica, che ad applicazioni pratiche e perciò a risultati numerici ben definiti deve approdare, a cui tocca per conseguenza conservare il carattere essenziale di scienza sperimentale, non ha bisogno di poter sempre meglio rivolgersi all'esperienza per conseguire ciò che corrisponde ad efficaci misure di controllo lungo il tracciamento di quella poligonale che ci ha servito nel paragone?

Mi piace qui riportare un brano della Monografia che l'illustre Dwelshauvers Déry (1) comunicava al Congresso di Meccanica applicata del 1900 intorno al Laboratorio di Meccanica dell'Università di Liegi, da lui diretto con tanto vantaggio per l'Ingegneria: « La macchina del Laboratorio serve » a colmare quell'abisso che Poncelet, il padre della meccanica, ha segnalato esistere fra la meccanica astratta dei » corpi sprovvisti di proprietà fisiche e la meccanica applicata ai corpi reali, dotati di un'anima, di forze interne, » tendenti a conservare la loro forma e figura, resistendo » alle forze esterne che agiscono per alterarli, in una parola, » dotati di una energia interna, d'un carattere proprio, che » manifestasi sempre a detrimento dell'energia che l'uomo » pone per sottomettere questi corpi alla sua volontà. I corpi » di cui noi facciamo i pezzi delle nostre macchine, hanno » un'anima, un'anima senza dubbio differente da quella degli » organismi animali, ma non perciò più invisibile e com'essa » manifestante la sua esistenza mediante fatti e fenomeni » innegabili... L'introduzione dell'esistenza dell'anima dei » pezzi di una macchina, nello studio dei loro movimenti, » porta talvolta profonde modificazioni nell'applicazione e » nelle conclusioni dei principii della meccanica astratta, che » non considera i corpi che quali solidi geometrici sprovvisti » di qualità fisiche, di anima. La grandezza, l'importanza » di tali modificazioni non possono essere messe in rilievo

(1) R. Università di Palermo. — Discorso inaugurale dell'anno accademico 1901-1902.

(1) DWELSHAUVERS-DÉRY, Le Laboratoire de Mécanique de Liège. — *Congrès International de Mécanique appliquée à Paris*. — Paris, Dunod, 1901.

» dalla teoria; occorre l'esperienza; bisogna che i pezzi di
 » macchine siano sollecitati per esplicitare le loro resistenze
 » e svelare la loro anima; bisogna che le macchine vivano
 » e siano studiate mentre funzionano; bisogna che la mac-
 » china cammini davanti gli occhi di chi vuole studiarne la
 » fisiologia e non soltanto l'anatomia.

« Così per aver trattato il metallo dei nostri cilindri a
 » vapore come un corpo geometrico sprovvisto della proprietà
 » fisica di essere sensibile al calore, la teoria astratta della
 » macchina a vapore si mise in flagrante contraddizione coi
 » fatti d'esperienza. Hirn lo provò ed al pari di Poncelet ha
 » indicato un abisso da colmare ed i materiali da colmarlo:
 » l'esperienza ».

Nel significato attribuito dal Dwlshauvers-Déry alla parola anima, anche le strutture dei solai, delle tettoie, dei ponti, ecc., hanno un'anima, in quanto le loro varie parti si aiutano mutuamente, senza che a noi torni possibile analizzarne matematicamente il modo. E ce lo dicono talune delle esperienze del Rabut e le ormai innumerevoli esperienze su costruzioni complete, ove, per dirla col Rabut, tutte le diverse cause influenti sulla resistenza del complesso non possono essersi dimenticate di agire ciascuna per la parte che le spetta. Ed è appunto lo studio sperimentale sopra le costruzioni, mentre in servizio faticano sotto i carichi loro destinati, quello che occorre alla scienza delle costruzioni, perchè buona fiducia si abbia delle sue formole, dei suoi teoremi, delle sue norme. E tale studio deve essere indirizzato a scoprire quante più verità sia possibile, sì da essere in grado, magari provvisoriamente per via empirica, di stimare l'importanza di quegli errori che le teorie attuali non possono non generare. Non solo operando su dei campioni di materiale, ma sulle costruzioni compiute dobbiamo augurare alla scienza delle costruzioni che aumentino di numero i Bidone, i Prony, i Morin, i Bazin, salvo ad attendere i Bresse, i Boussinesq che riescano ad analizzare matematicamente i fatti constatati sperimentalmente. E non a caso ho accennato a cultori di idraulica, di questo ramo della meccanica applicata che forse più d'ogni altro è costretto, per le sue teorie, ad assumere ipotesi che si direbbero grossolane, ma che pure con le sue formole di frequente giunge a gradi insperati di approssimazione, e questo appunto per l'opera paziente e sagace dei numerosi sperimentatori, che dai fatti vanno deducendo per condizioni svariatissime i valori dei coefficienti di correzione da introdursi nelle formole teoriche.

Nessuno però vorrà affermare sufficienti le solite esperienze di misura delle frecce elastiche. Intanto nella determinazione di tali frecce mercè il calcolo teorico pel confronto coi risultati dell'esperienza, ancora persistono le influenze delle ipotesi semplificative. E, per altro, tutte queste influenze insieme si sovrappongono, si complicano così in quell'unico elemento che si misura, da compensarsi in parte ed anche elidersi con danno per la diagnosi che vuoi eseguire. Non senza riserva si può dar torto a quei tecnici che annettono poca importanza alla misura di qualche freccia elastica per la collaudazione di un'opera metallica, tanto più che la durata dell'esperienza, insieme con le variazioni della temperatura ambiente, disturbano sensibilmente l'esperienza, non sempre eseguita in condizioni favorevoli di tempo e di luogo.

Già il Castigliano, cui la meccanica delle costruzioni deve molto del suo recente progresso nel campo teorico, implicitamente affermava la necessità di misurare le tensioni interne realmente provocate nel materiale dal quale sono costituite le costruzioni, quando immaginava il suo micrometro moltiplicatore (1). Questo micrometro andò ben presto in di-

suso per certi suoi difetti gravi, derivanti sia dalla sua eccessiva lunghezza e sia dal modo di sua applicazione, congiunti fors'anco a ciò che le esperienze già eseguite cominciavano a rivelare non trascurabili discrepanze fra i calcoli ordinari e la realtà, perchè in esse finivasi per stimare la somma degli sforzi principali insieme con quelli così detti secondari, il che, almeno in Italia, agli interessati non senza ragione non pareva giusto di assumere per base del giudizio di collaudo. Vennero in seguito immaginati gli apparecchi dell'Askenasy, del Frankel, del Trau ed analoghi; e, per vero, con essi molte esperienze importanti si fecero. Ricordiamo quelle grandiose sopra le vòlte e sopra gli archi in muratura ed in metallo fatte per iniziativa della Società degli Ingegneri Austriaci, partendo da luci di circa un metro e giungendo a luci di circa 30 m. Ma di norma si tratta soltanto di misure di frecce elastiche o di linee di deformazione totale.

Avere coltivato lo studio degli strumenti di misura delle deformazioni totali, lineari ed angolari e delle deformazioni locali, epperò degli sforzi interni delle strutture resistenti; l'essere giunto a far guadagnare a questi strumenti fiducia maggiore di quello che il micrometro di Castigliano meritasse, pure non complicandone le manovre d'impiego; l'aver con tali strumenti eseguite misure sistematicamente condotte, deducendone nuove regole, empiriche se vogliamo, ma conformi ai dettami dell'esperienza; l'aver coraggiosamente resi pubblici i risultati di tali studi sperimentali, per quanto discordassero da quelli che i calcoli attualmente accettati forniscono, ci pare merito non piccolo della nuova Scuola francese, che fa capo a Rabut, Scuola di cui potremmo vantare l'origine italiana, se fra noi più decisamente fossero state seguite le orme del Castigliano.

*

Riterrei di avere inutilmente distolto i miei uditori dalle loro consuete occupazioni in quest'ora, se qui dovessi porre termine al mio discorrere; epperò prego di conservarmi la loro cortese attenzione, perchè io possa accennare a taluni dubbi, la cui soluzione richiede appunto il dibattito fra le persone competenti.

Mi mancano gli elementi necessari per decidere della attendibilità delle ipotesi fatte nei calcoli i cui risultati vennero paragonati con quelli delle esperienze del Rabut. Sarebbe certo interessante l'indagare se effettivamente fra gli sforzi secondari noi classificheremmo quelli non calcolati pel ponte sull'Emme, o per ponti analoghi con travi a graticcio; se questi ponti non presentavano speciali anomalie di costruzione per cui taluni dei fatti constatati perderebbero il carattere di fatti nuovi; quali elementi abbiano convinto della eccezionale efficacia dell'azione di solidarietà fra gli archi del ponte di Asnières; se gli archi del viadotto di Eauplet furono calcolati tenendo conto della solidarietà loro coi longaroni e coi timpani, come ora faremmo senza che perciò ci si rimproverasse di impiantare e sviluppare calcoli fuori del comune; se l'inerzia dei pezzi costituenti gli apparecchi adoperati non esagerava nella registrazione gli effetti dinamici, ecc., ecc.

Se difficili sono i procedimenti teorici, pieno di insidie è il metodo sperimentale, epperò non senza prudenti riserve dobbiamo accettare le conclusioni del Rabut. Ma nelle condizioni mie attuali non sarebbe seria una critica al riguardo. Certo è che la posizione del prof. Rabut, l'accoglienza da lui ricevuta in seno al Congresso di Parigi, la larghezza dei mezzi che risultano a sua disposizione, l'importanza attribuita alle sue conclusioni, grande tanto da influire sulla conservazione in servizio su arterie di traffico intensissimo, di manufatti condannati dalla teoria, tutto concorrerebbe ad attribuire autorità alla parola del Rabut.

(1) A. CASTIGLIANO, *Manuale dell'Ingegnere*, Parte IV. — A. F. Negro, Torino.

Ma quand'anche una coscienzosa critica delle esperienze in discorso fosse per apportare modificazioni alle asserzioni dedottene, non perciò cesserebbero di stare le argomentazioni nostre, nè perderebbero di valore le considerazioni che ora faremo.

Sulla necessità di richiedere continuamente all'esperienza il controllo delle nostre teorie nessuno ha mai dubitato, e che gli strumenti attuali di misura riescano meglio adatti alla prova sperimentale sintetica dei manufatti non possiamo non credere, e del resto sempre più essi verranno a perfezionarsi se più ampiamente saranno applicati, specie dagli ingegneri professionisti. Accettata la distinzione tra sforzi principali (quelli che la teoria usuale riesce a determinare) e sforzi secondari (quelli che il Dwelshauvers-Déry direbbe l'esplicazione delle strutture resistenti), non v'ha dubbio che un razionale coordinamento dei risultati di molte esperienze riuscirà a poco a poco a far passare un numero sempre maggiore di tali sforzi dalla categoria dei secondari a quella dei principali, o perchè la scienza giunga ad analizzarli con formule razionali o perchè invece essa si ritenga in possibilità di compendiarli in formule empiriche.

Ora notiamo che l'ingegnere progettante, non quegli che ha l'agio di occuparsi della formulazione di nuove regole scientifiche o tecniche, ma quegli che continuamente e ben sovente senza porre indugio deve scendere a fissare le dimensioni delle varie parti di una costruzione, si limita a calcolare, a stimare gli sforzi principali, e dei secondari tiene conto a criterio mantenendo i carichi di sicurezza notevolmente minori dei carichi nocivi, anche solo perchè capaci di ingenerare snervamenti o deformazioni permanenti. Ma con ciò è a lui lasciata una non logica arbitrarietà, nè è detto che a tale arbitrarietà possano ragionevolmente porre limite i regolamenti che vanno formulandosi dalle autorità tutorie.

