

# L'INGEGNERIA CIVILE

E

## LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre nel Giornale di tutte le opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.

### ARCHITETTURA E BELLE ARTI

#### LA CUPOLA DELLA BASILICA DI S. GAUDENZIO IN NOVARA

Architettura del Prof. Comm. ALESSANDRO ANTONELLI.

(Veggansi le tavole XII, XIII e XIV).

#### CAPITOLO II.

#### Fasi storiche sullo sviluppo dei progetti della Cupola Antonelliana.

##### I.

Il primo progetto dell'Antonelli consisteva essenzialmente nell'imposizione di una rotonda a colonne esterne ed interne d'ordine corinzio, sormontata da una cupola a sesto rialzato, terminante con una modesta lanterna o cupolino. — Con disposizione analoga a quella della cupola di Santa Genevieffa di Parigi, nell'interno, due tazze o calotte di cui l'una cassettonata, dipinta l'altra, erano comprese ed avviluppate dalla gran cupola o tazza esteriore a costoloni di granito e muratura.

La corona d'imposizione del tamburo aveva m. 14,12 di diametro interno e m. 22,44 di diametro esterno.

Un primo ordine circolare interno di 24 colonne, alto complessivamente m. 6,45, sosteneva quasi esclusivamente la relativa trabeazione, un modesto attico e la volta interna a cassettoni quadrangolari aperta superiormente con un occhio di circa 4 m. di diametro.

Un secondo ordine concentrico al primo, di 24 fulcri o pilastri rettangolari, costituiva il vero tamburo della cupola, che all'altezza delle colonne dell'ordine esterno dava luogo a 24 finestroni di gran luce, che avrebbero servito ad illuminare prodigalmente l'interno della cupola.

Su questi sostegni intermedi poggiavano la seconda tazza interna, chiusa superiormente e messa ad affreschi — e la cupola propriamente detta, o tazza esteriore, formata con un intelaiatura di 24 costoloni di struttura laterizia e lapidea con diaframmi di muratura coperti con lastre di gneiss.

Dal piano del pavimento della chiesa alla sommità della gran tazza esterna si avevano m. 42,22 di altezza — all'esterno la sopraelevazione della cupola sul corpo della chiesa era di m. 28,65. — Il cupolino misurava pochi metri d'altezza e si poteva piuttosto considerare come un lucernario cilindrico.

Questo primo progetto venne fin dal 1841 esposto nelle sale del Municipio dove si trova tuttora.

Approvato ed encomiato, ne fu decisa tosto l'esecuzione affidandone la direzione alla solerzia dell'architetto, e l'amministrazione delle spese e delle provviste alla Fabbrica Lapidea che adottò sin da principio il sistema dei lavori ad economia con appalti parziali di opere e di fornitura di materiali.

Unito a questo progetto vi era quello della facciata nell'intento di metterla in pieno accordo di stile colla cupola. — Una doppia ordinazione corinzia *esastila* nell'ordine inferiore, *tetrastila* nel superiore terminata con frontone triangolare rettilineo, deve formare sul davanti della chiesa un portico (Pronào o Narthex) decorato nel muro di fondo con nicchie e statue e con una porta grandiosa ricca di ornati. — Le colonne del Pronào dovrebbero essere di granito, del diametro di m. 1,50 circa. L'intercolonnio centrale sarebbe di m. 4,50 come la profondità del portico.

Sul davanti del portico superiore sta la statua di S. Gaudenzio raffigurato nella sua apoteosi terrestre, benedicendo colle mani il suo popolo credente. Altre statue di *Fame* o di cherubini completano questa galleria artistica.

Le pareti di fondo del Pronào sono messe a bugnato — interrotto da nicchie e fori circolari. — I capitelli vanno lavorati con finezza, e vogliono essere ricchi di vegetazione più di quelli della cupola, poichè quivi essendo più brevi le visuali l'occhio vuol essere meglio appagato.

Quando la Basilica colla cupola odierna potrà possedere un *Narthex* simile a questo brevemente ora descritto, e disegnato forse con poca fortuna nella tavola XII, l'unità di composizione si potrà dire soddisfatta, l'occhio collocato nel miglior punto visivo sul davanti della chiesa, abbracciando parte non poca della cupola, avrà l'impressione d'un'armonia completa, valuterà i *crescendo* delle variazioni di uno stesso motivo il quale si sente nell'architettura del tempio e della cupola, come sentesi in musica la nota fondamentale.

##### II.

Prima di dar principio ai lavori della cupola, il cardinale Caccia-Piatti faceva a sue spese e coll'aiuto pecuniario del cardinal Morozzo, eseguire dal bolognese Pelagio Pelagi il pavimento della chiesa e del presbiterio, il qual ultimo pavimento è fatto ad imitazione di quello della Sindone in Torino.

Intanto oltre all'assegno municipale di L. 12,000, derivativo dell'antico *Sesino*, confermato sovraneamente dal Re di Sardegna, e promesso sino a perfezione totale del tempio, le donazioni spontanee e generose dei privati aumentavano l'attivo della Fabbrica Lapidea.

Ma per desiderio dei fabbricieri prima d'incominciare i lavori della cupola venne ancora eseguita la porzione attuale e più indispensabile della nuova porta, cioè i battenti e gli stipiti. — Due disegni particolareggiati di questa porta furono sottoposti alla scelta di quegli ordinatori. — Venne adottato il disegno più ricco di graniti e di ornati. — I tre pezzi dello stipite di ragguardevoli dimensioni e difficili ad aversi dalle più ricche e rinomate cave vennero provvisti dalla ditta Pirovano. Sono di granito roseo, della varietà detta Miarolo rosso: lavorati, nelle parti piane e curve continue, a pelo lucido, e negli ornati a grana finissima.

Le dimensioni della luce sono m. 8 di altezza; m. 3,75 di larghezza, la larghezza dello stipite è di cm. 65, la sua decorazione si compone di un listello e relativo sguscio, di tre modanature ornate, interrotte da fascie piane. Questa porta arieggia, per la sua ampiezza e pel disegno, le porte dei templi romani.

I battenti sono intelaiati con robuste travi di legno, portanti tavoloni di essenza forte con nervature all'esterno formanti tre riquadri o specchi a contorni di ovoli schiacciati, decorati con ornati in ferro fuso e colla testa alata di un cherubino inscritta in una corona. Negli angoli e lungo le nervature sonvi delle borchie circolari che tengono l'ufficio di chiodi. — La fondità degli ornati venne fatta loevolmente dalla ditta Colla di Torino. Ippolito Martelli ne fu il falegname. Un ingegnoso meccanismo costruito dallo stesso Antonelli, serve alla chiusura della porta, e consiste in una lunga spranga di ferro portante molte piccole spranghette trasversali, che si impegnano in un gancio quando per mezzo di una sola leva si move l'asta principale.

Per l'erezione della cupola la perizia dell'architetto portava la spesa a L. 152,000.

Fu fatto eseguire a Torino un modello di legno che riproduce in scala di 1:20 in modo chiaro e sensibile alla portata di qualsiasi capo-mastro, la immaginosa struttura degli arconi collegati coi pennacchi, tanto per la parte vecchia, che per la nuova ideata dall'architetto; fu costruito in legno di pioppo per la prima, e con legno noce per quest'ultima. Sono segnate in esso modello, le posizioni delle chiavi in ferro che imbrigliano la costruzione arcata e la premuniscono con supina tranquillità da cedimenti o disastri possibili pel fatto delle spinte non verticali. È coll'aiuto di questo modello che ho potuto imparare e disegnare (vedi tavola XIV, *studio degli arconi*) la forma degli arconi al loro nascimento.

Il preventivo delle spese per i lavori che si eseguirono a tutto febbraio 1846 ammontava a lire 60314, 43. In realtà, per la condotta delle opere e i buoni appalti fatti delle provviste si spesero per i lavori indicati in perizia solo lire 51639,30.

Ma nell'anno 1845 incominciarono le difficoltà pel proseguimento dei lavori. Sendo insufficiente l'annuale assegno delle lire 12m., la buona volontà dei fabbricieri ottenne un aumento di L. 40000 all'attivo delle loro finanze, promovendo l'estinzione di una passività di L. 1535 annue che l'Ospedale Maggiore avea contratto verso la Fabbrica Lapidea.

Alla fine di questo anno si ultimarono gli arconi e fu incominciato il tamburo, fatta la provvista di 24 pezzi di granito lunghi m. 6,15 che dovevano costituire il nucleo delle colonne interne.

Per le catene in ferro si acquistarono dalle ferriere del signor Mongenet a Pont-Saint-Martin, kg. 4983,29 di ferro della miglior qualità.

Verso l'anno 1851 moriva il benemerito Filiberto Torrielli che nel corso dell'opera avea saputo rimuovere tante difficoltà, insorte talvolta per deficienza di mezzi pecuniari, e succedeva nella carica di presidente della Lapidea, il barone Giovanni Melchioni e nell'anno successivo 1852 il fratello Antonio Melchioni, caldo propugnatore col canonico Scolari dei progetti Antonelliani. Tuttavia in questo volger di tempo stagnarono i lavori della cupola, si fecero abbellimenti e decorazioni nella basilica, si fusero dal Bellezza i rinomati cancelli in bronzo dell'altar maggiore e della cappella di S. Adalgiso.

Secondo la prima perizia dell'Antonelli (in lire 152000) le colonne dell'ordine esterno si dovevano eseguire in muratura laterizia; non poteva sfuggire alla fabbriciera la considerazione di far opera più elegante, pregievole e di maggior durata sostituendo ai laterizi il granito delle vicine cave del Lago Maggiore o d'Orta. Il presidente Melchioni invitava vivamente l'architetto a lasciargli gittare il dado, ordinando le provviste di esso granito sotto pena di pagarne del proprio l'acquisto. Una deliberazione della fabbriciera sottomessa al *placet* del Consiglio comunale, autorizzava questa variante, ed il contratto veniva fatto colla Società delle cave di Alzo essendo gerente il cav. Andrea Nobili, al prezzo mite assai di L. 170 il m. c.

Le basi delle colonne lavorate a mezza grana furono provviste dalla casa Pirovano. I relativi capitelli corinzi, eseguiti in pietra arenaria compatta, di facile lavorazione, vennero commesse allo scarpellino G. Bottinelli, di Viggiù, distintosi nei lavori dell'Arco della Pace in Milano; vennero lavorati sopra il modello plastico dallo stesso Antonelli e la loro maniera ha riscontro con quelli del Peristilio del Tempio Israelitico in Torino.

### III.

Dal 1851 al 1855 rimasero sospesi i lavori della cupola; e nel 1856 essendosi elevato il tetto della chiesa sulle navate del transetto e del presbitero coll'intenzione di utilizzare il locale ad uso di archivio della Basilica, restava sommerso per considerevole altezza il tamburo della cupola sotto il nuovo tetto. Così mentre si creava un vantaggio estetico alla basilica si danneggiava profondamente quello della cupola, essendochè la miglior parte si sarebbe nascosa alle visuali esterne. Questa necessità di innalzarsi risvegliava nell'animo dell'architetto un più

vasto ordito che doveva tradursi in un 2° progetto che per la maestosità, lo spirito artistico, avanzava di gran lunga il primo.

La sopraelevazione dell'edifizio sul piano della corona d'imposta venne portata a m. 39. La distanza dall'occhio della tazza cassettonata interna all'occhio della lanterna fu stabilita in m. 20.

L'importante modificazione consistè essenzialmente nell'introduzione di un nuovo ordine-basamento, detto dall'architetto *stilobate*, sottoposto al giro di colonne esterno. Vennero arricchite tutte le parti, rialzato l'attico, il sesto della cupola esterna e quello della tazza interna dei dipinti. Parimenti modificato il cupolino, venne ridotto alla forma circolare della Rotonda di Lisicrate o del Tempio di Vesta, sormontato da una statua proporzionata alla mole dell'edifizio, raffigurante l'apoteosi del Salvatore.

Sullo scorcio del 1858 venivano ripresi i lavori con autorizzazione del Consiglio comunale che in seduta 14 maggio stesso anno, assicurava alla fabbriciera il concorso di L. 30000.

Ma da cosa nasce cosa; ed una modificazione ne traeva seco sempre un'altra, e la Fabbrica Lapidea trepidò alquanto all'annuncio di una *terza modificazione* della cupola. Non era la foga o la passione del progettare che avevano indotto l'Antonelli a presentare nel 1860 ed a propugnare il progetto che, salvo leggerissime varianti, fu poi quello eseguito. Una nuova idea, tutta sua, avea originato questo fatto e gliela avevano ispirata gli stessi critici della cupola, i quali obiettavano che mentre il nuovo *edifizio-cupola* sarebbe tollerato da alcuni, da altri ammirato, sopra una pianta quadrata, circolare, od a croce greca, volevasi assolutamente rifiutare sulla chiesa a croce latina, per la ragione del nascondersi di essa cupola alle visuali di prospetto. E l'Antonelli volle togliere di mezzo questo pretesto delle visuali, innestò superiormente al primo ordine corinzio, una ripetizione di ordinazione con proporzioni ridotte, progettò un secondo *stilobate* di pilastri, un secondo ordine di colonne a cui impose l'attico, la cupola, il cupolino. Tutte le altre modificazioni esterne e specialmente interne furono subordinate a questa idea. Ed ebbe lo special merito di mettere a contribuzione circostanze derivate per farle servire a svolgere nell'interno della cupola una marcatissima originalità: una serie di tazze traforate sostenute da una costruzione conica di pilastri inclinati il cui ufficio più importante doveva poi essere quello di reggere la nuova ingente mole del cupolino.

Due progetti venivano presentati in sul principio del 1860 accompagnati da relative perizie che fissavano, pel primo la spesa di finimento in L. 85 mila, e in L. 115 mila pel secondo. Il primo, salvo qualche leggiera variante, sarebbe stato quello descritto ultimamente, ad un sol ordine di colonne esterne, il secondo era l'espressione del nuovo principio, con due ordini di colonne esterne e relativi *stilobati* di pilastri.

La fabbriciera si dichiarava propensa al più semplice e meno costoso di essi disegni, osteggiava sensibilmente il secondo, ma se ne rimetteva al giudizio del Consiglio comunale; faceva intanto rilevare per mezzo dell'ing. Ricca, persona competente in materia, che la spesa, portata nelle perizie Antonelliane, non era stata fino allora in alcun modo sorpassata e che per conseguenza si poteva andar convinti che le somme dichiarate nelle due nuove perizie per l'ultimazione della cupola non verrebbero certo superate.