Invero non sembra logico che tali regolamenti stabiliscano quali sforzi devono come secondari trascurarsi nel valutare le tensioni unitarie massime da paragonarsi ai prestabiliti carichi di sicurezza, mentre questi sforzi detti secondari hanno importanza variabilissima da caso a caso e secondo l'abilità dell'ingegnere che progetta e secondo le circostanze che a questi si impongono. Per altro a chi progetta potrebbesi ragionevolmente imporre l'onere di calcoli faticosissimi, di cui neppure conosciamo il grado di approssimazione, quali richiederebbe la valutazione a priori degli sforzi secondari? Si crede, p. es., giusto che si pretenda dall'ingegnere progettante che determini gli sforzi dovuti ad eccentricità inevitabili ed alla rigidità dei collegamenti ai nodi di una trave reticolare, ovvero le azioni dinamiche provocate sulle travi secondarie d'un ponte metallico per ferrovia dalla presenza dei giunti dell'armamento, da probabili appiattimenti della superficie rotolante dei cerchioni, sforzi ed azioni che pure le esperienze del Rabut direbbero tutt'altro che secondarie? Il confine giusto fra sforzi primari e sforzi secondari non è così nettamente stabilito nè determinabile da sopprimere ogni controversia fra chi costruisce e chi riceve in consegna un'opera d'arte, una costruzione, la cui funzione principale sia quella di resistere ai carichi di cui verrà gravato. La confusione fra calcolo approssimato e calcolo semplificato può così portarci a dubbj ben gravi quando si tratti di verificare la resistenza di una costruzione eseguita, onde possa conseguirne l'accettazione od il rifiuto dell'opera, o la sua demolizione, ovvero la applicazione di rinforzi costosi, non sempre sufficienti e pur sempre urtanti l'amor proprio di una delle parti in contraddittorio.

Per condannare un'opera d'arte od imperre dei rinforzi sono davvero sufficienti i risultati di un calcolo che non tiene conto di talune circostanze per cui le tensioni massime risulterebbero minori? Per altro nessuno consiglierebbe di

aprire al transito un ponte le cui membrature corrispondono bensì ai risultati di un tale calcolo, ma per la insufficienza di taluni suoi organi considerati di puro ordine costruttivo, e pure aventi l'ufficio di infondere un'anima a tutta la struttura resistente, si sente essere improbabile che le varie membrature agiscano come furono considerate nel calcolo di stabilità. E' giusto, legalmente parlando, in tali casi procedere a calcoli di sforzi cosiddetti secondari, calcoli che la generalità non suole istituire, per provare la non collaudabilità dell'opera, ovvero per attribuire al costruttore, all'ingegnere la responsabilità di un disastro? E per altro non è follia, più che audacia, nei casi in cui si dubiti della stabilità dell'opera, nonostante i risultati favorevoli degli ordinari calcoli di stabilità, procedere alle prove di sovracarico massimo prescritte dal capitolato, con evidente pericolo di rovinare un'opera che mercè la considerazione degli sforzi secondari potrebbesi con lievi ritocchi sufficientemente rinforzare?

Chi vi parla si è trovato più volte in simili dubbj e per avere prudentemente voluto decidere della non accettabilità di un'opera e della necessità di rinforzi basandosi anche sulla concomitanza degli sforzi cosiddetti principali e di quegli sforzi secondari che gli riusciva di portare in conto, rifiutando di passare alle esperienze di sovracarico, venne tassato di eccessivamente severo e peggio di ingiusto. Eppure a lui è pur anche capitato di poter dimostrare come la rovina di certe altre costruzioni all'atto della loro prova di collaudo era dovuta appunto al non avere considerato l'effetto di tali sforzi secondari.

*

Ma sono questi tutti quesiti di indole giuridica, che volentieri vedrei discussi da chi può vantare maggiore competenza; veniamo ad altri di indole economica. Se trascuriamo gli sforzi secondari e perciò in certo qual modo facciamo astrazione dall'esistenza di quel che abbiamo detto l'anima della struttura resistente, non siamo con ciò portati ad uno sciupio di materiale, ben soventi dannoso oltre all'economia, all'armonica stabilità dell'opera? Dopo le esperienze del Rabut, quando di esse fossimo ben convinti dopo un esame coscienzioso della loro attendibilità, perchè non dovremmo tener conto, p. es., della legge del Dupuy a risparmio di materiale od almeno ottenendo un tutto più armonico, più prossimo alla condizione della uniforme resistenza? Perchè astrarre dalle azioni dinamiche, mentre un loro studio sommario, sia pure sperimentale, ne suggerirebbe semplicissimi spedienti atti ad attenuarne, magari ad eliderne gli effetti, con economia dell'opera? Starei per domandare: perchè nel calcolo di un solaio a voltine su travi in ferro astragghiamo dal sollievo che ai ferri viene portato dalla resistenza concomitante dei voltini quando questi sono sollecitati ad inflettersi con quelli, pure essendo notorio che tale sollievo non deve essere di importanza trascurabile, giudicando non fosse altro dalle esigue dimensioni delle travi adoperate da chi costruisce senza fare calcoli di stabilità, com'è di uso pressochè generale nelle costruzioni civili? Ma se non posso dar torto al Rabut circa la decisione presa pel tunnel di piazza Pereire a Parigi, dov'egli aveva la prova materiale che i voltini, costruiti a dovere e con buon cemento, tale azione ausiliare esercitavano in modo veramente efficace, non posso turare le orecchie all'osservazione fattami da chi mi fu amoroso fratello nella professione, che mi accenna alle cadute di solai di voltine su ferri avvenute per l'insufficienza delle travi ed il mancato ausilio dei voltini, più numerose di quanto risulti solo perchè, non avendo cagionato lesioni a persone, non vengono resi pubblici. Ei pure mi fa notare il numero anche maggiore di quegli altri solai che, se non caddero, hanno ceduto, rovinando e soffitti e decorazioni, e giustamente mi osserva che quest'anima del solaio, per la quale voltine e

ferri cooperano, si esplica essenzialmente per virtù del materiale cementizio, epperò non sempre abbastanza presto per essere computato a favore della costruzione e può anche venire a mancare per cause puramente accidentali e non improbabili, come, p. es., il trapelamento di acque per un qualunque rubinetto lasciato aperto per caso, essendo il materiale cementizio soggetto a deteriorare per l'umidità, di gesso o malta bastarda di calce e gesso, pur così di frequente adoperati nelle costruzioni civili.

Comunque è certo che la trascuranza di questa solidarietà fra le varie parti costituenti una costruzione porta ad un abuso della frase: « operando in favore della stabilità », che può nuocere talvolta sensibilmente all'economia dell'opera.

E qui spontaneo si rivolge il mio pensiero alla concorrenza sempre più grande che le costruzioni metalliche soffrono da quelle in cemento armato, o béton, o siderocemento che dir si voglia, concorrenza che dobbiamo dire vantaggiosa per chi eseguisce, giudicando dal rapido arricchire di chi riesce a sfruttare taluni fortunati brevetti, ed altresì vantaggiosa per chi ne fa le spese, nonostante fra queste spese non sieno trascurabili quelle di premio dell'invenzione. In queste costruzioni modernissime, nelle quali all'azione secolare che, costipandole, attribui alle pietre naturali tanta resistenza a pressione, diamo la preferenza a quella certamente molto meno efficace perchè ottenuta artificialmente sul béton, e questo per vantaggiare in mano d'opera, in queste costruzioni modernissime l'anima deve essenzialmente attribuirsi alla concomitanza di resistenza fra il béton ed il ferro di armatura. E di quest'anima, di questa solidarietà i costruttori in cemento armato si valgono ad oltranza, fors'anco in misura che taluno potrebbe dire audace. Invero, pur non insistendo circa la mancata aderenza fra ferro e cemento che taluni disastri hanno rivelato e che potrebbe addebitarsi a cause puramente occasionali, è pur certo che tale solidarietà è dovuta ad alcuni spedienti che tecnici valenti e fortunati hanno immaginato per puro intuito, senza ricorrere ad una analisi teorica che era ed è, credo, ancora impossibile. Mentre intorno alle opere metalliche dei tipi più usuali, abbiamo ampie teorie intese a determinarne ogni qualunque anche secondaria dimensione, ed abbiamo dovizia di esempi e di esperienze circa le proprietà elastiche del metallo adoperato, intorno al siderocemento non possiamo ancora dire di avere una teoria soddisfacente, e nemmeno di conoscere con sicurezza il rapporto fra le costanti elastiche del metallo e quelle dello impasto costituente il béton, rapporto la cui conoscenza deve essere indispensabile trattandosi di struttura eterogenea. Se questa affermazione parrà troppo cruda a chi si occupa delle teorie intorno al siderocemento, mi correggerò facendo notare che almeno le costruzioni in siderocemento avevano già preso voga immensa prima che se ne avesse una teoria soddisfacente e conoscenza precisa delle proprietà del materiale, mentre poi non è entrata nella pratica la prudenziale usanza di provare la resistenza dei materiali da adoperarsi, come avviene per le costruzioni metalliche. Le costruzioni in cemento armato vengono ancora pressochè esclusivamente calcolate dietro regole pratiche, che se non hanno la nobile origine per via teorica da considerazioni intorno alle proprietà elastiche dei materiali componenti, vorrebbero tradurre le risultanze di esperienze, all'atto delle quali quella certa anima dovette esplicarsi; ed il loro collaudo viene fatto con esperienze dove pure inevitabilmente quest'anima si esplica. Nelle costruzioni in metallo invece l'applicazione delle nostre teorie ci porta ad astrarre in tutto od in parte dall'esistenza di quest'anima, onde le condizioni sommatamente migliori di concorrenza del siderocemento trovano potente ragione d'essere. Ma ciò può dirsi corrisponda per-

fettamente a quella condizione di prudenza cui deve pure attenersi rigorosamente l'ingegnere costruttore?

Davanti ai meravigliosi risultati che giorno per giorno ottengono col siderocemento, chi qualche lustro spera ancora di vivere nella professione di ingegnere volentieri si astiene dal rispondere. Ma chi, per convinzione acquisita studiando ed insieme lavorando in contatto con la pratica, non crede di ammettere la preminenza dell'empirismo sulla scienza, può ben desiderare che mentre da un lato le nuove costruzioni possano venire matematicamente analizzate nel loro modo di resistere, dall'altro lato la scienza delle costruzioni, mercè il valido aiuto di ben coordinate e numerose esperienze sulle strutture d'ogni specie, riesca a spostare sempre più rapidamente quella fittizia barriera fra azioni primarie ed azioni secondarie, sicchè ne sia lecito di maggiormente avvicinare i carichi di sicurezza ai cosiddetti carichi al limite di elasticità con vantaggio economico e con miglioramento delle condizioni dei manufatti, resi più armonicamente resistenti.

Mi sarà quindi lecito di affermare che un più efficace indirizzo sperimentale della scienza delle costruzioni, quale con certa fortuna è seguito dalla Scuola che fa capo al Rabut, urge venga seguito dai tecnici tutti che ne avranno occasione, e che è da augurarsi vengano pubblicati i risultati delle varie esperienze a renderne possibili il controllo ed il coordinamento. Tale indirizzo sarà in special modo utilmente seguito nei casi in cui si tratti di revisione di manufatti, come capita per quelli ferroviari dove l'aumentato traffico richiede più pesanti locomotive e veicoli, e nei casi in cui si renda evidente la necessità di rinforzi, che converrà allora introdurre per prova in qualche manufatto o su speciali modelli, salvo ad estenderli ad altri manufatti dopo la verifica sperimentale della loro efficacia. E ciò a chi sa verificare le teorie permetterà di venire in aiuto coi suggerimenti dei fatti reali, delle manifestazioni dell'esperienza, meglio che con quelli delle persone ragionanti per puro intuito, non sempre disinteressate od almeno non sempre provate come tali.

E non a torto nei nostri Istituti di meccanica applicata, accanto alle macchine di saggio dei materiali, accanto agli *spiegelapparate* che con la sensibilità del decimillesimo di millimetro giungono a misurare l'accorciamento che soffre un cubo di pietra di pochi centimetri di lato per pressioni totali di qualche quintale metrico, accanto ai dinamometri ed ergometri e freni ed indicatori che si buon servizio rendono alla meccanica applicata alle macchine, vorremmo vedere buon numero di cotali strumenti di misura per lo studio sperimentale, direi sintetico, delle costruzioni. E questi strumenti, come quegli altri dovrebbero essere con le volute cautele lasciati a disposizione di quegli ingegneri cui nell'esercizio di loro professione si presenti l'occasione di tali studi sperimentali, ad affrettare il raggiungimento di quell'ideale per cui scompaia l'ancora troppo sentito distacco fra la scuola e la pratica, sicchè con gli insegnanti delle nostre scuole di ingegneria collaborino gli stessi allievi nella ricerca del vero con le loro forze giovani, epperò audaci e ben sovente fortunate, perchè ancor scevre di pregiudizi; il che d'altronde non è nuovo, perchè già avviene in molti altri Istituti universitari.

Palermo, 15 dicembre 1901.

Ing. ELIA OVAZZA.

ELETTRICITÀ E SUE APPLICAZIONI

L'INDUSTRIA IN ITALIA
DELLE MACCHINE ED APPARECCHI ELETTRICI

(Continuazione)

III. — APPARECCHI PER MISURE ELETTRICHE E MAGNETICHE.

La produzione industriale di questi apparecchi, se non è così progredita come all'estero, è però abbastanza avanzata per assicurarci che fra non molto potrà soddisfare completamente alle esigenze del mercato italiano, eliminando la concorrenza straniera. Fra le più note Case costruttrici nazionali di apparecchi per misure elettriche e magnetiche sono da annoverarsi l'Opificio Allemano di Torino, il Tecnomasio italiano e la Ditta Grimoldi di Milano, l'Officina Galileo e quella dell'Ing. Santarelli di Firenze e la Ditta Ing. Camillo Olivetti d'Ivrea, l'unica che prese parte all'Esposizione di Parigi. In questa però notavasi anche la collezione degli apparecchi che l'ingegnere Riccardo Arnò, professore d'Elettrotecnica nel R. Istituto Tecnico Superiore di Milano, ideò e fece costruire per proprio conto da diversi costruttori italiani. Non potendo passare in rassegna i principali strumenti elettrici e magnetici di carattere industriale che si costruiscono nelle summenzionate Case, mi limito a fare un breve cenno di quelli della Ditta Olivetti e di quelli esposti a Parigi dall'ingegnere Arnò.

Ditta Ing. Camillo Olivetti. — Conta pochi anni di vita e si occupa della costruzione di strumenti elettrici di misura scientifici ed industriali. L'officina di cui dispone, costruita appositamente per questo scopo, non è molto ampia, ma è capace già di una discreta potenzialità di costruzione. È fornita d'una buona serie di macchine di precisione, in gran parte delle migliori Case costruttrici americane, e di ottimi apparecchi di controllo, ed è organizzata con criteri affatto moderni. Il sistema di lavorazione adottato è quello a calibri ed a parti permutabili, per modo che si rende facile e poco costosa la eventuale riparazione degli strumenti, ottenibile nel maggior numero dei casi col semplice ricambio del pezzo guasto.

Gli strumenti elettrici costruiti da questa Ditta non sono molti e, salvo alcuni, per bontà non sono inferiori a' simili costruiti dalle Case estere. Fra essi sono più notevoli gli amperometri ed i voltometri termici, detti anche a *filo caldo*.

È noto che in tutti gli apparecchi termici di misura, oggi in uso, si usufruisce dell'allungamento subito da un filo conduttore, quando è attraversato da una corrente elettrica di qualsiasi natura, per avere indicazioni dell'intensità o tensione di essa, facilmente leggibili su di una scala graduata con l'aiuto di un indice mosso da uno speciale organo meccanico, che moltiplica in modo opportuno l'allungamento del filo stesso. Con l'estendersi delle applicazioni delle correnti alternate questi apparecchi hanno avuto un impiego sempre più crescente per alcuni vantaggi che presentano rispetto ad altri, ed oggidì sono generalmente adottati.

Innanzi tutto essi possono servire sia per correnti continue, sia per correnti alternate, imperocché l'allungamento del filo non dipende dalla natura, nè dalla forma di esse. In secondo luogo sono indipendenti da qualunque azione di campi magnetici esterni, non usufruendosi in essi di nessuna proprietà magnetica. Inoltre possono rendersi affatto aperiodici, senza che risentino alterazioni di sorta nel loro

funzionamento, per mezzo di spegnimento dovuto all'effetto di Faraday, che però non è necessario negli amperometri, perchè il filo di sezione piuttosto grande si riscalda gradatamente e quindi l'indice si sposta con lentezza e senza oscillazioni.

Ma gli strumenti elettrici a filo caldo non sono esenti di difetti e, se non si fosse riuscito ad attenuarne l'importanza, non avrebbero di certo avuto quella diffusione che hanno.

Un primo inconveniente, ed è il più grave, sta nell'enorme consumo di energia che richiedono. Per diminuirlo bisognerebbe negli amperometri impiegare fili di piccola resistenza elettrica specifica, corti e grossi, e ne' voltometri invece fili di grande resistenza elettrica specifica, lunghi e sottili. Ma nel caso degli amperometri non si può diminuire al di là di un certo limite la lunghezza del filo, perchè gli allungamenti di esso sarebbero troppo esigui; non se ne può accrescere enormemente la sezione, perchè le indicazioni dello strumento potrebbero avere un certo grado di esattezza soltanto dopo un certo tempo dall'istante in cui la corrente ha cominciato ad attraversarlo; non si può prescegliere un filo di un metallo di piccola resistenza elettrica specifica, perchè questo, avendo sempre grande coefficiente di temperatura, risentirebbe troppo facilmente gli sbalzi della temperatura esterna, che si tradurrebbero in una influenza sulle indicazioni dell'apparecchio. Nel caso de' voltometri vi è poi sempre un limite di sottigliezza del filo al di là del quale esso diventa tanto debole da rompersi facilmente. Segue da ciò che il consumo d'energia in questi strumenti vi sarà sempre e si potrà ridurre soltanto con disposizioni speciali le quali soddisfino nel miglior modo possibile a tutte le diverse condizioni richieste.

Altro difetto è la disuniformità della scala prodotta dall'essere l'energia elettrica, che trasformata in calore nel filo per effetto Joule ne provoca l'allungamento, proporzionale al quadrato dell'intensità della corrente. La scala perciò si allarga man mano che si avvicina alla fine. Inoltre tali apparecchi non possono sopportare correnti superiori a quelle per cui sono tarati, e non sono strumenti di assoluta precisione.

Questi due ultimi difetti però non sono gravi, imperocché gli strumenti di misura in genere non sono fatti per sopportare corti circuiti, e possono sempre munirsi di speciali congegni di sicurezza, ed inoltre questi apparecchi termici, dovendo in pratica essere messi ne' quadri delle stazioni elettriche, non cessano di essere ugualmente pregevoli anche se le loro indicazioni sono affette da qualche errore di tenuissima importanza pratica.

Ma la Ditta Olivetti dopo pazienti studi e ripetute prove è finalmente riuscita a perfezionare la costruzione di essi scegliendo fili adatti, curando in modo speciale la costruzione dell'organo meccanico moltiplicatore dell'allungamento del filo ed attenuando sensibilmente i difetti di cui ho fatto cenno.

Fili conduttori che soddisfino in modo completo a tutte le condizioni suesposte nello stato attuale della tecnica non si sanno fabbricare, e forse non si sapranno neppure fabbricare in avvenire; perciò si presenta assai laboriosa la ricerca di quelli che sono da preferirsi, possedendo alcuni i requisiti di cui altri sono privi, e viceversa. La Ditta Olivetti ha adottato fili di una lega di platino ed argento (precisamente composta di 2 parti di argento e 1 di platino) che presentano un alto coefficiente di dilatazione lineare, un piccolo coefficiente di temperatura, una grande resistenza meccanica, nonchè una resistività pure grande, e sono inalterabili ed inossidabili a temperature piuttosto elevate.

Il congegno meccanico moltiplicatore impiegato è quello ideato dall'ingegnere Arcioni che, insieme con l'ingegnere Olivetti, dirige la parte tecnica dell'officina. Poichè è ingegnoso e molto efficace credo utile di descriverlo.

Consta di un'asta rigida NC (fig. 180) girevole in N e collegata ad una molla m mediante il filo CM che si avvolge sulla puleggetta P , cui è solidale l'indice I . Poco al disotto di N , all'asta è fissato uno de' capi del filo teso BD che dev'essere percorso dalla corrente, mentre l'altro capo D è fisso. Finchè esso conserva la sua lunghezza, la sua tensione equilibra quella della molla, ma, quando si allunga, l'asta NC ruota trascinando la puleggetta P , che fa ruotare

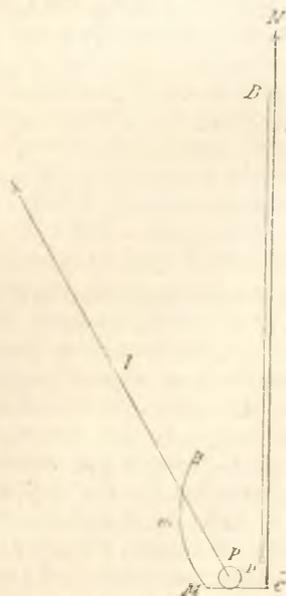


Fig. 180.

a sua volta l'indice I . È facile convincersi come con tali disposizioni un piccolissimo allungamento del filo è sufficiente per imprimere all'indice una grande rotazione.

Siano infatti, in grazia dell'allungamento subito dal filo al passaggio della corrente, NC' (fig. 181) la nuova posizione dell'asta NC e $B'D$ quella del filo. S'innalzi da B la normale BB'' a BD e si congiunga B con B' .

Essendo l'angolo BDB' piccolissimo, si può ritenere con sufficiente approssimazione che l'allungamento del filo sia $B''B'$ e che:

$$BB' = \frac{B'B''}{\text{sen } B'BB''}$$

od anche:

$$BB' = \frac{B'B''}{\text{sen } BDB'}$$

Da quest'ultima relazione si deduce subito, atteso la piccolezza dell'angolo BDB' , che, pur essendo piccolissimi i valori di $B'B''$, può BB' assumere valori grandissimi, cui corrispondano grandi valori dell'angolo $C'NC$, ossia grandi spostamenti dell'estremo C dell'asta NC , trasmessi poi ancora ampliati all'indice I dalla puleggetta P . Negli apparecchi della Ditta Olivetti, un allungamento del filo di appena $\frac{43}{1000}$ di mm. dà luogo ad uno spostamento della punta dell'indice di 153 mm.

Con disposizioni del pari ingegnose questa Ditta ha ottenuto, come ho già accennato, di ridurre il consumo di energia, che è alquanto minore di quello de' consimili apparecchi costruiti da Case estere.