La fabbriciera espose le ragioni che favorivano il secondo progetto, che appena conosciuto dai più intenditori incontrava la simpatia e l'approvazione di molti; dimostrò al Consiglio municipale che, non capriccio, non vaghezza o volontà di mutazioni avevano consigliato l'architetto a variare il pur sempre bello suo primo progetto, esservi stato indotto da ragioni tecniche e dal modo di costruzione, a parti, a periodi, di quell'opera, dal desiderio lodevolissimo in ogni artista, di condurre a perfezione le belle idee che si trovano in embrione nei primitivi disegni.

Se non ch'è ad onta di queste considerazioni e davanti alla incerta opinione pubblica restò inamovibile il Consiglio mu-

nicipale, ed il nuovo progetto della cupola veniva respinto con 16 voti contrarii e 4 favorevoli.

Sconfortante verdetto; il quale non valse fortunatamente a smuovere l'architetto nella sua tenacità di proposito, e raffermando viemmaggiormente le sue idee che trovavano molti caldi ammiratori, esponeva in pubblico i suoi disegni lasciando che il giudizio del pubblico vi si confermasse. E per vero il pubblico entrava nelle aspirazioni dell'architetto, e senza essere da nessuna pressione influenzato, diede, libero, un voto di alta considerazione ai meriti dell'artista patriota.

Raccoglio qui le principali ragioni che consigliarono l'Antonelli nella compilazione del nuovo progetto della cupola togliendole da un suo scritto (1) con cui accompagnava davanti a' suoi giudici i disegni del suo progetto:

1° L'introduzione di 24 pilastri sovrapposti alle colonne interne e sorreggenti la cupola cassettonata, colle relative 24 finestre degli interpilastri esterni sostituiti al basamento continuativo del primo disegno, servono ad introdurre tal copia di luce da rendere brillante e leggiero il primo corpo della cupola;

2° Il progettato secondo peristilio, i 24 finestroni di gran luce cui questo dà luogo e le 24 finestre tonde dell'attico sovrapposto, permettono di illuminare a dovezia, sia direttamente, che per riflesso di luce proiettata sui sottostanti corpi, l'interno della cupola e specialmente il dipinto della seconda tazza interna.

È forte il bisogno di luce sull'intrados di questa tazza pel lungo viaggio che debbono percorrere le visuali nel tubo della cupola, e non se ne può avere che dal secondo peristilio, poichè l'altezza della prima tazza interna cassettonata raggiunge la sommità del primo ordine e ne maschera i relativi finestroni;

3° Consona riesce l'altimetria esterna dell'intera mole coll'altimetria del Pellegrini, poichè, come il tempio ha ordinazione di due pilastri o colonne su piedestalli, la cupola verrebbe ad avere due ordini di colonne coi relativi piedestalli negli stilobati corrispondenti;

4° L'osservatore che si trova a riguardare l'insieme dell'opera e che si colloca a quella distanza dalla facciata per cui vantaggiosamente ne abbraccia collo sguardo l'altimetria e l'iperografia, gode ancora della vista di tutto il secondo ordine di colonne, mentre vien mascherato quasi totalmente il primo pel protendersi della navata anteriore della chiesa. Quest'ultima osservazione condanna cogli autori critici più accreditati, l'effetto che si ha nel S. Pietro in Roma, dell'eclissarsi quasi totalmente, la cupola, dietro la facciata, per chi si collochi vicino all'obelisco di Caligola ed osservi la facciata della celeberrima basilica.

Tutte le basiliche a croce latina, con cupola di non grande elevazione, hanno questo difetto; basti citare San Sulpicio a Parigi, San Domenico grande a Palermo, S. Maria del Fiore. Gli è solo nel S. Paolo di Londra che l'elevazione sufficiente della cupola riesce ad eliminare l'eclissi di essa col braccio anteriore della chiesa;

5° Il secondo peristilio, l'attico superiore, il sesto rialzato della cupola e l'aggiunta del cupolino-campanile procurano alla composizione della massa una forma piramidale e leggiera capace di armonizzare e colle proporzioni della facciata piuttosto svelta, e colle disposizioni architettoniche del bel campanile, opera dell'Alfieri.

Le premurose ma delicate istanze dell'architetto, il soffio favorevole del pubblico sentimento, avevano nello scorcio dell'anno 1861 fatto acquistare ai progetti dell'Antonelli le simpatie e l'approvazione della maggioranza dei cittadini e del Consiglio comunale — alcuni membri del quale credevano di prevedere nella gigantesca nuova opera una perenne fonte di spese di manutenzione, come in quelle del Bramante, Michelangelo e Bernini. Veniva proposto di far eseguire da intenditori la perizia esatta del progetto col secondo peristilio di colonne; ma l'avv. cav. Negroni facendo ponderare i rilievi accennati dall'architetto, consigliava ai

collegi, con squisita gentilezza d'animo, di rimettersi completamente al giudizio dell'Antonelli che « più che costruttore è artista cui conviene lasciare qualche libertà di variare il proprio lavoro » (1).

Gli ingegneri Ricca e Belletti ritennero esservi nell'opera dell'Antonelli tutta la stabilità voluta ed essere i quattro pilastri delle crociere, di tal sezione e struttura, da sopportare un peso maggiore di quello della cupola secondo il nuovo progetto.

A rimuovere ogni dubbio dai più timorosi, sulla stabilità dell'opera, la fabbrica incaricò gli ingegneri cav. Rocco Colli ed Antonio Busser, conosciuti come valenti costruttori, dell'esame delle perizie dell'architetto e della stabilità dell'opera.

Il rapporto di questi periti (in data 10 giugno 1861) riconosceva e confermava ancora una volta l'esattezza dei calcoli peritali dell'Antonelli. — Il problema della stabilità vien dichiarato superiore alle forze coalizzate di questi ingegneri i quali però si formarono « delle ferme convinzioni sopra il buon nesso della struttura statica dell'opera »; e volendo studiare il pericolo allo schiacciamento cui avrebbero potuto soggiacere i materiali impiegati, nelle sezioni più pericolose, calcolarono il peso di diverse zone della cupola comprese fra il sommo di questa e sezioni praticate laddove maggiormente temibile era il pericolo degli effetti della compressione.

Lo studio delle spinte laterali, difficilissimo sebbene non impossibile allo stato attuale della scienza, non fu tentato.

Secondo i numeri segnati da questi ingegneri il peso totale dell'edificio imposto sui pilastri sarebbe stato per il progetto a doppio peristilio di kg. 9,064,372, distribuito nella proporzione di kg. 1000,40 circa per mq., cioè: 10 kg. per cmq.

Materiali simili a quelli dei pilastri del S. Gaudenzio vennero sperimentati all'arsenale di Torino e sopportarono, prima di dar segno di fendimenti o rotture, da kg. 147 a kg. 83 per cmq.

Si può ritenere in conseguenza come coefficiente di stabilità la frazione  $\frac{1}{12}$  sufficiente a rassicurare chiunque dagli effetti funesti di una troppo forte pressione.

Venne ancora determinata la stabilità della cupola per i due ultimi progetti: nella sezione inferiore, di 72 pilastri o piedritti senza intonaco, che sorreggono gran parte della mole. Eccone i risultati:

Area della somma delle sezioni dei pilastri, m. 32,51.

|  | Pel primitivo progetto | Per l'ultimo progetto |
|--|------------------------|-----------------------|
| Peso da imporsi su questa sezione totale . . . . . | kg. 4238729            | kg. 4465720           |
| Peso unitario (per cmq.) . . . . .                 | » 13,02                | » 13,74               |
| Coefficiente di stabilità . . . . .                | » $\frac{1}{8}$ circa  | » $\frac{1}{9}$ circa |

La relazione indirizzata alla Fabbrica Lapidea e dalla quale ho attinto questi numeri, encomia il sistema amministrativo e la condotta dei lavori fatti ad *economia* con appalti parziali di opere e provviste di materiali, consiglia a voler proseguire con questo mezzo, il più efficace per la buona riuscita dell'opera.

La maggioranza di quattordici consiglieri contro una minoranza di sette, approvava (2) le conclusioni e l'operato della fabbrica, autorizzava l'architetto a seguire nel compimento della cupola l'ultimo progetto da lui tanto difeso — faceva tuttavia una restrizione pel cupolino nel quale si avrebbe voluto avere un solo ordine di colonne.

Con maggior lena venivano pertanto ripresi i lavori (si può dire che nel 1861 si compirono i più importanti lavori in laterizi), e presto Novara poteva convincersi del mirabile effetto dell'opera che ingigantiva dal tetto della basilica, e dei prodigi di celerità ed economia che si facevano nell'erezione di tanta mole.

(1) *Memoriale* diretto al Consiglio in data 8 dicembre 1860, letto in seduta 15 dicembre.

(1) *Dagli Atti del Consiglio comunale*, anno 1861.

(2) *Atti del Consiglio municipale*, 14 giugno 1861.

Nell'anno 1861 si completò il rustico della tazza cassettonata, la struttura laterizia interna e quella relativa al primo peristilio esterno; si incominciò la costruzione dello stilobate a finestre rettangolari del secondo peristilio.

Concorsero agli appalti speciali di graniti e di opere, e meritano lode per la buona e coscienziosa fattura, per la puntualità nella consegna, gli scalpellini Guglielminotti, i fratelli Rusca di Invorio, il Travagliani e Simonetta, novaresi, lo Zaccheo di Orta.

Nuove concessioni finanziarie furono fatte negli anni 1861-1862; si diede facoltà alla Fabbrica Lapidea di contrarre prestiti non eccedenti le lire 30 mila.

Mentre si stavano ultimando i lavori del secondo peristilio (luglio 1862), nuove opposizioni vennero fatte alle idee dell'Architetto, che conformandosi all'ultimo progetto presentato (tuttora esposto nelle sale del Municipio novarese), aveva disposto per la formazione di fori semicircolari al nascondimento della gran calotta esterna ed interposti fra i costoloni. — Da molti non si seppe vedere in queste 24 finestrelle praticate fra i piedi della cupola, se non se un capriccio pericoloso o tutto al più una vaghezza capace di compromettere la stabilità della costruzione della tazza esteriore; si addusse, in difetto di ragioni più sostanziali e sostenibili, la maggior spesa a cui avrebbe dato luogo l'introduzione di essi fori, essendo già fatta la provvista di materiali per l'intera copertura della volta, in base ai disegni del penultimo progetto.

Il Consiglio deliberava negativamente, esprimendo così la poca simpatia di alcuno per questa disposizione, la tranquillità che altri intendeva godere a fronte delle ardezze dell'Antonelli; e l'architetto mostrava prova di buon volere e sommissione sottostando alle decisioni di chi aveva facoltà di concedere o negare. Però non tralasciava di indirizzare una lettera in data 4 novembre 1862 alla Fabbrica ed al Consiglio comunale, in cui si sforzava di far divergere la benigna opposizione dei più, dimostrando insussistente la questione della maggiore spesa — adducendo la ragione estetica di una singolare leggiadria e sveltezza che quei fori avrebbero procurato alla mole terminata. — Apportava esempi di simile disposizione in quasi tutte le più celebri cupole a cominciare da quella di S. Sofia dove un giro di 40 finestroni sta al nascondimento della gran cupola, sino a quella del S. Pietro e di quasi tutte le cupole di Roma, del Pantheon di Parigi, ecc.

Questi fori semicircolari avrebbero portato, sul loro davanti, la testa alata di un cherubino od un altro motivo ornamentale a frastagli, per modo da creare con trafori un senso ottico gradevolissimo.

Con deliberazione 24 novembre 1862 venivano finalmente ammesse nel progetto definitivo anche queste finestrelle — e nell'anno 1863 si poteva terminare la corona di chiusura della tazza esteriore ed incominciare il basamento del cupolino. Entrava nello stesso anno ad assistere i lavori il capo-mastro Francesco Padoia, mentre per indebolita salute ed avanzata età il Magistrini chiedeva le dimissioni. Credo che, in testimonianza dei buoni servizi da lui prestati e per la indefessa attività e capacità dimostrata in certi lavori, venisse compensato con qualche assegno di danaro.

#### IV.

Restava a compiersi il cupolino; ed ecco apparire a questo proposito un'ultima opposizione per parte degli amministratori. — Sorgono dei dubbi sulla possibilità statica dell'imposizione del cupolino progettato con due ordini di colonne: spaventa nei più quell'enorme peso di massi granitici sopra un altro ammasso gravitante su quattro piedi che non furono costruiti da chi progettò la cupola, e che per conseguenza possono essere insufficienti all'ufficio cui verrebbero chiamati cogli ultimi progetti della cupola e del cupolino.

Per questi dubbi e per tranquillare gli animi il Consiglio Comunale deliberava (30 maggio 1863) di far esaminare da una commissione di ingegneri ed architetti, nominati dalla Fabbrica Lapidea, i progetti e l'operato dell'Antonelli per decidere, se le modificazioni proposte da questi circa il fini-

mento ed il cupolino potessero mettere in pericolo la stabilità dell'opera.

La Commissione scelta dalla Fabbrica Lapidea (22 giugno 1862) fu composta del generale Cavalli, dell'ing. Rocco Colli e dell'ing. Cesare Valerio.

Questi valenti costruttori non concordarono sul modo di stabilire i loro calcoli, ma si sa indirettamente che le conclusioni di questo consesso non sarebbero che riuscite favorevoli alla stabilità delle opere eseguite e di quelle progettate.

Intanto si erano rallentati i lavori intorno alla cupola, le occupazioni bellicose d'Italia per la guerra nazionale del 1866 distolsero vieppiù gli animi dalle cose d'arte. Si mantenne questo stagnamento di lavori sino al 1872. La cupola esteriore terminante con una corona di granito, venne provvisoriamente coperta con un tetto conico ed armata di parafulmine. Inoltre nell'anno 1867 si decise la demolizione del castello di legname innalzato sopra il pilastro destro anteriore della cupola, che aveva servito all'elevazione dei materiali, effettuantesi per un primo tratto verticale, nel pozzo del pilastro destro della crociera.

Per quell'epoca questa demolizione poteva parere all'architetto il precludersi della costruzione della cupola, malgrado le assicurazioni in contrario della Fabbrica Lapidea.