Scelto il diametro del filo per gli amperometri in modo che si possano avere indicazioni sufficientemente rapide, ricorre al seguente artificio per diminuirne la resistenza elettrica, senz'aumentarne la sezione e diminuirne la lunghezza.

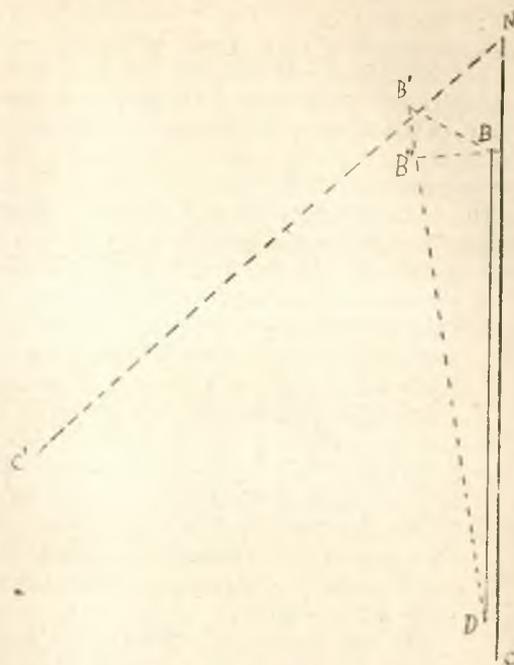


Fig. 181.

Divide il filo che dev'essere percorso dalla corrente in un certo numero di tratti e, mediante conduttori flessibili di piccolissima resistenza elettrica, collega alternativamente gli estremi di questi tratti con altri due conduttori, pure di piccola resistenza elettrica, terminanti a due morsetti.

Se s'indicano con n il numero di questi tratti e con R ed R' rispettivamente le resistenze del filo quando non è collegato co' conduttori e quando invece lo è, e si trascurano le resistenze di questi ultimi, è ovvio che risulta:

$$R' = \frac{R}{n^2}$$

Posto, come d'ordinario fa la Ditta nel caso di amperometri per correnti d'intensità superiore a 5 ampère,

$$n = 4$$

si ha:

$$R' = \frac{R}{16}$$

In questi amperometri cioè il filo è elettricamente diviso in 4 tratti disposti in parallelo e presenta una resistenza 16 volte minore. L'energia consumata nell'interno dello strumento rimane inalterata, è invece divisa per 4 la caduta di potenziale a' morsetti e moltiplicata per lo stesso numero l'intensità di corrente richiesta. In alcuni grandi modelli il filo è suddiviso anche in un numero di tratti maggiore di quattro. In generale ragioni costruttive limitano la suddivisione del filo.

I modelli per intensità di correnti non superiori a' 30 ampère sono muniti di riduttore o *shunt* interno; quelli per intensità maggiori di *shunt* esterno. Impiegando de' riduttori è noto che l'apparecchio non funziona bene se il rapporto della resistenza del riduttore a quella del filo non sia uguale a quello delle rispettive induttanze e non si mantenga inoltre invariato al passaggio della corrente e con le variazioni di temperatura. Ora la Ditta Olivetti raggiunge tale scopo impiegando pe' riduttori metalli che abbiano, al pari de' fili, piccolissimi coefficienti di temperatura.

Con le disposizioni adottate la caduta di tensione non supera 0,25 volt negli amperometri da' 4 a' 100 ampère, ed è invece compresa tra 0,18 e 0,26 negli amperometri per correnti d'intensità maggiore.

Anche pe' voltometri termici essa è riuscita a diminuire il consumo di corrente elettrica che non eccede d'ordinario il decimo d'ampère, quando la tensione non è inferiore ai 50 volt, poichè ha potuto impiegare fili di platino ed argento di $\frac{3}{100}$ di mm. di diametro, che sono meccanicamente debolissimi, mediante il seguente altro artificio pure ideato dal predetto ingegnere Arcioni.

Esso consiste nell'avvolgere il filo caldo su di un sistema di puleggette scanalate di vetro o di porcellana A e B (fig. 182),



Fig. 182.

fissate ne' due punti dove il filo stesso dovrebbe finire, per modo che dalla prima scanalatura della prima puleggetta A passi alla prima dell'altra B, e da questa, dopo aver fatto mezzo giro, alla seconda scanalatura della A per passare alla seconda della B, e così di seguito. I singoli tratti di filo che vanno da una puleggetta all'altra elettricamente sono in serie, meccanicamente in parallelo. La tensione totale essendo ripartita fra i singoli tratti, questi sono sollecitati da una tensione piccola, sufficientemente minore di quella di rottura.

Ma qui è bene rilevare che, se l'apparecchio è destinato per la misura di tensioni alternative, il filo così disposto può offrire al passaggio della corrente anche una resistenza induttiva. Se è innegabile che questa può rendersi piccolissima e quindi trascurabile rispetto alla resistenza ohmica del filo stesso, è però anche chiaro che non si possono, senza alcuna riserva, ritenere le indicazioni dell'apparecchio affatto indipendenti dalla

frequenza della corrente. Può invero accadere che col tempo trovino impiego nelle industrie anche le correnti alternative di frequenza molto superiore a quelle oggi adottate, ed allora certamente tali indicazioni risulteranno tanto più in difetto quanto maggiore è la resistenza induttiva del filo stesso.

La Ditta Olivetti è riuscita anche a provvedere i suoi strumenti di una scala alquanto regolare con lo stesso organo moltiplicatore. Ed ecco come.

Amnesso in linea approssimativa che si possa sostituire al segmento rettilineo $B B'$ un archetto di parabola riferito agli assi coordinati $B D$ e $B'' B$, e che quindi possa sussistere la relazione:

$$B B''^2 = k B' B',$$

ove k è una costante, e ritenuto per la legge di Joule:

$$B' B'' = h i^2,$$

dove con i s'indichi l'intensità della corrente che percorre il filo e con h un'altra costante, si avrebbe senz'altro:

$$B B''^2 = k h i^2,$$

e quindi:

$$B B'' = C i \quad (1)$$

posto:

$$C = \sqrt{k h} = \text{costante.}$$

La relazione (1) mostrerebbe che gli allungamenti del filo sarebbero proporzionali alla intensità i della corrente, e quindi la graduazione della scala risulterebbe uniforme. Ora ciò non è vero in modo assoluto, poichè a questa relazione si è pervenuto per le diverse ipotesi semplificative fatte. Tuttavia si ha ragione di ritenere che la graduazione non può riuscire molto irregolare. Così è difatti, e per $\frac{2}{3}$ si può dire leggermente uniforme.

Come gli altri consimili infine anche questi strumenti termici della Ditta Olivetti non sono di assoluta precisione;

tuttavia hanno spesso un'esattezza di indicazioni del 0,5 % della lettura.

In complesso sono buoni strumenti industriali, e si potrebbero dire anche ottimi, se non richiedessero un lavoro assai laborioso di ricambio de' fili eventualmente rotti o bruciati, e rendessero incomoda alcune volte la lettura delle indicazioni pel velo d'umidità che si depona sulle faccie interne de' vetri delle custodie protettive, dopo che sono stati per qualche tempo inseriti ne' circuiti elettrici.

Una completa serie di essi figurava all'Esposizione di Parigi insieme con altri strumenti di tipo elettromagnetico che la Ditta ha cominciato a costruire già da qualche anno. In questi si trae profitto del fatto che una laminetta di ferro dolce, posta in un campo magnetico, si porta verso i punti dove il campo è più intenso, e si provvede ad uno spegnimento capace di renderlo aperiodico, facendo muovere in uno spazio chiuso la laminetta stessa, di forma costruttivamente molto semplice e ripetibile. Ciò, com'è noto, è un vantaggio capitale per gli strumenti elettrici industriali.

È vero che uno strumento elettromagnetico in genere non è privo di difetti, tra i quali i maggiori derivano dall'isteresi nelle parti di ferro che lo costituiscono; ma essi possono ridursi, costruendolo con criteri non troppo commerciali e soprattutto tecnici. Del resto, da numerose esperienze eseguite su strumenti di questo tipo, sembra che i difetti dovuti all'isteresi del ferro sono più sensibili ne' tipi dove esistono parti in ferro fisse, che non negli altri. Perciò il tipo dell'ing. Hummel, della Casa Schuckert di Norimberga, dove l'organo di ferro è mobile, è sempre da preferirsi.

L'apparecchio elettromagnetico dell'Olivetti ricorda appunto questo tipo e consta essenzialmente di tre parti: del solenoide, dell'organo mobile e del sostegno di questo. Le figure 183, 184 e 185 ne rappresentano rispettivamente un

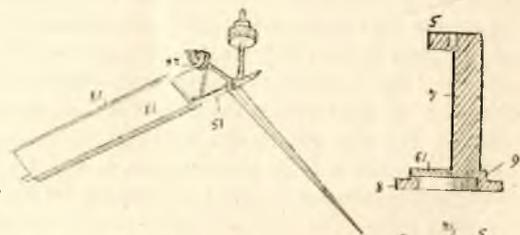


Fig. 183.

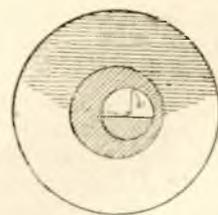


Fig. 184.

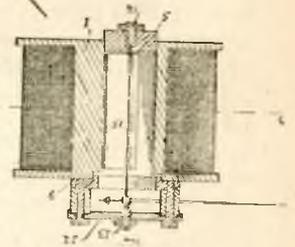


Fig. 185.

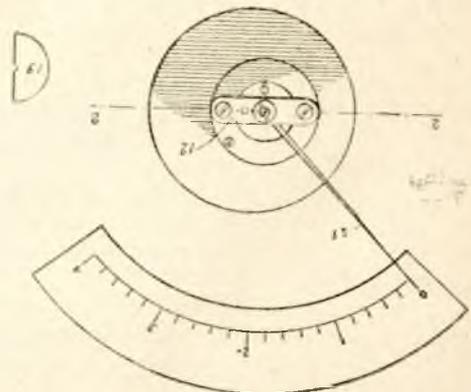


Fig. 186.

Fig. 186.

prospetto, una sezione secondo l'asse dell'organo mobile, ed un'altra trasversalmente ad esso.

Il solenoide, costituito dal necessario numero di spire di filo di rame isolato, è sostenuto da una carcassa metallica, la quale è provvista di bordi alle estremità, ed ha un foro longitudinale cilindrico con l'asse non coincidente con quello del solenoide stesso: la distanza tra gli assi è però di pochi millimetri. Il campo magnetico prodotto dal solenoide quando è percorso da corrente, è piuttosto intenso, essendo il numero di ampère-spire nelle bobine medie circa 800.

L'organo mobile (fig. 186) è formato dalla predetta laminetta di ferro dolce, la quale è piegata ad angolo con sottili risvolte longitudinali ed è assicurata ad un alberello di acciaio con le estremità appuntite. In prossimità d'una di queste porta l'indice che deve scorrere sulla graduazione e ch'è equilibrato da due contrappesi a vite regolabili. Misure varie eseguite hanno dato per le qualità di laminette usate un coefficiente di Steinmetz uguale a 0,00168.

Il sostegno dell'organo mobile (fig. 187) è costituito da un segmento di cilindro di diametro uguale a quello della cavità della carcassa, provvisto ad un estremo di una rosetta piena dello stesso diametro ed all'altro di altra rosetta, ma cava, di minore spessore e di maggior diametro. Esso, introdotto nella cavità della carcassa, vi resta impegnato mediante la rosetta piena, che ottura l'apertura inferiore della cavità medesima e quella cava, che si adagia su apposita sede praticata sulla faccia superiore della carcassa medesima. Per chiudere l'apertura superiore di questa si fa uso di un dischetto di ottone (fig. 188), che lascia appena libero il passaggio all'alberello dell'organo mobile. Questo è girevole tra due zaffiri portati da due perni, di cui sono provvisti la rosetta piena ed un apposito sostegno fisso alla faccia superiore della carcassa.

È nella porzione della cavità cilindrica, lasciata libera dal segmento cilindrico del sostegno dell'organo mobile, che la laminetta di ferro dolce può ruotare per circa 80° insieme con l'alberello, quando il solenoide è percorso dalla corrente. Ma nella rotazione sposta una certa massa d'aria, che è costretta a passare pel vano dello spessore di appena $\frac{2}{10}$ di mm., lasciato libero tra i risvolti della laminetta e la parete interna della cavità, nonchè pe' vani lasciati liberi tra la laminetta stessa e la rosetta piena, e tra il segmento cilindrico ed il dischetto otturatore. Dal lavoro fatto da quest'aria risulta un discreto spegnimento, che viene anche accresciuto dalle correnti indotte nella rosetta piena e nel dischetto medesimo.

Pe' voltometri la Ditta Olivetti fa uso di grandi resistenze addizionali che hanno un coefficiente di temperatura negativo, allo scopo di ottenere in definitiva un coefficiente di temperatura totale praticamente trascurabile. In questi la scala ha intervalli massimi verso i $\frac{2}{3}$ della sua lunghezza; negli amperometri invece è uniforme. Essa però può essere variata a piacimento, spostando il piano passante tra gli assi della bobina e dell'organo mobile. È ovvio che le tarature di questi strumenti sono empiriche e perciò fatte con altri strumenti di grande precisione.

Una particolarità di essi è che l'energia assorbita dal solenoide, comunque vari l'intensità o la tensione della corrente, è di 5 watt. Segue da ciò che anche questi strumenti, come del resto tutti gli elettromagnetici, non convengono per correnti deboli o per basse tensioni.

I vantaggi degli apparecchi elettromagnetici della Ditta Olivetti su' simili delle altre Ditte, si possono riassumere così:

- a) Sono strumenti alquanto aperiodici, per essere provvisti di smorzatore ad aria;
- b) Possono avere scale uniformi;
- c) Danno indicazioni sensibilmente costanti in qua-

lunque tempo, per essere privi di qualsiasi molla e muniti di organo mobile di ferro di ottime proprietà magnetiche, nonchè, nel caso particolare de' voltometri, di resistenze addizionali di appropriato coefficiente di temperatura, onde non far consumare tutto il potenziale dal filo del solenoide, ch'è di rame;

d) Sebbene siano di costruzione più perfetta, costano alquanto meno degli altri simili, per la facile centratura dell'organo mobile, dovuta alla razionale forma data al sostegno di esso, e per la semplicità costruttiva de' diversi organi costitutivi.

Non sono però, come ho già detto, esenti da' difetti che hanno tutti gli strumenti elettromagnetici, nè si possono dire davvero a periodici, poichè lo spegnimento non è completo.

Per brevità non fo cenno degli apparecchi scientifici costruiti dalla stessa Ditta, che, se sono notevoli per alcune particolarità, non hanno ancora tutti quei requisiti che si desiderano negli apparecchi di tale natura.

Però, prima di chiudere queste brevi note intorno alla Ditta Olivetti, mi sia lecito di rilevare ch'essa onora l'industria nazionale, e merita perciò incoraggiamento. Precede calma nel suo sviluppo a passi gradualmente, intraprendendo lo studio e la costruzione di nuovi apparecchi solo quando quelli già studiati hanno cominciato ad incontrare il favore del pubblico. Che sia destinata ad avere un brillante avvenire, lasciano sperarlo, più che il sistema adottato di lavorazione e la bontà delle macchine di cui dispone, essenzialmente la solerte direzione ed attività del suo proprietario, l'opera tecnica intelligente del suo ingegnere coadiutore, lo scelto e già edotto personale operaio.

Mostra dell'Ing. Riccardo Arnò all'Esposizione di Parigi. — Figurava nella classe delle macchine elettriche, mentre avrebbe trovato più adeguato posto nella classe delle applicazioni diverse dell'elettricità, poichè consisteva essenzialmente in una raccolta svariata, ma ben ripartita di diversi strumenti elettrici di misura che il prof. Arnò ideò e fece costruire in seguito a pazienti ricerche e laboriosi studi fatti a Torino nel R. Museo Industriale Italiano, quando vi era assistente del grande scienziato Galileo Ferraris, ed a Milano nel R. Istituto Tecnico Superiore, ove da qualche anno è professore di elettrotecnica.

Gli apparecchi principali esposti erano i seguenti:

1° un fasometro delle tangenti;

2° due strumenti di misura per sistemi trifasi, basati sopra speciali proprietà de' sistemi stessi, e precisamente un wattometro-fasometro ed un contatore d'energia per sistemi trifasi esatto per carichi induttivi;

3° quattro strumenti di misura e di controllo a campo elettrico rotante, cioè: un voltmetro per sistema trifase, un avvisatore di terra per sistema trifase ad alta tensione, destinato a dare una segnalazione automatica nel caso in cui uno de' conduttori del sistema venga in comunicazione con la terra, oppure sia interrotto; un apparecchio di sicurezza per sistema trifase, atto a porre automaticamente in comunicazione con la terra o ad interrompere i circuiti secondari di un trasformatore trifase, allorché per un difetto d'isolamento una spirale secondaria del trasformatore venga in contatto con la corrispondente spirale primaria; un altro apparecchio analogo al precedente per sistema monofase.

Fasometro delle tangenti. — È un apparecchio di misura a deviazione permanente dell'apparenza di un ordinario elettrodinamometro che dà direttamente il valore numerico della differenza di fase fra due correnti alternate. La teoria di quest'apparecchio si può riassumere assai brevemente.

Si abbiano due spirali incrociate ad angolo retto, di cui una sia tenuta fissa e l'altra possa muoversi. Fatte percorrere da due correnti alternative, la fissa esercita sulla mobile un momento elettrodinamico esprimibile col prodotto $I_1 I_2 \cos \phi$, ove si indichino con I_1 ed I_2 le intensità efficaci delle correnti stesse e con ϕ il valore angolare della loro differenza di fase.

Se invece si fanno circolare le predette correnti in due spirali pure incrociate ad angolo retto, ma ambedue fisse, e che comprendano nello spazio centrale un altro sistema di due spirali ortogonalmente incrociate fra loro, i campi magnetici dovuti alle correnti generano un campo rotante che esercita sul secondo sistema di spirali un momento elettrodinamico esprimibile col prodotto $I_1 I_2 \sin \phi$.

A questi due momenti elettrodinamici si può fare equilibrio con due momenti di torsione di due molle spirali. In tal caso, dicendo c e c' due costanti e δ e δ' le deviazioni corrispondenti, sussistono le due relazioni seguenti:

$$\begin{aligned} I_1 I_2 \cos \phi &= c \delta \\ I_1 I_2 \sin \phi &= c' \delta', \end{aligned}$$

dalle quali, dividendo la seconda per la prima, e ponendo:

$$\frac{c'}{c} = C,$$

si deduce l'altra:

$$\operatorname{tg} \phi = C \frac{\delta'}{\delta}.$$

E questa permette di calcolare in modo assai semplice il valore della tangente dell'angolo di spostamento di fase fra le due correnti alternative date e quindi quello della loro differenza di fase.

La precedente relazione giustifica il nome dato dall'Arnò all'apparecchio basato su questa teoria, il quale in sostanza è una ingegnosa combinazione di due apparecchi: di un elettrodinamometro e di un apparecchio a campo rotante.

L'Arnò ha dato al suo fasometro delle tangenti due forme diverse: nella prima le due spirali dell'elettrodinamometro fungevano anche da spirali induttrici dell'apparecchio a campo rotante; nella seconda, più recente, i due sistemi elettromagnetici sono affatto distinti e disposti in modo da potersi eseguire contemporaneamente la lettura delle due deviazioni.

Strumenti di misura per sistemi trifasi basati sopra speciali proprietà de' sistemi stessi:

a) **Wattometro fasometro.** — È noto che per la misura industriale del *fattore di potenza* negli impianti a

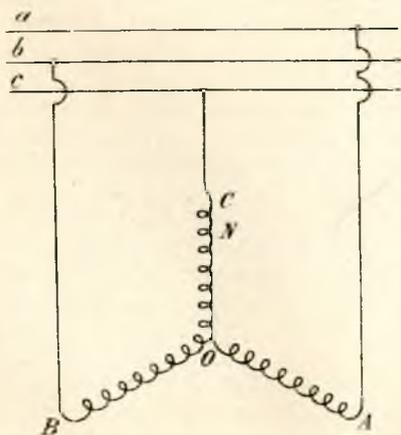


Fig. 189.

corrente alternata, occorrono tre strumenti: un voltmetro, un amperometro ed un wattometro. Il prof. Arnò ha studiato un apparecchio con l'unico uso del quale si può ottenere il valore del fattore di potenza e, poichè esso serve anche da ordinario wattometro, l'ha chiamato *wattometro-fasometro*. Dalla teoria completa di quest'apparecchio, pubblicata dall'Arnò stesso in una Memoria, tolgo puramente quella parte che ritengo sufficiente per far comprendere nelle linee generali il principio su cui è fondato.

Si abbia un sistema trifase simmetricamente carico, nel quale siano inseriti gli apparecchi utilizzatori mediante concatenamento aperto. Nella figura 189 è schematicamente rappresentato un tal sistema con un solo di questi apparecchi utilizzatori: a, b, c sono i tre conduttori del sistema trifase ed A, B, C il concatenamento col centro in O .

Ricorrendo alla nota rappresentazione vettoriale siano OA, OB e OC (fig. 190), i tre vettori, spostati di 120°

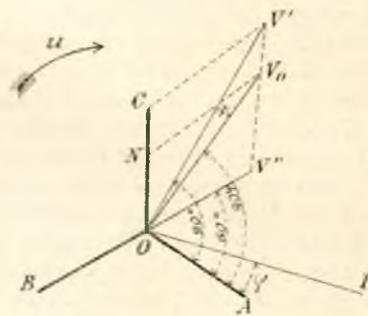


Fig. 190.

fra loro, rappresentanti rispettivamente le tre differenze di potenziale efficace tra il centro O di questo concatenamento e gli estremi A, B e C di esso, ed OI il vettore che rappresenta l'intensità efficace della corrente alternativa sinusoidale che lo percorre. Si indichino con I il valore efficace di questa intensità, con V il valore efficace della differenza di potenziale tra gli estremi d'uno de' tre circuiti, per esempio OA , e con ϕ il valore angolare della loro differenza di fase.