Non si desisteva però (dopo il 1872) nella continuazione dei lavori di decorazione interna, e mediante un assegno di lire 12 mila (21 novembre 1871) venivano ordinati i lavori di intonacamento ed ornamentazione dei peristilii interni, e della volta cassettonata. In pochi mesi furono applicati gli intonachi e gli stucchi alle colonne, pilastri e muri della costruzione interna visibile dal piano della chiesa — e nel settembre 1872 si aggiudicò l'appalto delle altre opere di stucco e di decorazione ai fratelli Loro e Piattini di Torino, che accettarono (con ribasso di lire 3000 su altra offerta) per lire 9181 l'incarico dell'esecuzione dello stucco semplice, e per lire 616 quello dello stucco lucido. Sono veramente degni di encomio questi distinti plasticatori, i quali, con loro grave sacrificio e con amore di arte, attesero sotto la scorta e coi modelli del loro antico maestro di plastica — l'Antonelli — alla formazione degli ornati, delle modanature, delle mensole, dei rosoni che formano la decorazione della tazza cassettonata. La composizione dei rosoni, degli ovoli, delle foglie, venne fatta sul sito, per poter tenere conto degli effetti visuali in quelle circostanze; vi attese con grande passione lo stesso architetto, che ad onta della sua avanzata età trattenevasi per giornate intere sui ponti di servizio. Circa l'economia dei lavori, piacemi citare le parole del Presidente della Direzione Lapidea di San Gaudenzio (1). « Col rincarimento da dieci anni in poi dei materiali e della mano d'opera, l'aver condotto a termine la civilizzazione e la decorazione della tazza di questa cupola con una spesa ben depurata, minore della preveduta, è a nostro avviso un nuovo prodigio, e dobbiamo esserne grati al distintissimo architetto ».

Sul declinare del 1873 i lavori si trovarono avanzati a segno che si potè nel giorno del patrono, 22 gennaio 1872, solennemente aprire agli sguardi del pubblico l'interno della cupola sino all'occhio della tazza cassettonata, chiuso provvisoriamente con un impalcato.

Il nuovo effetto di questa cupola all'interno commosse gli spettatori; il giudizio del popolo novarese circondò di nuova aureola artistica l'Antonelli, che si era innalzato a livello delle altre nostre glorie. — « Basti il dire (2) che l'aspettazione di ognuno fu superata. Non uno in quella gigantesca mole previde la leggerezza che offre. Se si pone a riscontro l'esterno coll'interno, v'ha di che esser meravigliati; la luce che piove è tale e tanta, che ben converrà con veli limitarla al raccoglimento dei devoti. Gli scomparti, gli intagli, i fregi sono esimio lavoro di scienza ed arte, ed armonizzano talmente fra loro, che formano un insieme il più gradito all'occhio intelligente.

(1) Relazione dell'avv. G. Mattachini, indirizzata al Consiglio comunale (1 agosto 1874).

(2) MATTACHINI, Relazione citata.

Per rendere facile e comoda l'ascesa sulla cupola dall'ambulacro interno, al quale si arriva per mezzo di una scala a chiocciola dal pozzo circolare nel pilastro sinistro anteriore, sino al cupolino, l'architetto pensò di condurre attraverso agli ordini dei pilastri interni e fra i sostegni di muratura una scala della larghezza quasi sempre costante di circa cm. 70, e con gradini dell'alzata di poco superiore a centimetri 15, formati con lastre di gneiss.

## V.

Attraverso alle esposte vicende e colle successive riprese dei lavori decorativi si arrivava intanto al 1876 senza che si fosse più decisa l'ultimazione dell'opera: l'erezione del cupolino. Antonelli non cessava di preoccuparsi della cosa, e convinto sempre più che il cupolino avrebbe dovuto informarsi ai suoi ultimi disegni, faceva istanza presso la Fabbrica Lapidea per la ripresa dei lavori, scrivendo: « Faccio sempre voto che finchè posso spendere qualche anno di vita ancora (1), il Municipio voglia ordinare il sospirato cupolino in armonia all'innalzata mole ».

Poco dopo (24 maggio 1875) il Consiglio comunale novarese deliberava l'erezione del cupolino secondo il progetto che ammetteva due ordini di colonne coi relativi basamenti, all'uopo ordinando l'assegno di lire 39196, ed invitando il chiaro presidente della Fabbrica Lapidea, avv. Mattachini, in unione ai curatori ingegneri Massaza, Ricca, Pampuri, e cav. Serazzi, a provvedere per la ripresa dei lavori.

È necessario a questo punto far osservare, come fece lo architetto al riprendersi dell'opera, che la perizia data nel 1863 per la costruzione del cupolino, dovea nel 1875 venir aumentata pel rincaro della materia prima, e dei trasporti, e soprattutto per la costruzione di un nuovo ponte di servizio a sostituzione di quello inopportuno demolito nel 1868. Quest'opera avrebbe da sè sola assorbita una gran parte della somma stanziata se si avesse dovuto ripristinarla come nel modo antecedente, cioè se l'architetto non avesse immaginato un castello interno alla cupola, economico sopra ogni dire, pel servizio del cupolino.

Il primo appalto (di circa 75 mc., di granito bianco) fu aggiudicato alla esordiente ditta Tabarrini, la quale si era offerta di accettarlo al prezzo di L. 150 al mc., in opposizione alla rinomata ditta Pirovano, che si profferiva per lire 185 il mc. di granito.

Colla continua sorveglianza dell'architetto e coll'interesse grandissimo che vi prese il degno figlio, ingegnere Costanzo, che forniva con ogni esattezza e coi minuti particolari i cartoni allo scalpellino, ad onta dei ritardi avvenuti nella consegna delle opere, nell'anno 1876 si potè collocare il basamento granitico e laterizio del cupolino, lo stilobate o basamento del 1° ordine di colonne, la cornice ed il parapetto relativo, opere eseguite quasi per intero in granito bianco delle cave di Orta.

Contemporaneamente a questi lavori si ripresero quelli per la formazione della scala d'accesso sino all'ambulacro esterno del cupolino, lasciato in asso qualche anno prima.

Nell'anno corrente si ripresero i lavori — non più colle provviste della ditta Tabarrini, bensì colla Pirovano di Misano, avendo la prima receduto dal contratto, dannoso per lè e poco soddisfacente per la Fabbrica Lapidea.

Il prezzo unitario dei graniti venne aumentato, per ottenere una miglior esecuzione delle opere, e perchè i pezzi di ultimazione del cupolino erano più minuti e delicati.

L'ordinazione generale del cupolino ripeté quella della cupola e si può dire che ne è il senso portato a maggior perfezione, vogliasi per più eleganza e slancio di parti, vogliasi per l'impiego quasi esclusivo di più nobile materiale, il granito bianco novarese. Anche qui si hanno due peristilii rotondi, portati ciascuno da un ordine sottostante di pilastri che diremo anche stilobate.

Presentemente a completare la superba altezza della mole, ed ottenerne grande beneficio di contorno, occorre ancora una statua di forme svelte e spigliate, quali non può avere quella del vescovo patrono, in veste talare. Meglio consiglia

(1) Lettera indirizzata alla Lapidea, 25 dicembre 1875.

l'architetto, potersi coronare il cupolino coll'effigie apoteotica del Salvatore, colla croce in una mano ed in atto di proiettare Iddio alla terra.

Niente havvi di più delicato di questo pensiero — S. Gaudentio stesso non troverebbe nulla di meglio.

Ing. LEANDRO CASELLI.

**QUADRO delle principali dimensioni dell'opera.**

|   |    |     |    |
|---|----|-----|----|
| Lunghezza totale della Basilica . . . . .   | M. | 82  | 40 |
| Larghezza id. id. . . . .   | »  | 26  | 60 |
| Altezza massima id. . . . .   | »  | 39  | 40 |
| Elevazione della chiave degli arconi sul pavimento della chiesa . . . . .                       | »  | 25  | 50 |
| —   |    |     |    |
| Altezza totale dell'opera, misurata dal pavimento della chiesa al sommo della statua . . . . .  | M. | 122 | »  |
| Altezza dalla stessa origine all'imposta degli arconi Id. id. . . . .                           | »  | 17  | 40 |
| Id. id. al piano del 1° ambulacro interno . . . . .   | »  | 26  | 85 |
| Id. id. al piano del 1° ambulacro esterno . . . . .   | »  | 34  | »  |
| Id. id. all'occhio della tazza cassettonata . . . . .   | »  | 50  | 30 |
| Id. id. all'occhio della 2ª tazza interna . . . . .   | »  | 67  | 20 |
| Id. id. al piano dell'ambulacro del 1° peristilio . . . . .                                     | »  | 38  | 82 |
| Id. id. al piano dell'ambulacro del 2° peristilio . . . . .                                     | »  | 56  | »  |
| Id. id. al piano dell'ambulacro esterno del cupolino . . . . .                                  | »  | 84  | 90 |
| Diametro della navata della chiesa . . . . .  | »  | 13  | 34 |
| Id. degli arconi retti antichi . . . . .  | »  | 11  | 80 |
| Id. id. nuovi . . . . .   | »  | 15  | 54 |
| Id. della sfera a cui appartengono gli antichi piedi di vela . . . . .                          | »  | 38  | »  |
| Id. interno della corona d'imposizione della cupola . . . . .                                   | »  | 14  | 42 |
| Id. del 1° giro interno di colonne . . . . .  | »  | 15  | 33 |
| Id. del 1° giro esterno di colonne . . . . .  | »  | 21  | 17 |
| Id. del 2° giro esterno di colonne . . . . .  | »  | 18  | 06 |
| Id. del massimo parallelo interno della cupola, propriamente detta . . . . .                    | »  | 14  | 46 |
| Id. del massimo parallelo esterno della cupola, propriamente detta . . . . .                    | »  | 15  | 82 |
| Id. del massimo parallelo interno della tazza cassettonata . . . . .                            | »  | 14  | 50 |
| Raggio dell'arco generatore della gran cupola . . . . .   | »  | 17  | 25 |
| Id. id. della tazza cassettonata . . . . .  | »  | 13  | »  |
| Id. id. della 2ª tazza interna ed approssim <sup>te</sup> delle altre tazze traforate . . . . . | »  | 7   | »  |
| Diametro del 1° giro esterno di colonne nel cupolino . . . . .                                  | M. | 5   | 70 |
| Id. del 2° giro esterno di colonne nel cupolino . . . . .                                       | »  | 2   | 58 |
| Id. esterno del tubo o nocciolo centrale di muratura . . . . .                                  | »  | 0   | 92 |
| Id. interno del tubo o nocciolo centrale di muratura . . . . .                                  | »  | 0   | 62 |

*Altezza degli ordini nella cupola e cupolino.*

|                        | Cupola  | Cupolino |
|------------------------|---------|----------|
| Tamburo . . . . .      | M. 4 90 | M. —     |
| 1° stilobate . . . . . | » 5 40  | » 5 10   |
| 1° ordine . . . . .    | » 13 50 | » 7 30   |
| 2° stilobate . . . . . | » 4 50  | » 3 68   |
| 2° ordine . . . . .    | » 10 40 | » 4 80   |
| Attico . . . . .       | » 4 20  | » 1 20   |

*Interno della cupola.*

1° ordine: m. 7 15 — attico e pilastri: m. 4 55  
Altezza della volta: m. 11 60.

*Sostruzione conica interna a sette ordini di pilastri inclinati.*

I ordine: 4 80 — II: 3 30 — III: 3 50 — IV: 3 90 — V: 3 30  
VI ordine cilindrico: 3 — VII ordine cilindrico: 3 40.

*Valori angolari.*

|   |         |
|---|---------|
| Arco generatore della cupola . . . . .  | 43° 37' |
| Id. della volta cassettonata . . . . .  | 44° 18' |
| Inclinazione dell'asse dei pilastri del castello di muratura, sulla verticale . . . . . | 14° 20' |

VOLUMI E PESI

| ZONE DELL'OPERA   | Volumi<br>in mc. | Pesi<br>in<br>chilogr. | Pesi<br>sopra le<br>Sezioni<br>considerate | Aree<br>delle Sezioni<br>considerate<br>in mq. | Aree<br>dei soli<br>fulcri<br>premuti | Peso medio<br>per cmq. |
|---|------------------|------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------|
| Cupolino { parti in granito e gneiss . . . . .          | 73,798           | 196192,68              |  |  |                                       |                        |
| » in muratura laterizia . . . . .                       | 13,931           | 30648,20               |  |  |                                       |                        |
| » in metallo (legam., statua, ecc.)                     | —                | 2340,00                | 229180,88                                  | (Sez. N) 3,91                                  | 3,91                                  | 6,12                   |
| Basamento { parti in granito e gneiss . . . . .         | 14,919           | 45004,54               |  |  |                                       |                        |
| del Cupolino { » in laterizi . . . . .                  | 5,877            | 12929,40               | 287114,82                                  | —  | —                                     | —                      |
| Zona della Cupola { parti in pietra da taglio . . . . . | 58,946           | 156796,36              |  |  |                                       |                        |
| esteriore { » in laterizi . . . . .                     | 525,430          | 495946,00              | 939857,18                                  | (Sez. I) 10,57                                 | 10,57                                 | 8,89                   |
| Attico { parti in pietre da taglio . . . . .            | 4,944            | 13151,04               |  |  |                                       |                        |
| » in laterizi . . . . .                                 | 78,037           | 171681,40              | 1124689,62                                 | (Sez. H) 13,20                                 | 11,04                                 | 10,19                  |
| 2° Peristilio { parti in pietre da taglio . . . . .     | 60,582           | 161148,12              |  |  |                                       |                        |
| » in laterizi . . . . .                                 | 301,461          | 663214,20              |  |  |                                       |                        |
| 24 statue non ancora esistenti . . . . .                | —                | 16000,00               | 1965051,94                                 | (Sez. G) 19,11                                 | 19,11                                 | 10,28                  |
| 2° Stilobate { parti in pietre da taglio . . . . .      | 1,000            | 2400,00                |  |  |                                       |                        |
| » in laterizi . . . . .                                 | 186,898          | 411175,60              | 2378647,54                                 | (Sez. E) 24,02                                 | 21,84                                 | 10,91                  |
| 1° Peristilio { parti in pietre da taglio . . . . .     | 107,659          | 286372,94              |  |  |                                       |                        |
| » in laterizi . . . . .                                 | 473,140          | 1040908,00             |  |  |                                       |                        |
| 24 statue ora non esistenti . . . . .                   | —                | 20000,00               | 3725928,48                                 | (Sez. D) 29,52                                 | 29,52                                 | 12,39                  |
| 1° Stilobate { parti in pietre da taglio . . . . .      | 49,597           | 131874,22              |  |  |                                       |                        |
| e { » in laterizi . . . . .                             | 761,188          | 1674613,60             |  |  |                                       |                        |
| Peristilio int. 48 statue ora non esistenti . . . . .   | —                | 40000,00               | 5572416,30                                 | (Sez. A) 49,32                                 | 33,25                                 | 16,52                  |

RAPPORTI ARCHITETTONICI

| ZONE DELLA CUPOLA<br>E<br>CUPOLINO  | Interassi | Diametri inferiori<br>e superiori<br>della colonna<br>o dimensioni<br>del pilastro |      | ALTEZZE             |       |       |           |             |              |            |
|-------------------------------------|-----------|--|------|---------------------|-------|-------|-----------|-------------|--------------|------------|
|                                     |           |  |      | Colonna<br>o lesena | Fusto | Base  | Capitello | Piedestallo | Trabecazione | Architrave |
| 1° stilobate esterno . . . . .      | 2 902     | 1 10   | 0 80 | 4 16                | 3 20  | 0 50  | 0 46      | —           | 0 72         | —          |
| 1° ordine esterno . . . . .         | 2 771     | 0 80   | 0 68 | 8 »                 | 6 65  | 0 45  | 0 90      | 1 »         | 1 45         | 0 48       |
| 1° ordine di lesene . . . . .       | 2 441     | 0 62   | 0 30 | 6 39                | 5 24  | 0 50  | 0 65      | 2 70        | —            | id.        |
| 2° stilobate id. . . . .            | 2 441     | 0 75   | 0 55 | 3 81                | 2 76  | 0 70  | 0 35      | —           | 0 64         | —          |
| 2° ordine id. . . . .               | 2 364     | 0 62   | 0 52 | 6 20                | 4 95  | 0 50  | 0 75      | 1 »         | 1 10         | 0 46       |
| 2° ordine di lesene . . . . .       | 2 071     | 0 46   | 0 22 | 4 82                | 3 88  | 0 47  | 0 52      | 2 60        | —            | —          |
| Attico id. . . . .                  | 2 071     | 0 68   | 0 45 | 2 82                | 1 89  | 0 65  | 0 28      | —           | 0 65         | —          |
| Ordine interno . . . . .            | 2 0066    | 0 58   | 0 50 | 6 15                | 5 13  | 0 70  | 0 32      | —           | 1 50         | —          |
| Grande attico interno . . . . .     | id.       | 0 50   | 0 50 | 3 60                | 2 80  | 0 30  | 0 50      | —           | 1 »          | —          |
| 1° ordine intermedio . . . . .      | 2 356     | 0 68   | 0 52 | 5 99                | 5 01  | 0 30  | 0 68      | 1 05        | 0 45         | —          |
| 2° id. id. . . . .                  | id.       | 0 62   | 0 50 | 3 90                | 3 30  | 0 10  | 0 50      | —           | —            | —          |
| 1° stilobate del cupolino . . . . . | 2 238     | 0 65   | 0 54 | 4 555               | 4 20  | —     | 0 355     | —           | 0 57         | 0 25       |
| 1° ordine esterno . . . . .         | id.       | 0 485  | 0 42 | 5 385               | id.   | 0 575 | 0 61      | 1 »         | 0 76         | id.        |
| 1° ordine interno . . . . .         | 1 013     | 0 42   | 0 35 | id.                 | id.   | id.   | id.       | id.         | id.          | id.        |
| 2° stilobate . . . . .              | id.       | 0 42   | 0 42 | 3 56                | 3 155 | 0 14  | 0 265     | —           | 0 19         | 0 19       |
| 2° ordine . . . . .                 | id.       | 0 39   | 0 35 | 4 10                | 3 20  | 0 40  | 0 50      | —           | 0 76         | 0 18       |

STATICA GRAFICA

SUL VIAGGIO DELLA SEZIONE PERICOLOSA  
LUNGO UNA TRAVE SOSTENUTA DA DUE APPOGGI  
per effetto di un sistema di carichi scorrevoli

Nota dell'Ing. CESARE MODIGLIANO

Assistente di Statica Grafica nella R. Università di Pisa.

(Veggasi la tav. xv).

I. — In un mio scritto (\*) pubblicato nel fascicolo d'agosto di questo periodico, trovasi una costruzione grafica assai semplice per determinare i limiti tra i quali oscilla la sezione di maggior pericolo, in una trave uniforme sostenuta da due appoggi, per effetto di un sistema di carichi che vi scorre sopra senza escirne mai.

(\*) Sulla posizione più favorevole di un sistema di carichi su di una trave sostenuta da due appoggi. Vol. III, pagina 119.

Mi propongo qui di dedurre direttamente da considerazioni geometriche un'altra costruzione che risolve il medesimo problema in un caso più generale; cioè, nell'ipotesi che la trave sostenuta dagli appoggi sopporti in vari punti dei carichi permanenti, e su di essa scorra una seconda trave, assai più corta, che porti seco un sistema di carichi (\*). Vedremo pure come passeggi la sezione pericolosa dentro ai limiti così determinati; come questa costruzione risolve ancora il caso già trattato in modo diverso nella citata memoria, e come la nota costruzione per caso di un solo carico mobile rientri in questa che sto per esporre.

II. — Sia L una trave di peso P, e siano  $p_1, p_2, p_3$  i suoi carichi permanenti (fig. 1). Supponiamo il peso della trave concentrato nel suo punto di mezzo A, che ne è il centro di gravità, e per mezzo del poligono delle forze (fig. 2) e del corrispondente poligono funicolare si determini (fig. 4)

(\*) Le azioni di questa seconda trave e dei carichi mobili con essa si suppongono del tutto indipendenti.

la risultante  $R=P+p_1+p_2+p_3$ ; quindi si costruisca la spezzata  $ac$ , si conduca la diagonale  $db$ , e dal punto  $i$  l'orizzontale  $tu$ . Allora il poligono intrecciato  $acuta$  dà gli sforzi di taglio dovuti al peso della trave ed ai carichi permanenti.

Sia ora  $\lambda$  (fig. 3) la trave mobile di peso  $\Pi$  con sopra i carichi  $\pi_1, \pi_2, \pi_3$ , e supposto che la trave  $L$  scorra sotto ad essa, consideriamone una posizione qualunque  $L_2$ . Si supponga concentrato nel punto medio di  $\lambda$  il peso  $\Pi$ , e mediante il poligono delle forze (fig. 4) ed il corrispondente poligono funicolare si costruisca la risultante  $R=\Pi+\pi_1+\pi_2+\pi_3$ , ed il poligono intrecciato  $qrkhq$ ; questo rappresenta, per la posizione  $L_2$  del trave  $L$  rispetto a quello  $\lambda$ , gli sforzi di taglio dovuti a tutto il sistema mobile, i quali, sommati con gli altri della fig. 1, danno gli sforzi totali a cui è sottoposta la  $L$  nella posizione  $L_2$ .

Ma nei due poligoni  $acuta, qrkhq$ , gli sforzi di taglio sono disposti, rispetto alle orizzontali  $tu, hk$ , nello stesso modo a seconda del loro segno; basta adunque capovolgere il poligono  $qrkhq$  e disporlo in guisa che il lato  $hk$  coincida esattamente con  $tu$  per avere un poligono intrecciato  $acr'q'a$ , le cui corde verticali sono la somma delle corrispondenti corde dei due poligoni primitivi, e, contate a partire dalla spezzata  $q'r'$ , rappresentano perciò gli sforzi di taglio totali per la posizione  $L_2$  della trave  $L$ .

La proiezione del nodo  $s_0$  sulla  $L$  è la sezione pericolosa.

Ripetendo simile costruzione per tante posizioni vicine di  $L$ , si avrebbe una serie di punti dei quali i due estremi possono ritenersi approssimativamente per i limiti richiesti; però essi possono determinarsi con esattezza in modo più semplice e diretto.

III. — Mano a mano che il sistema mobile si avvanza da sinistra a destra, cioè che il trave  $L$  scorre sotto al sistema da destra a sinistra, il lato  $hk$  del poligono intrecciato (fig. 3) si sposta verso la sinistra e verso l'alto; perciò la parte  $ur'q't$  del poligono completo nella fig. 1 cammina mantenendosi sempre parallela a se stessa, verso la destra e l'alto. Inoltre dalla fig. 3 si rileva come ad uno spostamento laterale

$$\delta = ev$$

corrisponda un innalzamento

$$\varepsilon = \psi g = \delta \tan \alpha = \delta \frac{\Pi + \sum \pi}{L}$$

dove il coefficiente di  $\delta$  è costante; se ne conclude adunque, che i punti della spezzata  $q'r'$  percorrono tante linee rette parallele ad  $ef$ .

Ciò posto, se da un punto qualunque  $v'$  della spezzata  $q'r'$  conduciamo una parallela ad  $ef$  e la prolunghiamo fino a che tagli in  $z$  la spezzata  $ac$ , è chiaro che il punto  $v'$  non potrà passare da una parte all'altra della spezzata  $ac$ , senza attraversarla in  $z$ , ed in  $z$  pure la traverseranno tutti gli altri punti nei quali il prolungamento della  $v'z$  incontra la spezzata  $q'r'$ .

IV. — Profittando di questa proprietà, si possono risolvere le due questioni che enuncio complessivamente così:

Determinare la posizione o le posizioni del sistema mobile, per le quali la sezione di maggior pericolo coincide con un punto dato  $\tau$  (fig. 3) della trave  $\lambda$ , o  $s_z$  (fig. 1) della trave  $L$ .

*Soluzione della quistione 1<sup>a</sup>.* Dal punto  $\tau$  si conduca una verticale  $\tau\tau''$  e si prolunghi fino a che tagli la spezzata  $mp$ , si riporti il punto d'intersezione  $\tau''$  in  $\tau'$  sulla fig. 1, se ne tracci la traiettoria, e dal punto in cui essa taglia la spezzata  $ac$  si innalzi una verticale fino a che incontra la  $L$ ; il punto così ottenuto risolve la prima quistione, e quando  $\tau$  coincide con esso, la sezione pericolosa gli cade sotto.

Se il punto  $\tau$  fosse dato sotto uno dei carichi, la verticale condotta per quello cadrebbe sopra un lato verticale della spezzata  $mp$ , cioè la taglierebbe in tanti punti successivi, e siccome ad ognuno di essi corrisponde una posizione del

sistema, così se ne trae che, se queste posizioni non coincidono tutte, la sezione pericolosa camminerebbe per un certo tratto mantenendosi sotto a quel carico.

*Soluzione della quistione 2<sup>a</sup>.* Dal punto  $s_z$  si abbassi una verticale fino a che tagli la spezzata  $ac$ , e dal punto d'incontro  $z$  si tracci una parallela ad  $ef$ , che taglierà la spezzata  $q'r'$ , per es., in  $v'$ . Se si costruisce una congruente di quella spezzata in modo che il punto omologo a  $v'$  cada in  $z$ , la proiezione dei suoi vertici sopra la  $L$  ci dà la posizione richiesta dei carichi del sistema mobile. Si noti però che potendo la  $z v'$  tagliare la spezzata  $q'r'$  in vari punti, il problema può avere più soluzioni, cioè la sezione pericolosa può passare più volte per un medesimo punto durante la corsa del sistema mobile.

Se prendiamo il punto  $s_z$  sotto uno dei carichi permanenti, esso ci dà tante posizioni successive o coincidenti del sistema mobile, alle prime delle quali corrisponde una sosta della sezione pericolosa sotto al carico.

V. — Da quanto si è detto nel paragrafo III rilevasi ancora come, supposti noti sulla spezzata  $ac$  i limiti richiesti, e condotte per essi due parallele ad  $ef$ , le traiettorie dei punti della spezzata  $q'r'$ , che possono diventar nodi nella fig. 1, debbono cadere tutte quante fra quelle due.

Cominciamo adunque dal costruire sulla fig. 1 le due posizioni  $m'n'$  (rossa),  $o'p'$  (bleu) della spezzata mobile, corrispondenti alle posizioni estreme di  $\lambda$ , e riportiamo i punti  $s_1, s_2$ , così ottenuti, in  $F, G$  sopra la stessa poligonale  $q'r'$ , tirando le traiettorie  $s_1F, s_2G$ ; la porzione  $FG$  della  $q'r'$  è la sola che, durante la corsa del sistema mobile, passa da una parte all'altra della spezzata  $ac$ . Basta quindi tracciare le due rette  $\sigma X, \sigma Y$  parallele ad  $ef$ , e tali che racchiudano tra loro tutta la  $FG$ ; i loro punti d'intersezione  $X, Y$  con la spezzata  $ac$ , proiettati sulla  $L$ , ci danno in  $s_x, s_y$  i limiti richiesti.

VI. — S'intende come si possa in pratica fare a meno di molte linee che nelle figure dimostrative richiamate hanno servito solamente alla dimostrazione. Così, per es., la fig. 8, insieme alle fig. 2 e 4, rappresenta la ricerca dei limiti  $s_x, s_y$  per la medesima trave  $L$ , e gli stessi carichi permanenti e mobili della fig. 1, con la sola differenza che non vi è con questi ultimi la trave  $\lambda$ . Anzi, anche in questa figura si può risparmiare per lo meno la linea  $L_1L_1$  che rappresenta una posizione estrema della trave  $L$ .

Quando non vi fossero carichi permanenti, invece della spezzata  $ac$  si avrebbe una linea retta, e si risparmierebbero il poligono delle  $\pi$  ed il corrispondente poligono funicolare.

VII. — Vediamo ora come la nota costruzione per il caso di un solo carico mobile possa anche dedursi immediatamente dalla nostra.

Sia  $\Pi$  (fig. 7) il carico che scorre sulla trave  $L$ , e siano  $p_1, p_2, p_3$  i carichi permanenti ch'essa sostiene. Si costruisca il poligono intrecciato  $fgedf$  ed una posizione qualunque  $m'n'$  della poligonale mobile. Le rette  $b'u, a'v$ , parallele a  $pq$ , sono le traiettorie estreme che ci danno  $X, Y$ .