Si sa che se si inserisce nel circuito OA la spirale amperometrica di un ordinario wattometro, ed in derivazione ad esso quella voltmetrica, dinotando con k la costante del wattometro e con δ la deviazione che si osserva, quando il concatenamento è percorso da corrente, sussiste la relazione:

$$k \delta = V I \cos \phi. \quad (2)$$

Se invece, lasciando la spirale amperometrica nel circuito OA , si pone quella voltmetrica in derivazione tra gli estremi B e C degli altri due circuiti OB ed OC costituenti il concatenamento considerato, detti V' il valore efficace della differenza di potenziale esistente fra questi estremi e δ' la deviazione che si osserva nello strumento, sussiste allora la relazione:

$$k \delta' = V' I (\cos 90^\circ - \phi),$$

ossia:

$$k \delta' = V' I \sin \phi,$$

la quale, essendo:

$$V' = V \sqrt{3},$$

può anche scriversi:

$$k \delta' = \sqrt{3} V I \sin \phi. \quad (3)$$

E, dividendo questa per la (2), si ottiene anche:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\delta'}{\delta}. \quad (4)$$

Le relazioni (4), (2) e (3) mostrano chiaramente che con un apparecchio basato su questi principi si possono misurare rispettivamente il fattore di potenza, la potenza della corrente alternata in uno dei tre rami del concatenamento e quindi anche quella totale, trattandosi di un sistema trifase simmetricamente carico, ed infine, se la differenza di potenziale efficace V è costante, anche l'intensità della corrente $I \sin \zeta$, della corrente cioè in quadratura o, come impropriamente dicono i tedeschi, della *corrente senza energia*. Da ciò scaturisce chiara l'importanza di un siffatto apparecchio.

La conoscenza dell'intensità di questa corrente in quadratura può sembrare a prima vista di poca entità. Così non è. All'ingegnere elettricista occorre di avere un'idea del suo valore per giudicare della regolarità di funzionamento di un alternatore, in specie quando la corrente da esso generata presenta una notevole differenza di fase rispetto alla tensione. E ciò è tanto vero che si sono appositamente costruiti apparecchi atti a misurarla ed installati già da qualche anno fra gli altri strumenti de' quadri degli alternatori in stazioni elettriche di una certa importanza.

Questi apparecchi sono anch'essi semplici ed essenzialmente constano di un sistema di due spirali incrociate ad angolo retto e di un disco di rame sospeso nel centro e munito di un indice scorrevole su apposita graduazione. Una delle spirali si fa percorrere dalla corrente principale e l'altra, messa in serie con una resistenza priva di selfinduzione derivata fra i poli dell'alternatore o tra i conduttori della stazione centrale, da una corrente in fase con la tensione.

È chiaro che per l'azione contemporanea delle due correnti circolanti nelle due spirali si genera un campo rotante per cui il disco è soggetto ad un momento di torsione, che è proporzionale alla tensione e al prodotto $I \sin \zeta$, e che, equilibrando tale momento con quello di torsione di una molla spirale, l'angolo di deviazione dell'indice dalla posizione normale è proporzionale a $I \sin \zeta$, quando si mantenga costante la tensione.

L'apparecchio dunque ideato dall'Arnò, perchè permette di misurare anche la corrente in quadratura è maggiormente prezioso, eliminando l'impiego di un altro apparecchio. Per dare però indicazioni esatte richiede che il sistema trifase sia simmetricamente carico.

Il Tecnomasio italiano costruisce di questo apparecchio due tipi: uno da quadro ed un altro portatile.

b) Contatore di energia per sistemi trifasi esatto per carichi induttivi. — È questo un apparecchio che l'Arnò ha cominciato a fare costruire già da due anni.

Consta in sostanza d'un apparecchio d'induzione a campo rotante, costituito da due spirali, di cui l'amperometrica viene inserita in uno de' tre conduttori di un sistema trifase, per esempio, nel circuito O A del concatenamento aperto della fig. 190, e la spirale voltometrica non esattamente in derivazione tra gli altri due conduttori, ma tra l'estremo B del circuito O B del concatenamento stesso ed un punto intermedio N, opportunamente scelto, dell'altro circuito tra il centro O e l'estremo C. E precisamente questo punto N è scelto per modo che la differenza di potenziale V tra i punti O ed A risulti in precedenza di fase di un angolo uguale a $90 - \psi$ rispetto alla differenza di potenziale efficace V_n tra i punti B ed N, ψ rappresentando il ritardo di fase della corrente che traversa la spirale voltometrica rispetto alla differenza di potenziale V' tra gli estremi di questa.

Se l'inserzione della spirale voltometrica fosse fatta esattamente tra i punti B e C, sussisterebbe la relazione:

$$V I \sin (90 - \phi + \psi) = k \delta,$$

ove k è una costante e δ la deviazione della spirale voltometrica.

Essa si deduce subito ove si ricordi che in generale, in un apparecchio d'induzione a campo rotante, nel quale la spirale amperometrica sia percorsa da una corrente alternata d'intensità efficace I e la voltometrica da una corrente I' , presentante rispetto alla prima una differenza di fase il cui valore angolare sia ϕ , e rispetto alla differenza di potenziale efficace V esistente fra i suoi estremi un ritardo di fase ψ , si verifica la relazione:

$$V I \sin (\phi - \psi) = c \delta',$$

dette al solito c una costante e δ' la deviazione della spirale voltometrica, ed ove si tenga inoltre presente che nel nostro caso la differenza di potenziale efficace V tra i punti O ed A è invece in precedenza di fase di 90° rispetto alla differenza di potenziale efficace V' tra i punti B e C.

Ma se l'inserzione della spirale voltometrica è fatta tra i punti B ed N, dinotando con h una costante, con α la deviazione di essa, si ha invece:

$$V I \sin (90 - \psi - \phi + \psi) = V I \cos \phi = h \alpha,$$

ossia:

$$W = h \alpha,$$

indicando con W la potenza della corrente alternata in uno de' tre rami del concatenamento considerato.

Potendosi con la predetta formola calcolare W , segue che si può facilmente determinare anche la potenza totale, trattandosi di un sistema trifase simmetricamente carico.

Si comprende che l'apparecchio dev'essere munito di un organo accessorio per potersi praticamente eseguire l'attacco al punto intermedio N e di tutti quegli altri che si richiedono per la registrazione dell'energia consumata.

Strumenti di misura e di controllo a campo elettrico rotante. — Tutti quelli dianzi nominati sotto questa categoria poggiano su di un unico principio che qui ricorderò brevemente.

È noto che Galileo Ferraris, per mezzo di due correnti alternate circolanti in due spirali immobili ed incrociate, riuscì a generare un campo magnetico rotante e ad ottenere la rotazione di un corpo conduttore, ad esempio, un cilindro di rame o di ferro, od anche un cilindro di ferro sezionato per modo da ritenersi praticamente trascurabile l'azione delle correnti di Foucault.

L'Arnò, seguendo l'ordine delle idee del suo maestro, pensò che fenomeni corrispondenti a quelli che si verificano nell'esperimento del cilindro di ferro laminato, si dovevano verificare, sostituendo al campo magnetico rotante prodotto da due correnti spostate di fase un campo elettrico rotante, generato mediante due differenze di potenziale alternative fra due coppie di lastre metalliche fisse ed incrociate, ed al cilindro di ferro laminato un corpo dielettrico, per esempio, un cilindro cavo di mica.

Egli potè nel laboratorio di elettrotecnica del R. Museo Industriale Italiano eseguire le prime esperienze, le quali confermarono pienamente le sue previsioni. Constatò la rotazione del cilindro di mica e la disse dipendente dall'isteresi elettrica, dal ritardo cioè con cui la polarizzazione del dielettrico segue la rotazione del campo elettrico cui è dovuta, nello stesso modo che all'isteresi magnetica, al ritardo cioè con la quale la magnetizzazione del ferro segue la rotazione del campo magnetico, era dovuta, secondo Galileo Ferraris, la rotazione del cilindro di ferro laminato. Alle rotazioni elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate, si vennero così correlativamente a contrapporre le rotazioni elettrostatiche prodotte per mezzo di differenze di potenziale alternate.

Altre esperienze l'Arnò eseguì variandone le condizioni, nonchè la forma e la natura de' corpi dielettrici per meglio

verificare e studiare queste rotazioni elettrostatiche. Gli apparecchi che a tale uopo fece costruire, figuravano anche nella sua Mostra a Parigi.

Alcune di esse gli rivelarono che dovevansi sviluppare in tali rotazioni delle forze rilevanti, e gli fecero subito intravedere la possibilità ch'esse potessero vantaggiosamente utilizzarsi per la costruzione di apparecchi elettrici di misura e di controllo per le distribuzioni di energia a correnti alternate, anche ad alte tensioni.

Ed in effetti egli ideò e fece costruire diversi apparecchi, che sono precisamente quelli che io ho dianzi enumerati e che videro la luce l'uno dopo l'altro nell'ordine predetto.

Non potendoli descrivere tutti per la scarsità dello spazio concessomi, mi limito a far cenno di uno solo di essi, del voltmetro, cioè, per sistemi trifasi. Il cortese lettore potrà trovare una descrizione completa degli altri nelle Memorie pubblicate dallo stesso Arnò.

Voltmetro a campo elettrico rotante. — La figura 191 rappresenta tale strumento. In D è rappresentato il cilindro di materiale dielettrico, precisamente di carta paraffinata, girevole intorno al proprio asse, al quale è superiormente assicurato l'indice I che deve dare le indicazioni della tensione sulla scala *ab*. Mediante una molla è obbligato a conservare, quando lo strumento non funziona, una data posizione di equilibrio, caratterizzata dalla coincidenza dell'indice con lo zero della scala. Esso è compreso fra le tre lastre cilindriche conduttrici A, B, C, terminanti a' tre morsetti M_1 , M_2 , M_3 , che servono a mettere lo strumento in comunicazione co' tre conduttori del sistema trifase su cui si vuol effettuare la misura.

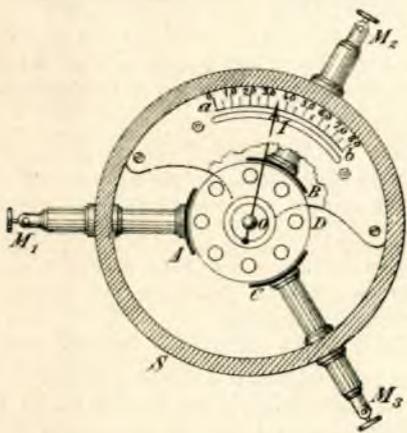


Fig. 191.

È chiaro che, quando è inserito nel sistema, il cilindro ruota intorno al suo asse, trascinandosi l'indice fino ad assumere una posizione fissa, determinata dall'intensità del campo elettrico rotante che si è così generato, e dalla differenza di potenziale media tra le tre differenze di potenziale esistente fra due qualunque de' tre conduttori del sistema trifase.

La graduazione dello strumento è fatta empiricamente, per modo da leggere tale differenza di potenziale media in volt od in multipli di volt.

I vantaggi che questo voltmetro presenta possono riassumersi così:

- a) È un apparecchio elettrostatico;
- b) È atto a misurare differenze di potenziale elevate;
- c) Dà senz'altro il valore della tensione media della corrente trifase su cui si sperimenta.

In modo affatto analogo si può costruire un voltmetro per sistemi bifasi.

Gli altri strumenti a campo rotante citati sono ugualmente interessanti e non scevri di una certa importanza pratica, come risulta dagli scopi stessi che hanno e che raggiungono in modo affatto semplice. L'apparecchio di sicurezza per sistemi monofasi, ad esempio, è davvero importante, ove si pensi che, trattandosi di circuiti e di apparecchi utilizzatori, come lampade ad incandescenza che sono alla portata continua delle persone, più che in ogni altro caso occorre di evitare la possibilità di un contatto co' circuiti primari ad alta tensione.

È peraltro prevedibile che vedranno la luce nuovi apparecchi basati sul medesimo principio delle rotazioni di un cilindro dielettrico in un campo elettrico rotante, del pari utili sia per sistemi polifasi che monofasi.