Ma

$$\frac{b'r}{dr} = \frac{bo}{ho} = \frac{\Pi}{L} = \frac{a'r}{re} = \frac{ao}{ok}$$

dunque le rette  $b'u, a'v$  passano rispettivamente per  $d$ , e per  $e$ , e si ha

$$dv = eu = \Pi$$

che è quanto si voleva dimostrare.

VIII. — Proseguendo nelle nostre ricerche, vediamo che cosa accade della sezione pericolosa dentro ai limiti che già sappiamo determinare. A tale oggetto consideriamo una spezzata fissa  $fg$  (fig. 5) ed il tratto  $mn$  di spezzata mobile che l'attraversa da una parte all'altra; di più conveniamo, per brevità, che quando si parla di proiezione di tratti d'una

delle spezzate sull'altra, s'intenda ch'esse sono eseguite nella direzione delle traiettorie.

1°. Il tratto obliquo *ba* della spezzata fissa, si proietta orizzontalmente in *s<sub>2</sub>s<sub>3</sub>* e sulla spezzata mobile, prima nel tratto verticale *zu*, quindi in quello obliquo *uv*. Ciò vuol dire che la sezione pericolosa percorre il tratto *s<sub>2</sub>s<sub>3</sub>* di *L* insieme al carico rappresentato da *tu*, poi lo lascia e torna indietro fino in *s<sub>2</sub>* mentre il sistema mobile percorre una lunghezza *c<sub>3</sub>c<sub>4</sub>*.

Si osservi che se l'angolo della *nu* coll'orizzontale fosse uguale, o maggiore, di quello delle traiettorie, la sezione pericolosa giunta in *s<sub>3</sub>* invece di retrocedere dovrebbe rispettivamente arrestarsi o proseguire.

2°. I tratti verticali *ki*, *he*, *db*, della spezzata fissa, si proiettano rispettivamente sui tratti obliqui della spezzata mobile *pm*, *tr*, *nv*, le cui proiezioni orizzontali sono: *e<sub>0</sub>e<sub>1</sub>*, *e<sub>2</sub>e<sub>3</sub>*, *e<sub>4</sub>e<sub>5</sub>*. Da ciò si rileva che, sotto al carico permanente rappresentato da *kb*, la sezione pericolosa fa, ad intervalli, tre soste le cui durate, indicando con *V* la velocità uniforme del sistema mobile, sono date da

$$t_1 = \frac{c_0 c_1}{V} \quad t_2 = \frac{c_2 c_3}{V} \quad t_3 = \frac{c_4 c_5}{V}$$

Si vede adunque come proiettando orizzontalmente le proiezioni di tutti i vertici delle due spezzate compresi tra le traiettorie estreme, si hanno tutti gli elementi necessari per sapere che cosa avviene della sezione pericolosa durante la corsa del sistema.

Così, per es., nel nostro caso chiamando  $\pi_1, \pi_2, p$ , i carichi rappresentati da *qr*, *tu*, *kb*, la sola ispezione della fig. 5 ci dice che la sezione pericolosa, dopo essersi trattenta nella sua posizione iniziale *s<sub>0</sub>* per un tempo  $\frac{c_0 c_1}{V}$ , muove incontro al sistema fino a che trova in *s<sub>1</sub>* il carico  $\pi_1$ ; allora torna con esso in *s<sub>2</sub>* dove si trattiene ad aspettare il carico  $\pi_2$  che giunge dopo un tempo  $\frac{c_2 c_3}{V}$ , prosegue con questo fino in *s<sub>3</sub>*, quindi retrocede e si ferma di nuovo in *s<sub>1</sub>* per rimanervi definitivamente; mentre il sistema mobile in un tempo  $\frac{c_4 c_5}{V}$  termina la sua corsa.

IX. — A completare le cose finora esposte determinerò ancora l'espressione algebrica di alcuni dei valori già trovati graficamente.

Siano *dg*, *bf* (fig. 9), due posizioni di un lato obliquo della poligonale mobile, sia *db* la traiettoria di uno dei suoi punti, ed *mn* un lato obliquo della poligonale fissa.

Allo spostamento *ab*= $\delta$  del sistema, ne corrisponde uno *x*=*hc* della sezione pericolosa. Esprimiamo *x* per  $\delta$ . Dai triangoli *feh*, *heg*, si ha:

$$fh = he \tan \beta \quad , \quad hg = he \tan \gamma$$

quindi  $fg = x(\tan \beta + \tan \gamma)$ ;

analogamente dai triangoli *dab*, *cab*:

$$cd = \delta(\tan \alpha - \tan \beta)$$
;

ed essendo *fg*=*cd*,

confrontando i valori, si ha:

$$x(\tan \beta + \tan \gamma) = \delta(\tan \alpha - \tan \beta) \quad \dots \quad (1)$$

ovvero:

$$x \left( \frac{\Pi}{\lambda} + \frac{P}{L} \right) = \delta \left( \frac{\Pi + \Sigma \pi}{L} - \frac{\Pi}{\lambda} \right) \quad \dots \quad (2)$$

che dà *x* in funzione del cammino  $\delta$  fatto dal sistema, e di elementi noti.

Dalla (2) intanto si rileva che la sezione pericolosa, quando non si trova sotto ad alcun carico, cammina in senso contrario o nel medesimo senso del sistema, secondochè

$$\frac{\Pi + \Sigma \pi}{L} > \frac{\Pi}{\lambda}$$

$$\frac{\Pi + \Sigma \pi}{L} < \frac{\Pi}{\lambda}$$

e rimane ferma se

$$\frac{\Pi + \Sigma \pi}{L} = \frac{\Pi}{\lambda}$$

Nel caso che più facilmente si presenta nella pratica, in cui si ha il sistema  $\Sigma \pi$  senza il trave  $\lambda$

$$\beta = 0 \quad , \quad \tan \alpha = \frac{\Sigma \pi}{L}$$

e la (2) diviene:

$$x = \delta \frac{\Sigma \pi}{P}$$

cioè per un cammino  $\delta$  del sistema la sezione pericolosa percorre verso quello una lunghezza

$$\delta \frac{\Sigma \pi}{P}$$

quindi sezione e sistema, si avvicinano di:

$$\delta \left( 1 + \frac{\Sigma \pi}{P} \right)$$

Quando la sezione pericolosa lascia uno dei carichi per andare incontro al successivo che si trovi dal primo alla distanza *D* (libera di carichi permanenti), si ha:

$$D = \delta \frac{P + \Sigma \pi}{P}$$

cioè il sistema dovrà camminare per

$$\delta = D \frac{P}{P + \Sigma \pi} \quad \dots \quad (3)$$

e la sezione per

$$x = D \frac{\Sigma \pi}{P + \Sigma \pi} \quad \dots \quad (4)$$

ciò che corrisponde esattamente a quanto abbiamo trovato nella già citata nota.

Infatti, chiamando colà  $\psi$  la proiezione verticale di *pg*, si ha:

$$\beta_2 = \psi \frac{L}{P + \Sigma p}$$

ma

$$\psi = D_1 \tan \alpha_1 = D_1 \frac{P}{L}$$

quindi

$$\beta_2 = D_1 \frac{P}{P + \Sigma p}$$

e

$$D_1 - \beta_2 = D_1 \left( 1 - \frac{P}{P + \Sigma p} \right) = D_1 \frac{\Sigma p}{P + \Sigma p}$$

che corrisponde identicamente alla (4) ora trovata.

X. — Sia *ab* (fig. 10) un lato verticale della spezzata mobile corrispondente ad un carico  $\pi_r$ , e siano *ac*, *bd* le traiettorie dei suoi estremi che lo proiettano in *ce* su di un lato obliquo della spezzata fissa. Il nodo del poligono completo che dà gli sforzi di taglio, resterà su *ab* fino a che percorre il tratto *ce* della spezzata fissa; dunque la sezione pericolosa camminerà col carico  $\pi_r$  per il tratto *x*=*ef*.

Ora, dalla fig. 10 si ha:

$$cd = ef(\tan \alpha + \tan \gamma)$$

ovvero

$$\pi_r = x \left( \frac{\Pi + \Sigma \pi}{L} + \frac{P}{L} \right)$$

donde

$$x = \pi_r \frac{L}{P + \Pi + \Sigma \pi}$$

Nel caso in cui non vi sia la trave  $\lambda$ , si ha:

$$\Pi = 0 \quad \text{ed} \quad x = \pi_r \frac{L}{P + \Sigma \pi} \quad \dots \quad (5)$$

espressione identica a quella già trovata nella mia prima nota.

XI. — Se il sistema mobile incontra un carico permanente  $p_r$ , rappresentato dal tratto verticale *ab* (fig. 6) che si proietta, sulla spezzata mobile, nel tratto *mo* di un lato



obliquo, il sistema cammina per una lunghezza  $mq=x$  senza che la sezione pericolosa si muova di sotto a  $p_r$ . Ma si ha:

$$ab=op=mq(\tan\alpha-\tan\beta)$$

ovvero 
$$p_r=x(\tan\alpha-\tan\beta)$$

donde 
$$x=\frac{p_r}{\frac{\pi+\Sigma\pi}{L}-\frac{\pi}{\lambda}}$$

Se non vi è il trave  $\lambda$ , allora

$$x=p_r \frac{L}{\Sigma\pi}$$

e la sezione pericolosa risparmia un cammino

$$p_r \frac{L}{P+\Sigma\pi}$$

facendo invece una sosta, la cui durata, indicando sempre con  $V$  la velocità uniforme del sistema, è

$$t=\frac{L}{V} \frac{p_r}{P+\Sigma\pi}$$

Se del lato  $ab$  si proiettasse, sul lato obliquo  $mn$ , solamente una parte  $\varepsilon$ , si avrebbe:

$$t=\frac{L}{V} \frac{\varepsilon}{P+\Sigma\pi}$$

Quando poi il lato  $ab$ , si proietta invece tutto sopra un tratto verticale  $mn$  (fig. 11) della spezzata mobile, l'incontro del carico permanente avviene mentre la sezione pericolosa cammina col carico  $\pi_r$ , rappresentato dal lato  $cd$ , ed essa non si arresta sotto a  $p_r$ ; ma invece di percorrere con  $\pi_r$  una lunghezza

$$hg=L \frac{\pi_r}{P+\Sigma\pi} \quad V. \text{ formula (5)}$$

fa solamente un cammino

$$x=hf=hg-fg$$

Ora:

$$fg=L \frac{p_r}{P+\Sigma\pi}$$

dunque:

$$x=L \frac{\pi_r-p_r}{P+\Sigma\pi}$$

XII. — Dalle (3) e (4), si rileva come la velocità colla quale cammina la sezione pericolosa verso il sistema mobile, è data ad ogni istante da

$$v=V \frac{\Sigma\pi}{P}$$

anche se  $V$  varia col tempo.

Ing. CESARE MODIGLIANO.

## TECNOLOGIA INDUSTRIALE

LA NUOVA INDUSTRIA FONDATA SULLA TEMPERA  
DEL VETRO E DEL CRISTALLO

Due conferenze pratiche tenute il 13 e 20 maggio 1877

dal Prof. ORAZIO SILVESTRI

DIRETTORE DEL LABORATORIO DI CHIMICA TECNOLOGICA  
nel R. Museo Industriale Italiano.

1. — Due secoli indietro da una fabbrica di vetro dell'Olanda si propagarono per l'Europa col nome di *Lacrime Bataviche* (\*), ovvero di *goccioline del principe Rupert* (\*\*)

(\*) Da Batavia, capitale del Regno Batavico, sede del governatore generale olandese.

(\*\*) Dal principe Rupert, che le introdusse in Inghilterra nel 1661.

certe piccole masse di vetro in forma di goccioline, aventi una coda piuttosto lunga, talmente dure nella loro parte più rigonfiata da poterle battere fortemente col martello sopra un'incudine senza che si rompano. Questa proprietà non poteva fare a meno di recar meraviglia, giacchè conoscendo la sostanza che le formava, svelava un carattere che fa contrasto con la comune fragilità del vetro. Tali goccioline (che furono ottenute la prima volta, come si ottengono anche oggi, colando del vetro ben fuso nell'acqua fredda) presentano di più, come tutti sanno, il fatto curioso che se si rompe con una pinzetta di ferro la loro sottile coda, scoppiano riducendosi in una infinità di frantumi estremamente minuti. Tali proprietà le potete voi stessi facilmente verificare cimentando come io faccio ora (*1<sup>a</sup> Esperienza*) le dette goccioline nei modi testè indicati.

Le lacrime bataviche formarono per molto tempo oggetto di curiosità e servirono alla scienza offrendo un fatto importante per la interpretazione della costituzione fisica della materia. Esse stesse domandarono alla scienza la loro ragione di essere ed i fisici si occuparono a spiegare le loro proprietà. Il vetro, il cristallo, sono sostanze coibenti per il calore, cioè lo trasmettono difficilmente nelle loro masse, a differenza dei metalli ed altri corpi che si dicono conduttori; ma una volta che sono riscaldati a temperature elevate conservano lungamente il calore e lo perdono con difficoltà anche sotto la influenza di cause raffreddatrici esterne. Se provate a colare nell'acqua, anche gelata, del vetro fuso a gran calore, voi osserverete che la massa del medesimo, quantunque si raffreddi istantaneamente nel suo strato superficiale esterno, al quale il contatto dell'acqua fredda sottrae rapidamente il calore, tuttavia negli strati più profondi si mantiene per un certo tempo (proporzionato al volume del vetro) incandescente tanto da avere nel bagno di acqua e nell'interno del vetro, cioè in due mezzi materiali a contatto tra di loro, due temperature estremamente opposte. Che cosa avviene del vetro sottoposto a tale condizione? Ognuno sa che somministrando calore ad un corpo che nelle condizioni ordinarie è solido, questo presenta per primo fenomeno la dilatazione per il che assorbe il calore comunicato: giunto al massimo della dilatazione il corpo solido perde questo stato e si fa poco a poco liquido, con la cosiddetta fusione. Allorchè è completamente fuso continua ad aumentar di volume col crescere in esso la influenza della temperatura, finchè (se è corpo volatile) si trasforma in vapore. Nel vetro che non è volatile ma corpo fisso, il fenomeno rimane al mutamento fisico dallo stato solido al liquido, raggiungendo il massimo grado di dilatazione allorchè diviene liquido abbastanza fluido da potere colare ed essere soffiato o modellato. Ora, se una massa di vetro si trova in tale condizione ed è all'esterno bruscamente raffreddata e solidificata, con questa contrazione istantanea che ne solidifica lo strato esterno, si forma un involucro solido e rigido intorno ad una massa che lentamente raffreddandosi, conserva un volume il quale è molto maggiore di quello che assumerebbe se lentamente si raffreddasse in tutte le sue parti senza questa causa disturbatrice esterna. Ne viene da ciò che le particelle del vetro si aggregano in un sistema di equilibrio instabile, cioè che ha per sola base di appoggio lo strato esterno rapidamente solidificato che forma una volta sottile, solida e dura finchè è tutto unito; rompendosi questo strato in qualche punto, le particelle si disgregano immediatamente come mancanti fra di loro di coesione. Questa è la spiegazione delle proprietà delle lacrime bataviche come di qualunque massa anche grande e di qualunque forma di vetro sottoposta alle condizioni indicate di brusco raffreddamento dopo fusione; in ogni caso si presenta il fenomeno di estrema durezza esterna e di fragilità interna, analogamente alle lacrime bataviche. Osservate infatti (*2<sup>a</sup> Esperienza*) come per mezzo di vetro ben fuso che tolgo adesso dalla fornace, io ottengo davanti a voi, colandolo nell'acqua o raffreddandolo istantaneamente, degli oggetti variabili per forma e grandezza, dotati delle suddette proprietà come le lacrime bataviche.

Non è solo il vetro che presenta dei cambiamenti notevoli nella sua costituzione fisica per effetto di elevato calore succeduto da un raffreddamento istantaneo. Troviamo più o meno

l'effetto di questa influenza con manifestazioni o eguali o differenti, fino ad essere anche diametralmente opposte a quelle del vetro, ingenerale su tutti i corpi, siano semplici siano composti.

Come esempio tra i primi vi prendo il solfo: (3<sup>a</sup> Esperienza). Se alla temperatura della sua fusione, che è di 115°, o ad una temperatura anche maggiore 140°, 150°, io lo colo nell'acqua ordinaria, si ha immediatamente, come vedete, duro e fragile; ma se invece io lo raffreddo nella stessa guisa dopo che ha acquistato la temperatura di 230° allora non si solidifica, ma si mantiene molle, pastoso ed elastico.

Come esempio tra i corpi composti eccovi dell'acido borico che, come vedete, (4<sup>a</sup> Esperienza) riscaldandolo ad elevata temperatura si fonde e diventa pastoso e fluente come il vetro. Se dopo ciò lo verso a poco a poco in un bagno di olio freddo, ottengo delle goccioline che hanno le stesse proprietà delle lacrime bataviche.

Un altro esempio lo abbiamo nell'acciaio, ossia nel ferro contenente del carbonio, il quale, come è noto e come ora vi mostro (5<sup>a</sup> Esperienza) se è riscaldato e poi istantaneamente raffreddato, prende la cosiddetta tempera dura, che oltre alla durezza tale da poter incidere il vetro, gli dà una elasticità sua propria; durezza ed elasticità che crescono quanto più è la distanza tra il grado di calore e di freddo che ha subito, e in proporzione diretta della durezza ed elasticità cresce la fragilità. Per ciò una lamina d'acciaio temperato è dura e fragile e nel piegarla oltre certi limiti si rompe come il vetro, mentre invece se non è temperata non è dura, non è elastica, ma si può piegare ed ha una tenacità come il ferro.

Bastano questi esempi per dimostrare che la influenza generale del caldo e del freddo sui corpi produce quel complesso di effetti al quale si dà generalmente il nome di tempera. Il solfo reso pastoso ed elastico si dice temperato, l'acciaio reso duro, elastico e fragile si dice temperato, il vetro delle lacrime bataviche o che ha la proprietà di questo, si dice pure temperato.

Ora, mentre le proprietà della tempera di alcuni corpi sono state subito applicate utilmente alla industria (come ce ne dà chiaro esempio l'acciaio), invece quelle di altri, come del vetro, sono rimaste a fornire finora oggetti di semplice curiosità, tra i quali da principio le lacrime bataviche, indi le boccie dette di Bologna o *firole filosofiche*, recipienti cavi a pareti grosse, che si ottengono nelle vetrerie soffiando del vetro con una canna di ferro e poi esponendoli a raffreddamento istantaneo gettandoli a terra. Esse sono come lacrime bataviche cave: colpite anche fortemente al di fuori non si spezzano, ma gettando nella loro cavità un corpo duro capace di intaccare appena lo strato esterno, scoppiano in frantumi come quando si rompe la coda delle lacrime bataviche. Questa condizione che rappresenta casi estremi e particolari della tempera del vetro ha spiegato tale influenza sulla industria vetraria fino a questi ultimi tempi, da dover ritenere il carattere proprio di fragilità come una delle conseguenze più dannose alla fabbricazione degli oggetti di vetro e cristallo, e tale da non tenere in nessun conto il pregio della resistenza e durezza esterna che pure ne deriva. Anzi, nell'osservare che le lacrime bataviche o le firole filosofiche scaldate al rosso vivo e quindi lasciate lentamente raffreddare perdono la loro proprietà di scoppiare e quella tensione nel loro equilibrio molecolare che ne stabilisce la fragilità già notata, si è con studio schivata l'azione di bruschi raffreddamenti negli oggetti lavorati, tanto che in tutte le vetrerie vi sono forni speciali, o si destinano alcune parti delle fornaci di fusione, allo scopo di ottenere la cosiddetta *ricottura* degli oggetti fabbricati, per mezzo della quale essi vengono a sentire gli effetti di un calore che va mano mano diminuendo finchè lentamente si riducono alla temperatura ordinaria (\*). Ciò sempre per togliere gli effetti di

una tempera anche parziale. L'indirizzo, lo scopo ed il concetto di questa pratica è rimasto costante fino a due anni indietro e sembra quasi che fosse necessario uno estraneo alle conoscenze pratiche dell'industria vetraria perchè vi determinasse una innovazione.

2. — Nel 1874 il signor Francesco Royer De La Bastie, agricoltore francese, ebbe il pensiero e si procurò i mezzi per studiare gli effetti della tempera del vetro negli oggetti fabbricati partendo dal principio che *la fragilità ordinaria del vetro* dipende da poca coesione delle particelle che lo formano; sicchè restringendole e rendendo la materia più compatta pensò essere possibile dargli la solidità che gli manca. Il tentare questo risultato con la compressione sul vetro fluido e pastoso, presenta grandi difficoltà pratiche e in realtà le prove fatte da De La Bastie non ebbero risultati favorevoli: stabili quindi di applicare sul medesimo il principio della tempera dell'acciaio. Però aveva presenti le proprietà delle lacrime bataviche e del vetro fuso colato e bruscamente raffreddato che acquistano un grado eccessivo di fragilità; e si propose di tentare tutti i mezzi per attenuare con una speciale tempera questa condizione di estrema fragilità, facendo in certo modo prevalere quella della durezza e della solidità esterna degli oggetti di vetro lavorato. Ad ottenere tale risultato e dovendo rinunciare alla fusione completa del vetro, per farne l'applicazione ad oggetti di forma determinata, si mise a cercare due condizioni essenziali: 1° Il grado di temperatura a cui gli oggetti di vetro si possono temperare senza deformarsi; 2° Il modo di ottenere nel vetro lavorato e riscaldato un raffreddamento istantaneo in grado tale però da non rompere gli oggetti.

Vedete che la ricerca di queste due condizioni in oggetti di vetro aventi forme determinate e svariate secondo gli usi, mostra un'arditezza di concetto non comune perchè essa fa perfettamente contrasto con ciò che l'esperienza ordinaria finora ha insegnato, che riscaldando bruscamente un oggetto di vetro freddo o raffreddando bruscamente un oggetto di vetro riscaldato, in ambedue i casi va soggetto a rottura certa, ed è su questo principio fondato il mezzo conosciuto e praticato generalmente nei laboratori per rompere e tagliare il vetro. Senza starvi a enumerare tutti i lunghi tentativi intrapresi con grande perseveranza malgrado i risultati negativi ottenuti in principio, vi dirò in breve che finalmente il De La Bastie riportò un meritato frutto de' suoi sforzi. Infatti il 24 ottobre 1874 ottenne per la Francia un certificato di privativa intitolato: *Procédé et appareils nouveaux pour la trempe du verre plat et façonné*, e quasi contemporaneamente attirò l'attenzione generale nel presentare i primi oggetti di vetro da lui temperati che sfidavano i colpi, le cadute, i calore istantaneo come l'istantaneo raffreddamento, e ciò contro le proprietà comuni del vetro ordinario.

Le due condizioni che il De La Bastie si era proposto di trovare per una tempera applicabile, le trovò e le seppe determinare di fatto, e queste sono: 1° Un calore vivo fino al punto di fare acquistare un primo grado di rammollimento agli oggetti di vetro a pareti grosse, ovvero solo un calore rosso per oggetti sottili, facili a deformarsi; 2° Un bagno di materia liquida la cui temperatura possa elevarsi gradatamente anche al disopra di 100 gradi senza bollire, e questa materia la trovò nella cera, nei grassi, negli olii vegetali, negli olii densi minerali, nelle resine, nei catrami, ecc.

Per mostrarvi come realizzando praticamente queste due condizioni si possa ottenere la tempera del vetro, io ho disposto qui tutto il necessario per la operazione.

6<sup>a</sup> Esperienza. Abbiamo qui pronti in alcune cassule di ferro dei bagni di differenti materie; uno di sego ben privo d'acqua, uno d'olio puro di oliva, uno di glicerina ed altri formati da miscugli di grassi diversi. Tutti sono riscaldati a temperature superiori ai 100° (dai 150 ai 200). Prendendo ora dei vetri da orologio, delle piccole lastre od altri minuti oggetti di vetro da un fornello a muffola

(\*) Come è noto, si usa anche fuori delle vetrerie di sottoporre gli oggetti di vetro; p. es., bicchieri, tubi per lampade, boccie, ecc., ad una seconda ricottura introducendoli in un recipiente con acqua che si porta a poco a poco all'ebullizione e

dopo aver bollito per alcune ore si lascia lentamente raffreddare. Talvolta invece di acqua si applica dell'olio, specialmente nel caso dei tubi da manometri, per riscaldarli a più di 100 gradi.

dove sono stati scaldati alla temperatura della incandescenza in cui principia il loro rammollimento, e immergendoli con destrezza e sollecitudine in alcuno di detti bagni (dei quali però preferisco adesso in queste condizioni e per la qualità del vetro quello di sego) gli oggetti si raffreddano istantaneamente fino alla temperatura del bagno e restano *temperati* acquistando senza rompersi le proprietà caratteristiche delle quali vi parlerò in seguito.

3. — Trovate le due dette condizioni come fondamento del processo di tempera del vetro, bisognava pure determinare i mezzi pratici per l'applicazione del processo alla grande industria.

Perchè il vetro possa essere immerso senza danno nel bagno grasso bisogna che sia riscaldato ad una temperatura molto elevata; quanto più è caldo tanto meno rischia di rompersi e più il restringimento molecolare si fa maggiore. Da qui deriva il vantaggio e spesso la necessità d'immergerlo allorchè è divenuto malleabile; ma una doppia difficoltà si presentava con ciò; il vetro malleabile si deforma facilmente e per conservarlo bisogna immergerlo nel bagno quasi senza toccarlo; d'altra parte allorchè è incandescente e entra in un liquido grasso già caldo, questo spesso prende fuoco ed è difficile spegnerlo, per cui vi è una perdita considerevole di tempo e di liquido. Questa doppia difficoltà il De La Bastie l'ha vinta, immaginando e provando apparecchi e fornaci speciali con disposizioni tali relativamente ai bagni da raggiungere il suo scopo. Vi riuscì infatti applicando un processo che consiste nel mettere il bagno di tempera in comunicazione immediata con le fornaci che più avanti descriveremo, e nel coprirlo in modo da toglierlo dal contatto dell'aria esterna, mentre resta sotto la influenza calorifica dell'ambiente della fornace. I bagni essendo in immediata comunicazione con le fornaci, ricevono gli oggetti da temperare senza altra manovra che quella di farveli scivolare o cadere con una leggera spinta, nel mentre che, essendo fuori del contatto dell'aria, non sono in condizioni da prendere fuoco.

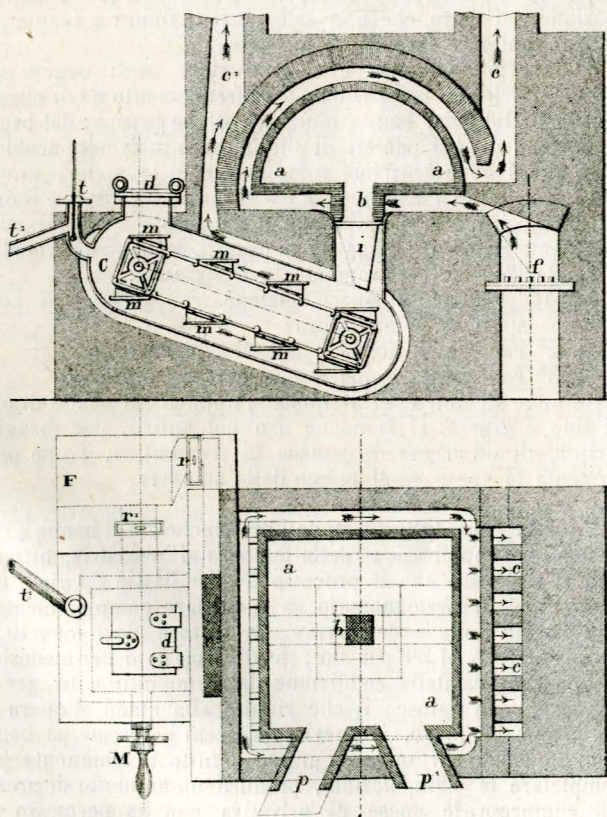


Fig. 38. - Fornace De la Bastie

per la tempera d'oggetti di vetro di forma qualsiasi.

Oltre a ciò per impedire che la limpidezza del vetro sia alterata dal fumo e dalla cenere trasportata dalla fiamma che si eleva dal focolare della fornace nell'interno di essa ove si mettono a rammollire gli oggetti, ha applicato il sistema di fornaci a muffola: in queste la fiamma passa tra le pareti della fornace e l'involucro di terra refrattaria; a questo trasmettesi il calore senza che la fiamma sia a contatto degli oggetti, ed è così impedito che questi si ricoprano di pulviscolo alla loro superficie. Finalmente è impedito l'urto secco degli oggetti sul fondo del bagno, situandovi uno strato di rete metallica o di sabbia. Per formarci un'idea più completa della costruzione e del modo di funzionare delle fornaci per la tempera del vetro, passerò a descriverne due principali che rappresentano i tipi applicati per gli oggetti di vetro più comuni e per le lastre di vetro.