Gli apparecchi in genere dell'ingegnere Arnò non sono ancora troppo conosciuti nè apprezzati effettivamente per quello che valgono; ma finiranno col tempo per entrare nell'uso pratico, in ispecie se potranno costruirsi con dispositivi più economici, mantenendo intatti i loro attuali pregi intrinseci. Sebbene sia stata troppo rapida ed incompleta questa mia rassegna su di essi, mi sembra che le cose dette siano tuttavia sufficienti a rilevarne l'importanza scientifica e tecnica. Che così sia del resto più che le mie parole sta ad attestarla l'alta onorificenza assegnata all'Arnò dalla Giuria della Esposizione di Parigi.

(Continua)

Ing. IGNAZIO VERROTTI.

NOTIZIE

Per l'insegnamento dell'elettrochimica. — Nel fascicolo n° 19, a pag. 299 abbiamo ripredetto una importante nota del prof. Cannizzaro, presentata alla R. Accademia dei Lincei, riguardante il modo di istituire l'insegnamento dell'elettrochimica nelle scuole italiane.

Il prof. Paolo Straneo, il quale aveva avuto per due anni l'incarico di iniziare il nuovo insegnamento nel R. Museo Industriale Italiano e di impiantare il relativo laboratorio, dopo di avere dapprima compiuto a Zurigo lo studio della chimica al Politecnico federale, poi quello della fisica matematica e dell'elettrotecnica, in parte all'Università e quindi nell'Istituto fisico di Roma, ha diretto al Presidente del R. Museo Industriale Italiano una lunga lettera, pubblicata per intero nella Rivista mensile *L'Elettrochimico*, nella quale lamenta che il prof. Cannizzaro abbia propugnato una forma di insegnamento identica a quella adottata in Germania, senza tener conto di quanto era già stato fatto nel Museo Industriale, e della radicale differenza tra le nostre scuole e le tedesche.

Il prof. Straneo trova naturale che in Germania venga dibattuta la questione sulla convenienza di affilare l'insegnamento dell'elettrochimica ad un chimico o ad un elettrotecnico, ma non è di parere che tale questione abbia a sorgere in Italia per l'indole totalmente diversa de' nostri studi.

La gran specializzazione degli studi nei Politecnici tedeschi è tale che chi vi studia chimica trascura quasi completamente tutte le altre materie; la matematica e la fisica vengono insegnate con programma affatto elementare, la prima in un semestre, e la seconda in due. Di elettrotecnica non si parla. D'altra parte deve essere notato che i meccanici-elettrotecnici non studiano la chimica. Era quindi naturale che l'insegnamento dell'elettrochimica venisse introdotto nella scuola di chimica ed affidato ad un chimico.

I corsi di elettrochimica che derivano da questo stato di cose, soggiunge il prof. Straneo, sono veramente curiosi. Per persuadersene basta prendere uno dei più recenti trattati pratici, quello di Lorenz di Zurigo. Delle 226 pagine, sonvene 80 di elettrotecnica, ma di un'elettrotecnica così elementare che da noi si insegnerebbe ad operai.

Da qualche tempo in Germania incominciò a lamentare codesta eccessiva specializzazione, per cui a vece di fare degli elettrochimici

veri non si hanno che degli specialisti nella parte chimica dell'elettrochimica, e per gli impianti elettrochimici si è obbligati a ricorrere ad un elettrochimico e ad un elettrotecnico. Ed inoltre buona parte dei lavori sull'elettrochimica e persino alcuni trattati, quello del Jahn, per es., non possono essere compresi dalla maggioranza degli elettrochimici formati a quelle scuole.

In Italia invece, dove non esiste una eccessiva specializzazione negli studi, abbiamo una categoria di persone che si direbbe preparata in modo perfetto a seguire un vero corso di elettrochimica. I nostri ingegneri industriali, che conoscono la matematica superiore, la meccanica superiore, la meccanica razionale, che hanno seguito i corsi di fisica tecnica e di elettrotecnica, e che inoltre per quattro anni hanno studiato la chimica e si sono praticamente esercitati per tre anni in laboratorio, sono certo i migliori allievi che si possano desiderare per seguire un corso di elettrochimica, e quali non si trovano nei migliori Politecnici tedeschi.

Ma a questi allievi, come non potrebbesi fare un corso di elettrochimica elementare, come si fa in Germania, così dovrebbero dare un insegnante che sia all'altezza della loro coltura matematica e fisica, capace di spiegare ed applicare le teorie della chimica moderna, tutta fondata sulla termodinamica e sulla matematica.

E invero quando dalle semplici reazioni nel laboratorio vogliasi passare ai calcoli di rendimenti, o a studi sulla economia o razionalità di un processo, vuolsi sapere accoppiare la chimica alla matematica e alla termodinamica. Volendosi quindi insegnare elettrochimica ad ingegneri industriali è indispensabile che l'insegnante conosca egualmente bene e la chimica e la scienza su cui le moderne teorie della elettrochimica sono fondate.

In questo senso si era pure espresso il chiarissimo prof. Gabba in un suo articolo sulla *Perseveranza*, del 4 luglio ultimo scorso, a proposito dell'insegnamento dell'elettrochimica per l'Istituto Superiore di Milano.

Epperò la discussione se questo insegnamento debba affidarsi ad un chimico o ad un fisico non avrebbe, almeno per l'Italia, alcuna ragion d'essere. Esso dovrebbe affidarsi a chi per l'indole dei suoi studi è capace di conoscere e di insegnare completamente l'elettrochimica.

(L'Electricista).

Esperimenti di ventilazione dei tunnel col sistema Saccardo.

— Il giorno 14 novembre furono effettuati importanti esperimenti di ventilazione artificiale, col sistema Saccardo, nelle gallerie di Piteccio e di Pracchia, sulla ferrovia Porrettana.

Diresse tali esperimenti lo stesso inventore del sistema di ventilazione, signor comm. ing. Marco Saccardo, Regio Ispettore superiore delle Strade Ferrate, ed erano presenti il signor cav. conte Muttoni, Regio Ispettore-capo del Circolo di Firenze, il signor cav. Segre, ingegnere Capo-Divisione delle Ferrovie Meridionali, ed i signori ingegneri cav. Pogliaghi, Buongiorno, Cattaneo ed altri.

Gli esperimenti, fatti anche durante il passaggio dei treni nelle dette gallerie, diedero risultati soddisfacentissimi.

Infatti giova notare che nel suddetto giorno il tempo era burrascoso, con vento di scirocco sfavorevolissimo per la ventilazione naturale nelle prenominate gallerie.

Ora nella galleria di Piteccio, lunga m. 1750, ed in pendenza del 23 per mille, nella quale avevasi una lievissima corrente naturale in discesa, cioè verso l'imbocco Pistoia, ove trovasi l'officina della ventilazione, venne per aspirazione determinata, col ventilatore a 100 giri al minuto, una corrente, sempre in discesa, con la velocità di m. 8,70 al secondo.

E nel sotterraneo di Pracchia, lungo m. 2700, e in pendenza del 25 per mille, nel quale avevasi una corrente naturale in ascesa, cioè verso l'imbocco Bologna, ove è stata impiantata l'officina di ventilazione, di m. 320 al secondo, tale corrente fu per compressione, col ventilatore a 100 giri al minuto, invertita, e raggiunse in senso discendente la velocità di m. 6,20 al secondo, velocità che si ridusse a circa m. 2 al secondo al passaggio di un treno merci in galleria nella direzione opposta a quella della corrente medesima.

Il personale del detto treno dichiarò poi di aver percorsa la galleria in ottime condizioni di aereamento.

Siamo lietissimi di tali risultati, in seguito ai quali sarà consentito di usufruire di tutta la potenzialità della Porrettana, e ci congratuliamo vivamente con l'illustre inventore, signor comm. Saccardo.

(Monitore delle Strade ferrate).

Recenti modificazioni apportate in Francia alla legge sui brevetti d'invenzione. — La prima legge in Francia sui brevetti d'invenzione fu promulgata il 25 maggio 1791, e fu poi sostituita con quella del 5 luglio 1844. che fu poi sempre e fino ad ora in vigore, ed in 54 anni non ebbe a subire modificazioni, se non in quanto si riferisce alla Convenzione internazionale del 1883.

Buona nel suo complesso, questa legge aveva tuttavia bisogno di essere modificata in alcune delle sue disposizioni, nell'intento di metterla in armonia colle attuali esigenze dell'industria, siccome fecero prima d'ora quasi tutte le altre nazioni.

La nuova Legge del 9 luglio 1901 istituisce un *Offi-e national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique*, il quale venne insediato il 1° dello scorso ottobre al Conservatorio di Arti e Mestieri, dove per conseguenza rimangono concentrati tutti i servizi della proprietà industriale, e tutte le pratiche relative potranno perciò venire esaurite colla massima celerità.

Un'altra riforma a cui la nuova legge ha potuto dar luogo, consiste nella pubblicazione integrale e completa in fascicoli separati dei brevetti d'invenzione, secondo la circolare del Ministero del Commercio e dell'Industria del 10 settembre 1901, pubblicata il giorno dopo nel *Journal Officiel*, a pag. 5858. Quest'innovazione era stata chiesta con insistenza da molto tempo. E nell'intento di ottenere la riproduzione dei disegni in modo uniforme ed economico, il Ministero del Commercio e dell'Industria, con decreto del 3 settembre u. s., determinò le modalità con cui debbono essere fatte le descrizioni ed i disegni annessi alle domande di brevetti d'invenzione, a partire dal 1° gennaio 1902.

In virtù di questo decreto:

1. — Le descrizioni annesse alle domande di brevetti d'invenzione o di certificati di complemento, in conformità dell'art. 6 della Legge 5 luglio 1844, debbono essere scritte in inchiostro, o stampate correttamente, in caratteri netti e leggibili, su carta del formato di 33 cm. per 21 cm., con un margine di 4 cm. Ma non si deve scrivere o stampare che da una sola parte di ogni foglio. Nessun disegno potrà essere inserito nel testo o nel margine del foglio.

2. — I disegni dovranno eseguirsi su fogli di cm. 33×21 o di cm. 33×42 con margine interno di 2 cm., per cui il disegno abbia ad essere contenuto in un quadro di cm. 29×17 ovvero di cm. 29×38, dovendo essere la inquadratura costituita da una sola linea dello spessore di mezzo millimetro. Ed ove non fosse possibile contenere la rappresentazione dell'oggetto brevettato nel quadro prescritto, sarà in facoltà dell'inventore di suddividere la stessa figura in più parti, ciascuna delle quali sarà disegnata in un foglio delle dimensioni sovra indicate; i richiami nei punti di separazione saranno indicati con lettere di riferimento. I numeri d'ordine delle diverse figure saranno indicati con cifre arabe. I numeri d'ordine delle diverse tavole saranno segnati al di fuori della riquadratura. L'originale deve essere disegnato in inchiostro, con tratti regolari e perfettamente neri, su carta bristol od altra carta bianca e liscia, che possa permettere la riproduzione colla fotografia; non vi sono ammesse nè tinte, nè ombre od acquerelli, dovendosi all'uopo supplire con tratteggio ben regolare ed a tratti convenientemente spazati. Il doppio dell'originale potrà essere eseguito su tela lucida o su carta, e potrà avere le tinte. La scala nella quale i disegni debbono essere eseguiti non dev'essere esageratamente grande, ma sufficiente perchè l'oggetto dell'invenzione possa essere esattamente riconosciuto in una riproduzione ridotta ai due terzi del disegno originale. La scala sarà indicata seguendo il sistema metrico. I disegni non potranno contenere alcuna leggenda o indicazione all'infuori del numero d'ordine delle figure e delle lettere, maiuscole o minuscole, e cifre di riferimento, la cui altezza sarà da 3 ad 8 mm. Non sono ammesse che le lettere dell'alfabeto francese. Le leggende che l'inventore credesse indispensabili, dovranno venire inserite nel corpo della descrizione. La firma dell'inventore, o del suo procuratore, deve essere posta al di fuori dell'inquadratura. I disegni non debbono essere piegati, ma dovranno consegnarsi larghi o rotolati su cilindri resistenti per modo da non restare piegati o rotti.