4. — **Fornaci De la Bastie a muffola per la tempera degli oggetti di vetro o cristallo di forme svariate.** — La fig. 38 rappresenta in modo puramente dimostrativo la fornace per mezzo di una sezione verticale e di una sezione orizzontale all'altezza del piano o pavimento della muffola in terra refrattaria *a*; questa è sostenuta discosta dal fondo per mezzo di conveniente sostegno di mattoni, e comunica con la caldaia per mezzo di un'apertura *b* situata al centro e con lo esterno per mezzo di due luci rettangolari *p* e *p'* che attraversano il muro e vengono al di fuori della facciata del forno.

La fiamma dal focolare *f* passa sotto la muffola, poi di sopra e di fianco secondo la direzione delle frecce, per rivolgersi quindi nella intercapedine fra il cielo della muffola e la volta del forno e di là nel camino di richiamo *c*. Sotto l'influenza della fiamma da cui è completamente circondata, la muffola si riscalda facilmente al grado di calore voluto.

La caldaia *C* contiene il liquido grasso: alla sua estremità destra comunica con l'apertura sul piano della muffola per mezzo di una guaina *i*; alla sua estremità sinistra vi è un'apertura *d* munita di coperchio a cerniera che si apre quando si vogliono ritirare gli oggetti temperati dai ripiani *m*. Nell'interno della caldaia una doppia catena alla Vaucanson funziona su due verricelli che si girano per mezzo della manovella esterna *M*; i ripiani orizzontali *m* sono disposti su questa catena in modo da presentarsi sempre contemporaneamente sotto l'apertura della muffola e sotto il coperchio *d*. Un tubo *t* è destinato a ricevere un termometro; vi è di più un tubo di scolo *t'* per colare al di fuori l'eccesso di liquido della caldaia. Questa è scaldata per mezzo del focolare *F* di cui la fiamma è regolata e diretta dai registri *r* ed *r'*, e secondo il giro indicato dalle frecce si perde nel camino aspiratore *c'*.

**Modo di operare.** — Allorchè il termometro *t* indica il grado voluto, l'operaio introduce a poco a poco in una delle bocche *p* o *p'* gli oggetti di vetro; li spinge quindi nella muffola *a*, li sorveglia dall'altra bocca e con un bastone di legno li fa cadere per mezzo dell'apertura *b* centrale nel ripiano sottostante *m* della catena con l'intermezzo del canale di tela metallica *i*, che è destinato a diminuire l'urto e fare cadere opportunamente gli oggetti nel bagno.

Ciascun ripiano della catena può ricevere uno o più oggetti secondo le loro dimensioni; quando l'operaio vuol servirsi del ripiano successivo fa fare un mezzo giro alla manovella *M* che resta poi fissata al suo posto per mezzo di una conveniente tacca di arresto. Quando i ripiani ascendenti sono tutti pieni di oggetti allora l'operaio toglie il coperchio *d* della caldaia e prende gli oggetti via via dal ripiano che si presenta girando la manovella.

5. — **Doppia fornace De la Bastie a fondo inclinatasi per la tempera delle lastre di vetro.** — La figura 39 rappresenta anch'essa in modo dimostrativo una sezione longitudinale ed una sezione trasversale della fornace. Dalla prima si vede in che rapporto sta la fornace *a* della tempera con un primo scompartimento o stufa *b*. La fiamma del focolare *f* scalda direttamente la fornace *a*, poi la stufa *b*, di dove prende la direzione per il camino di richiamo *c*. Si regola l'andamento del focolare per mezzo del registro *r* che è comune a qualunque specie di fornace per la tempera.

Il fondo della fornace ha una parte *a'* mobile, in terra refrattaria perfettamente piana incassata in un telaio di

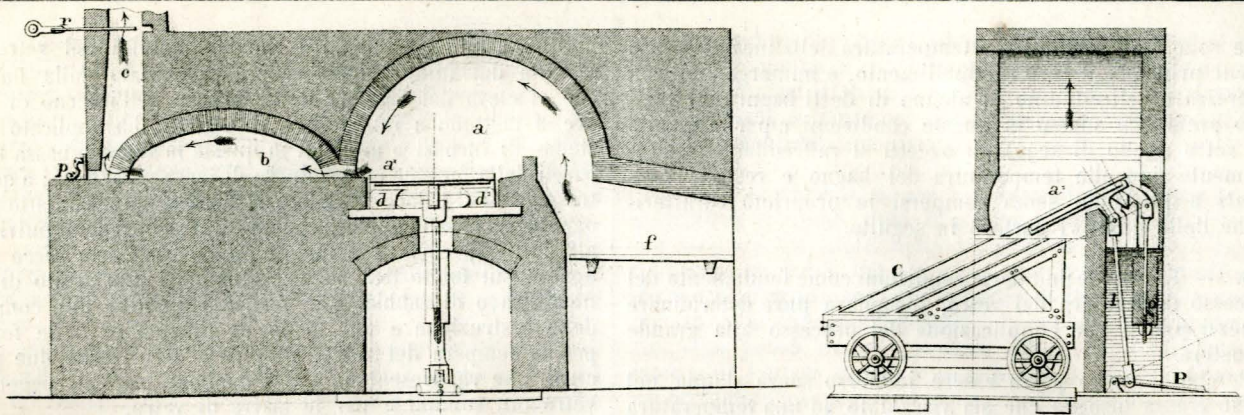


Fig. 39. - Fornace De la Bastie  
per la tempera delle lastre di vetro

ghisa che gira sui due prismi  $d d'$ . Il movimento del fondo si determina per mezzo del pedale  $P$  collegato al telaio di ghisa per mezzo dell'asta  $l$ . Il fondo è tenuto orizzontalmente nella posizione ordinaria da un pezzo di ghisa  $g$  che fa equilibrio col suo peso.

**Modo di operare.** — La lastra di vetro è introdotta nella stufa  $b$  per mezzo dell'apertura  $p$  dopo aver tolto la piastra che la chiude; la lastra si scalda così gradatamente finché viene spinta sul fondo mobile della fornace  $a$ . Quando ivi ha preso il calore necessario, l'operaio fa girare per mezzo del pedale  $P$  il fondo mobile e la lastra scorre sul piano inclinato di una caldaia  $C$  situata su di un carro a quattro ruote per poterla opportunamente spostare e allontanare nella manovra necessaria. La caldaia è divisa in vari scompartimenti pieni di liquido caldo in cui le lastre di vetro una dopo l'altra ricevono la tempera. Quando uno scompartimento è pieno, la caldaia per poco che sia spostata per mezzo delle sue ruote presenta un altro scompartimento in corrispondenza col fondo inclinato della fornace e così successivamente finché tutti gli scompartimenti sono pieni. Allora l'operaio allontana questa caldaia per sostituirvene un'altra col medesimo bagno di tempera.

6. — Conosciuto il meccanismo generale del processo debbo dirvi che nei dettagli delle particolari operazioni, intervengono molti elementi per stabilire la praticità del medesimo i quali influiscono sulla solidità del vetro temperato.

Questi elementi possono riassumersi come segue:

1° La temperatura della fornace deve essere tanto più elevata quanto più il vetro o cristallo stenta a raggiungere il suo rammollimento.

2° Quanto più è elevato il calore del rammollimento, tanto più deve essere riscaldato il bagno della tempera: questo in ogni caso non sarà mai alla temperatura ordinaria; in un bagno troppo freddo il vetro già avente una forma determinata, facilmente si rompe perchè l'azione è troppo istantanea e lo spostamento delle molecole è troppo energico.

Il grado termometrico del bagno bisogna trovarlo con tentativi giacchè varia secondo la composizione del vetro, secondo la forma, spessore e dimensione degli oggetti, secondo la temperatura necessaria al rammollimento. Occorre molto studio per fissarlo, giacchè con un certo calore il vetro si rompe, con un altro acquista solidità mediocre, con un altro il massimo di solidità.

3° La composizione del bagno varia secondo che gli oggetti sono di cristallo o di vetro; ogni oggetto di cristallo si tempera (in preferenza che nell'olio) in un bagno di grasso puro, omogeneo, scaldato per vari giorni per eliminare ogni più piccola quantità d'acqua. In questo la temperatura varia dai 60° ai 120°: si fa uso di una temperatura più bassa per gli oggetti a pareti sottili (tubi di lampade, ecc.), media per gli oggetti di media grossezza (bicchieri, ecc.), più elevata per quelli a pareti più grosse (bottiglie, ecc.).

Per il vetro il bagno non è di grasso solo, ma dovendo

essere riscaldato dai 150° ai 300° si compone un bagno di 1¼ di grasso e 3¼ olio di lino, ovvero di glicerina sola o mescolata con grasso.

4° Allorquando il vetro viene in contatto del bagno deve avere una temperatura perfettamente uniforme, condizione indispensabile per impedire la rottura che altrimenti sarebbe certa per l'ineguale tensione delle molecole. Questa condizione vuole un'abilità particolare e si stanno perciò formando ora operai speciali esclusivamente *temperatori*.

5° Per la condizione suespressa è necessaria una perfetta omogeneità del vetro e cristallo, per cui nella fusione della pasta si raccomandano precauzioni come nella durata della fusione perchè non abbia principio la così detta *devettrificazione*, cioè la proprietà che ha il vetro quando è esposto prolungatamente a elevato calore e raffreddato indi poco a poco, di perdere la sua trasparenza e le sue proprietà caratteristiche di divenire più duro, con struttura cristallina, meno facile a rompersi, meno fusibile e ciò mantenendo eguale la sua composizione (1). È per questa facile trasformazione del vetro che non si è riusciti finora a temperare oggetti saldati e formati di più pezzi.

6° Il raffreddamento e il pulimento degli oggetti vogliono pure delle precauzioni. Il raffreddamento degli oggetti temperati tolti dal bagno non deve essere brusco; dal bagno si portano dentro panieri di filo di ferro in camere scaldate a 70 gradi dove sgocciola completamente la materia grassa del bagno ad essi aderente, e ivi si tengono circa 4 o 5 ore, ed anche più per il vetro che è temperato in bagni maggiormente riscaldati. Dopo ciò gli oggetti, se sono di cristallo, si immergono successivamente in tre vasche:

La 1ª contenente una soluzione concentrata di soda caustica a 60° di temperatura;

La 2ª contenente acqua a 50° di temperatura;

La 3ª contenente acqua a temperatura ordinaria.

Se sono di vetro per il quale si applica un bagno di olio di lino e grasso, si fa anche uso nel pulirli, per maggior facilità, di un bagno di essenza di trementina, il che però aumenta la spesa ed il tempo della manovra.

7. — Malgrado tutti questi dati pratici che già si hanno e che permettono l'applicazione della tempera all'industria, tuttavia non si può dire che il processo De La Bastie sia giunto al massimo di perfezionamento da soddisfare completamente e non lasciar nulla a desiderare. La rottura degli oggetti si calcola dal 25 al 30 per 100; le deformazioni dei medesimi in conseguenza della condizione del rammollimento per la tempera, sono vistose; il che riunito alla mano d'opera di un personale nuovo, ai nuovi apparecchi necessari, ai bagni e al consumo di materie grasse e tutto il rimanente per completare le manipolazioni, produce un aumento di prezzo che comprese le spese di privativa non ha permesso fin qui di far circolare gli oggetti di vetro temperato ad un

(1) Questa qualità di vetro fu detta *porcellana di Reaumur* dall'illustre fisico che la scoprì nel 1727.

prezzo accessibile a tutti, e perciò il commercio e quindi la produzione sono rimasti finora limitati.

Con l'attuale processo non si riesce a temprare grandi lastre di vetro, nè grandi oggetti di forma determinata, perchè si rompono nel bagno dietro la difficoltà che vi è di conservare a questo una temperatura uniforme nell'intervallo di tempo necessario perchè si stabilisca il contatto in tutta la loro superficie del bagno di tempera (1).

Ma tutte le difficoltà verranno poco a poco a vincersi con la pratica giornaliera del metodo che si può dire essere in continuo progresso. Infatti De La Bastie in seguito alla prima privativa, recentemente, con attestato del 24 maggio 1876, ne ha preso una seconda di perfezionamento che ha per titolo: *Perfectionnements dans la trempe des objets en verre et notamment ceux à goulots, bouteilles, flacons, bonbonnes, carafes et vases creux*; con questo ha immaginato un apparecchio speciale per praticare la tempera negli oggetti di vetro suddetti, soffiati a collo più o meno stretto. Ha cercato di sopprimere la ricottura, il che dà gran risparmio nella rottura, e li immerge nel bagno di tempera appena fatti: tuttora attaccati alla canna di ferro, li espone per pochi minuti al calore della fornace, e dopo che hanno preso la temperatura del calore rosso, li tempera.

La tempera degli oggetti delle forme indicate offre difficoltà a motivo dell'aria che racchiudono, la quale stentando ad uscire quando si immergono nel bagno tempratore, impedisce il raffreddamento istantaneo in tutta la superficie; quindi la tempera è ineguale e per uno stato di tensione molecolare che rende instabile l'equilibrio tra le diverse parti, il più spesso avviene che gli oggetti si rompono nel bagno.

Per rimediare a ciò propone di fare uso di un apparecchio speciale, cioè di un tubo piegato a gomito con una branca lunga, obliqua immersa nel bagno e che è tenuta in mano dall'operaio, ed una branca corta la quale è perpendicolare e si fa entrare nel collo della bocca o altro oggetto di vetro e fa sì che l'aria è immediatamente scacciata dalla parte interna, mentre il liquido di tempera entra liberamente in modo che l'oggetto può temprarsi contemporaneamente ed egualmente tanto al di fuori come al di dentro ed oltre a resistere alla rottura, acquista una tempera solida.

8. — L'invenzione De la Bastie per lo sviluppo ed il perfezionamento ch'essa ha recato al processo pratico della tempera ha destato un gran movimento nell'industria vetraria, la quale, malgrado la sua antica origine di 30 secoli indietro, nulla aveva fin qui innovato per ciò che si riferisce ai caratteri fisici del vetro stesso, tanto che il vetro d'oggi è eguale, si può dire, a quello che si faceva all'epoca dei Faraoni.