3. — Non sono ammesse nè incisioni in legno nè altre rappresentazioni dell'invenzione all'infuori dei disegni preparati nel modo sovra descritto, a meno che desse non siano di natura tale da prestarsi alla riproduzione coi procedimenti fotografici.

La Legge del 9 luglio 1901 è stata completata da un decreto del medesimo giorno col quale è istituita nel Conservatorio di Arti e Mestieri una Commissione tecnica dell'Ufficio dei brevetti. Lo avere annesso l'Ufficio nazionale dei brevetti d'invenzione e marchi di fabbrica al Conservatorio di Arti e Mestieri dove esistono ammirabili collezioni ed una biblioteca scientifica ed industriale veramente preziosa, è stato un ottimo provvedimento di organizzazione dovuto alla iniziativa ed alle insistenze continuate dell'Associazione francese per la protezione della proprietà industriale.

(Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils).

BIBLIOGRAFIA

Contributo alla trattazione grafica dell'arco continuo su appoggi elastici. — Memoria dell'ing. dott. MODESTO PANETTI, stampata nelle *Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino*, serie II, tom. II. — Un vol. in 4° di pag. 27, con 5 figure nel testo e 3 tavole litografiche.

Il titolo non riuscirà forse per tutti molto esplicito, ma non sarebbe punto facile sostituirgliene altro più preciso. Ecco ad ogni modo ciò di che si tratta. È noto che in pratica quando abbiasi a verificare la stabilità di un viadotto costituito da una serie di archi (*travi ad arco*) impostati su pile (*travi ad asse rettilineo*) d'ordinario si considerano gli archi come indipendenti fra loro e sostenuti da appoggi rigidi, e le pile come soggette a forze uguali alle azioni sui piani di imposta calcolate per gli archi.

Ma volendosi tener conto della continuità della materia in tutto il complesso della costruzione, e della conseguente elasticità di tutto il sistema, la trattazione rigorosa del problema non manca di presentare le sue difficoltà, ed è sempre laboriosa, qualunque sia il metodo che vogliasi seguire.

Fra i procedimenti applicabili è notevole quello proposto da Bruno Schulz in due Memorie (1) ispirate ai metodi del Müller-Breslau. In esso si assume come incognita immediata del problema la risultante delle forze relative ad una sezione fatta in una campata intermedia del sistema. Si decompone detta risultante nei suoi tre parametri, e cioè in due forze aventi determinate linee d'azione, e nel momento che nasce trasportando la risultante a passare per un punto determinato. Detto punto e dette linee sono poi scelti in modo che le tre equazioni di elasticità che risolvono il problema contengano ciascuna uno solo dei tre parametri testè enumerati dell'incognita. L'autore però si è limitato ad applicare il suo metodo a sistemi con tre sole quantità staticamente indeterminate, nel qual caso le due travature, nelle quali il sistema considerato resta diviso dalla sezione prescelta, non hanno più vincoli sovrabbondanti, onde il procedimento riesce facile, ma di minore interesse.

Recentemente il prof. Engesser riprese il problema per via analitica, introducendo negli sviluppi ipotesi semplificative per ottenere formule adatte alle applicazioni (2).

L'ing. dott. Panetti, nella Memoria della quale ci piace intrattenere i lettori, si propone di illustrare un procedimento tuttora inedito del prof. Ritter del Politecnico di Zurigo, consistente in una applicazione nuova della teoria dell'ellisse di elasticità.

Illustra prof. Ritter tratterà in modo esauriente l'argomento nel 4° volume delle sue *Anwendungen der graphischen Statik*, che è già in corso di pubblicazione; ma l'egregio ing. Panetti, che ebbe nello scorso luglio a frequentare il gabinetto del prof. Ritter, ebbe l'opportunità di fare applicazione del metodo ad un caso speciale, sia per concretare le modalità del procedimento, sia per giudicare dell'importanza di certi termini sui risultati. Ed il metodo del prof. Ritter parve a lui così semplice nel principio e così fecondo nelle conseguenze, che volle provarsi a darne una interpretazione puramente geometrica. Per il che risultarono poste in evidenza parecchie proprietà grafiche degli elementi usati nel risolvere il problema, e ne derivò una variante al procedimento. Inoltre un semplice confronto col metodo già citato di Bruno Schulz, applicato a questi casi più complessi, rivela l'analogia perfetta fra le costruzioni grafiche occorrenti in entrambi; e finalmente i risultati dedotti nell'esempio numerico, confrontati con quelli ottenibili coi metodi di calcolo che sono comunemente in uso, danno un criterio utile per valutare il grado spesso insufficiente di approssimazione di questi ultimi.

*

Il metodo ideato dal prof. Ritter, consiste nel prendere in esame separatamente i singoli archi di un manufatto, considerando le parti residue del sistema, a destra e a sinistra dell'arco, come costituenti due appoggi elastici, ai quali i piani d'imposta dell'arco considerato siano solidali.

L'elasticità di detti appoggi si calcola costruendo una ellisse che ne costituisce il diagramma, e valutando il peso elastico da applicarsi al centro di detta ellisse.

La novità del procedimento sta essenzialmente nel modo di dedurre l'ellisse ed il peso elastico relativi ad un sistema costituito da un arco e dalla sottoposta pila, rispetto alla sezione in cui arco e pila si saldano, quando si conoscano le ellissi dell'uno e dell'altra. Superata questa difficoltà appare ovvio il modo di procedere nel caso di un sistema di più archi A, B, C... e di più pile P_1, P_2, \dots . Poiché basterà partire da

(1) BRUNO SCHULZ, *Ueber die Berechnung mehrfach statisch unbestimmter Systeme* (Zeit. für Architektur und Ingenieurwesen, 1898).

(2) FR. ENGESSER, *Ueber Bogenbrücken mit elastischen Pfeilern* (Zeit. für Bauwesen, 1901).

un'estremità del manufatto, la sinistra, ad es., e dedurre dalle ellissi dell'arco A e della pila P_1 l'ellisse G relativa al complesso (A P_1), la quale ellisse sostituirà, per ciò che riguarda lo studio delle deformazioni elastiche, tutta la parte di viadotto alla sinistra dell'arco B. Successivamente comporre l'ellisse G con quella dell'arco B per dedurre dall'ellisse del complesso che ne risulta e dall'ellisse della pila P_2 la ellisse relativa all'imposta sinistra dell'arco C, e seguire così fino alla campata del manufatto di cui si studia l'equilibrio.

Nè riesce difficile di tener conto della cedibilità del suolo, conoscendosi la natura di questo per mezzo della pressione in kg. sul cq. necessaria a produrre l'affondamento di un centimetro, e ritenendo trascurabili gli spostamenti paralleli al piano di appoggio.

*

La interpretazione geometrica di codesto procedimento ha dato occasione all'ing. Panetti di studiare la corrispondenza reciproca definita dalle ellissi di elasticità dell'arco e della pila fra ogni punto, considerato come polo, e l'intersezione delle sue antipolari, per cui la determinazione dell'ellisse relativa al complesso di arco e pila, si riduce all'applicazione di un teorema di geometria che viene enunciato così: « Date due ellissi in un piano, ne esistono infinite altre, le quali godono colle due prime della proprietà che le antipolari di un punto qualunque convergono tutte in un altro punto; ed il luogo dei centri di tutte queste ellissi è un arco d'iperbole, la quale contiene gli omologhi dei punti all'infinito del piano, ed i cui assintoti risultano paralleli ad una coppia di diametri coniugati per tutte le ellissi del sistema ».

*

Per illustrare il suo metodo grafico, l'A. prese, ad esempio, un viadotto di tre archi uguali a pieno centro di 20 metri di luce ciascuno, sorretti da due pile di altezza diversa (20 e 30 metri) e su due spalle identiche. Suppone unicamente per semplicità che i piani di fondazione delle pile e delle spalle non presentassero cedimento elastico, mentre non sarebbe più difficile il caso in cui la natura del terreno non permettesse di trascurare tali cedimenti.

Scopo dell'A., come già si disse, era di venire ad un confronto numerico dei risultati a cui si giunge, sia calcolando nell'ipotesi dell'arco continuo e col metodo sovraccennato, sia adottando i metodi di calcolo comunemente in uso nella pratica, ossia nell'ipotesi dell'arco perfettamente incastrato.

Le conclusioni che l'A. ha potuto dedurre dall'esempio numerico trattato, sono assai importanti e meritevoli di tutta l'attenzione dei pratici, onde amiamo riprodurle testualmente:

« La solidarietà delle arcate migliora le condizioni statiche del manufatto rispetto alle sollecitazioni prodotte dal peso proprio. Invece il carico accidentale mobile influisce assai più svantaggiosamente nel caso dell'arco continuo, soprattutto nelle sezioni in chiave, cosicché le compressioni unitarie massime risultanti, riescono di circa un nono superiori a quelle dedotte nell'ipotesi dell'arco incastrato, considerando i carichi come matematicamente concentrati.

« La ripartizione dei carichi che avverrà certamente per effetto del sottoposto riempimento in terra attenua la differenza constatata, in modo da renderla appena superiore ai limiti di approssimazione di un calcolo fatto a scopo pratico.

« Non si può concludere altrettanto, soprattutto per la sezione in chiave, confrontando i risultati ottenuti coi metodi di calcolo d'uso più comune nei quali si sostituisce ai carichi concentrati un carico uniformemente ripartito. La differenza raggiunge il 17 0/0 in più per i metodi rigorosi relativi all'arco incastrato ed il 22,5 0/0 per quello col quale si calcolò l'arco continuo, pur limitandosi ai risultati ottenuti nell'ipotesi che il riempimento in terra ripartisca le pressioni.

« Ciò prova che i carichi uniformemente ripartiti che si vogliono sostituire al treno nel calcolo dei ponti ad arco in muratura possono essere talvolta insufficienti. Nel caso testè svolto, per ottenere in chiave le medesime sollecitazioni massime, bisognerebbe adottare un carico di 16 tonnellate per metro lineare, cioè più che doppio di quello assunto nel calcolo; invece per ciò che riguarda le sezioni d'imposta, basterebbe calcolare l'arco come sovraccaricato su di una metà sola della sua corda in ragione di tonn. 9,25 per metro lineare di proiezione orizzontale.

« Naturalmente non è lecito dedurre da una sola ricerca leggi generali, che potrebbero soltanto essere suggerite da una serie di esempi svolti per tipi diversi di arcate, conducendo alla formazione di tabelle razionali per la ricerca del sovraccarico uniformemente ripartito, equivalente, da adottarsi nei metodi approssimati di calcolo.

« Possiamo però già convincerci, che, per gli archi a monta rialzata, e con sezione fortemente variabile dalla chiave alle imposte, appartenenti ad un viadotto con pile di grande altezza, non è prudenza assumere come carico accidentale uniformemente ripartito lo stesso valore, sia nell'ipotesi dell'arcata completamente sovraccaricata, sia in quella dell'arcata sovraccaricata su di una metà sola; ma conviene esagerare nel valore da adottarsi per la prima di queste due verifiche, dalla quale si deduce la compressione unitaria massima nella sezione in chiave ».

G. SACHERI.