La innovazione dovuta alla tempera è comparsa perciò subito come un fatto di grande interesse per l'industria, ed una Compagnia francese non tardò a costituirsi nel nome di De la Bastie e comprò dai De la Rivière, padre e figli, nel gennaio 1876, la grande cristalleria situata a Choisy-le-Roi presso Parigi. Il 15 aprile dello stesso anno incominciò la fabbricazione del vetro temperato in grande scala con una fornace a 3 aperture e 3 padelle da 500 chilogrammi ciascuna e quindi con 3500 chilogrammi di cristallo disponibili al giorno.

Nel periodo dei primi tre mesi le manovre del processo subirono nella pratica in grande molte notevoli modificazioni perchè potessero dare risultati più soddisfacenti; questi non si fecero troppo attendere e furono tali che indussero a impiantare nella stessa fabbrica una seconda fornace. Con le due fornaci si poté dar principio ad una produzione di 4000 oggetti diversi al giorno di vetro temperato. Asse-

(1) Pare che una lastra possa tanto più facilmente temprarsi senza rompersi quanto più è istantanea la sua immersione nel liquido. Forse il piano inclinato della fornace De La Bastie non è disposizione favorevole, ed è preferibile l'immersione a superficie orizzontale.

gnando ad ogni oggetto un prezzo medio di centesimi 60, la fabbricazione rappresentò presto un prodotto mensile di 72000 franchi. Dal 15 aprile al 31 dicembre 1876, in 8 mesi e mezzo la società francese malgrado le inevitabili perdite di tante esperienze fallite e di tanti tentativi ed esperimenti fatti nei primi 3 mesi, ebbe per dividendo un utile di 230,000 franchi.

Con questi felici risultati la società francese si è attualmente trasformata in anglo-francese alla testa di cui è rimasto il De la Bastie che ha largamente esteso la nuova industria. Essa conta già quattro fabbriche in Francia, una in Inghilterra, una in Sassonia, una in Germania, una nel Belgio, una in Norvegia, una in Svezia, una in Olanda, una in Danimarca, una nell'America del Nord.

L'Italia non rimarrà estranea a questa nuova industria vetraria ed è naturale che Venezia abbia compreso subito l'importanza di essere la prima a prendere l'iniziativa d'impiantare una fabbrica di vetro temperato. Le fabbriche di Murano ove già si sono fatti soddisfacenti esperimenti hanno recentemente convenuto con la compagnia anglo-francese che mediante un capitale italiano di 1 milione e 200,000 lire si attiverà ben presto in grande, anche tra noi, la fabbricazione degli oggetti di vetro temperato.

9. — Dopo il De la Bastie molti scopritori si sono fatti avanti proponendo modificazioni o processi nuovi di cui però non conosciamo i dettagli e tanto meno se essi siano applicabili. Un processo detto di Pieper fu venduto l'anno decorso (1876) ai fabbricanti di vetro di Germania, con diritto esclusivo di di praticarlo nella loro nazione, per 375 mila franchi. Consiste il nuovo metodo nel sottomettere il vetro allorchè è al calore rosso ad un raffreddamento non con bagni grassi, ma nelle fornaci stesse iniettandovi del vapore soprariscaldato (1).

Mackintosh propose di sottoporre il vetro all'azione di una temperatura molto più bassa di quella suggerita da De la Bastie per avere una tempera più forte.

Barbe e Hubert recentemente hanno combattuto il processo De la Bastie dicendo che è antico, che si usava per rendere solidi i tubi di cristallo degli indicatori di livello per le caldaie a vapore, e non era stato applicato per mancanza di carattere pratico nel medesimo: essi dichiararono di averlo reso tale immaginando un sistema di fornace in cui nel piano stesso di questa gli oggetti situati in canali speciali possono, senza essere mossi, venire inondati dal bagno grasso di tempera.

Geriche, con brevetto francese del 2 aprile 1876, propose come bagno di tempera un bagno salino a fusione ignea, senza acqua di cristallizzazione, che dice essere nociva.

Meusel di Turingia, con brevetto francese 15 dicembre 1876, suggerì invece, 4 mesi prima, di sostituire al bagno di tempera di materie grasse un bagno formato da dense soluzioni di sali fusi nell'acqua di cristallizzazione, ovvero anche formato di materie gommose.

Boistel e Léger, con brevetto francese del 4 gennaio 1876 e con aggiunte del 12 febbraio e 21 dicembre, hanno cercato di rendere l'applicazione della tempera grandemente economica, ed hanno immaginato un apparecchio per mezzo del quale gli oggetti già rammolliti nella parte più viva della fornace passano in un secondo scompartimento ove ricevono la tempera con una iniezione d'aria calda e quindi passano in un terzo scompartimento ove si raffreddano.

Jacquand da poco tempo ha preso la privativa per l'applicazione del vuoto alla tempera del vetro e del cristallo. I rischi d'incendio dei bagni grassi sono completamente eliminati: di più le bottiglie e tutti gli oggetti di forme cave a collo stretto si temperano meglio che all'aria libera la quale si oppone alla introduzione istantanea dei gas, vapori o liquidi temperatori nelle loro cavità.

Finalmente un processo particolare, modificazione di quello di De la Bastie, si pratica a Dresda nella grande vetreria di Siemens. Consiste nel servirsi di astucci di platino nei

(1) Questo processo non è finora riuscito completamente in pratica; almeno i risultati avuti fin qui non garantiscono ai compratori della privativa quel guadagno che si aspettavano.

quali gli oggetti di vetro sono rammolliti al calore senza che si deformino ed il vetro rivestito di questo involucro metallico, riceve una tempera di qualità superiore a quella di De la Bastie venendo sottoposto ad una compressione per mezzo di forme resistenti speciali le quali producono contemporaneamente il necessario raffreddamento per la tempera. Se il raffreddamento deve essere rapido, le forme sono di metallo e si preferisce il rame: se occorre che sia lento si usano forme di terra cotta o altra materia refrattaria. Per ottenere la tempera delle lastre, sono applicati dei cilindri di metallo che permettono di avere delle lastre più grandi di quelle che ha potuto ottenere De la Bastie. Secondo questo processo Siemens di *tempera e compressione*, dalle relazioni che si hanno, risulterebbero molti vantaggi su quello di De la Bastie, tra i quali anche quello di poter temperare oggetti saldati. Siemens ha presentato recentemente alla

che troviamo in esagerazione nelle lacrime bataviche. In queste abbiamo, come dissi, per proprietà più apparenti un'estrema durezza nella parte subsferica rigonfiata, insieme ad una grande fragilità nella parte affilata o coda; la prima si può battere sull'incudine col martello e non si rompe; la seconda si spezza con le dita e allora la massa di vetro, piccola o grande che sia, si rompe con esplosione dividendosi in migliaia di frantumi che si possono maneggiare impunemente giacchè non hanno spigoli vivi e non tagliano. Se questo fenomeno si ripete all'oscurità noi vediamo una emissione di luce, ed esperienze delicate di fisica dimostrano anche sviluppo di calore. Sicchè si può dire che il vetro perdendo quello stato di equilibrio forzato dalla parete esterna rigidamente consolidatasi col raffreddamento istantaneo, ha trattenuto una parte di quella stessa forza che abbiamo comunicato al vetro colla fusione.

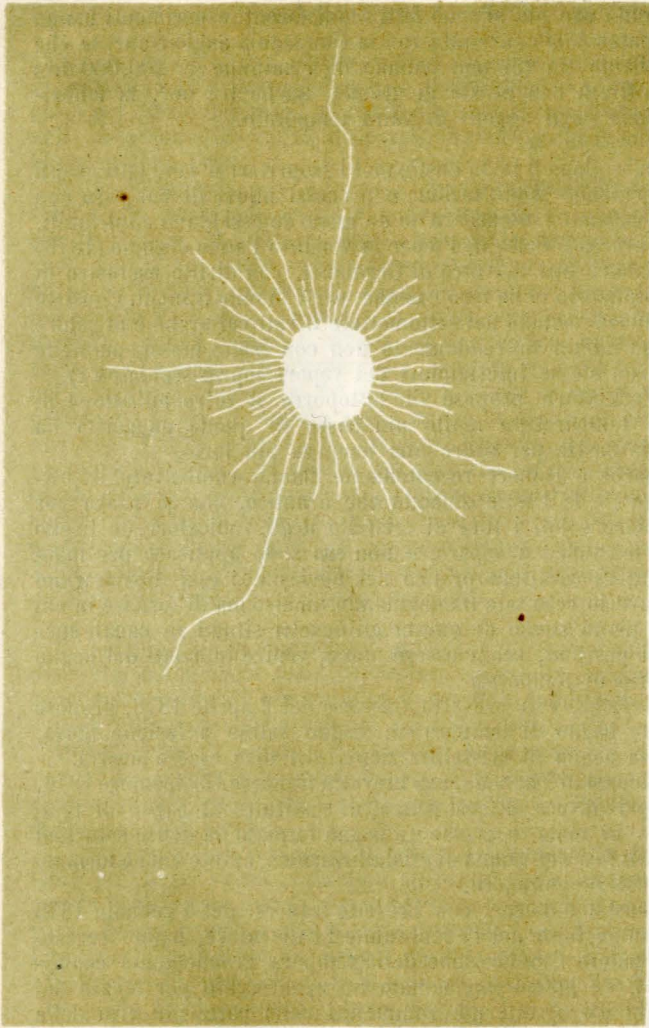


Fig. 40. — Colpo di pistola su lastra di vetro ordinario.

Società Politecnica di Berlino degli oggetti di vetro temperato a frattura fibrosa che in paragone a quelli di De la Bastie, a frattura granulare, avrebbero una resistenza maggiore nel rapporto di 5 a 3. Di più le sue lastre di vetro sarebbero 10 volte più resistenti del vetro ordinario. Una palla di piombo di 120 grammi rompe a 3 decimetri di distanza una lastra di vetro ordinaria, mentre la stessa palla, solo a colpi ripetuti e cadendo dall'altezza di 3 metri, potè rompere la lastra di vetro temperato.

10. — **Proprietà del vetro temperato.** — Il vetro temperato nel costituire oggetti di forme determinate secondo gli usi, ci presenta, si può dire, quelle stesse proprietà

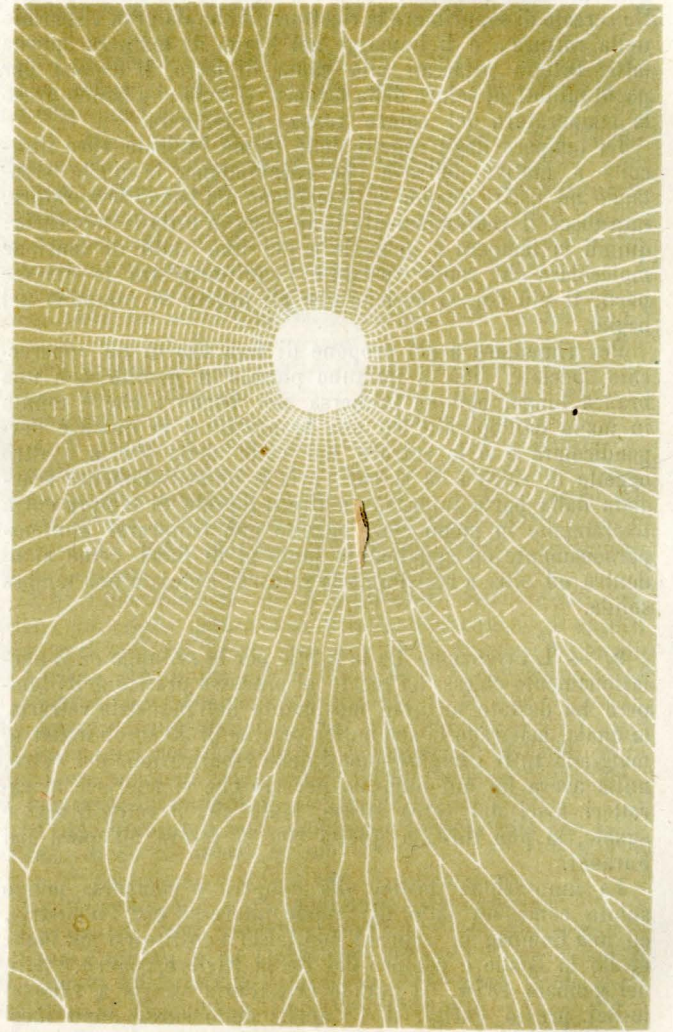


Fig. 41. — Colpo di pistola su lastra di vetro temperato.

Fenomeni simili in proporzione minore osserviamo nel vetro temperato in oggetti di qualunque forma. Così infatti presentano una grande resistenza agli urti esterni tanto da modificare l'idea volgare della grande fragilità del vetro. Per esempio un bicchiere ordinario, sia di vetro, sia di cristallo se cade in terra generalmente si rompe; un bicchiere temperato invece generalmente non si rompe. Dico generalmente perchè non si può escludere il caso di rottura. A questa proprietà di resistere non bisogna dare un carattere troppo *assoluto* come si è fatto in Francia chiamando il vetro temperato col sinonimo di *vetro infrangibile* (incassable). Un oggetto di vetro temperato sottoposto all'urto o cadendo a terra presenta certamente una resistenza molto maggiore del vetro

ordinario, ma secondo il grado di tempera che ha ricevuto ora resiste più, ora meno, e se l'oscillazione che riceve oltrepassa il limite della sua resistenza fa come allorché si rompe la coda di una lacrima batavica, cioè va in migliaia di minuti frantumi senza spigoli vivi e taglienti.

Perchè possiate formarvi un'idea chiara delle proprietà più rimarchevoli relativamente alle applicazioni industriali che presenta il vetro temperato, io ho disposto le seguenti sperienze che mi accingo a fare in vostra presenza:

**7<sup>a</sup> Esperienza.** — Abbiamo qui davanti una quantità di piccoli oggetti di vetro temperato (bicchieri, cassule, lastre, piattelli, tubi, ecc.) ed altrettanti di eguali forme e dimensioni di vetro ordinario: se facciamo cadere anche da una certa altezza i primi sul pavimento di legno essi cadono a terra in generale senza rompersi e con la loro elasticità mandano un suono per le vibrazioni suscitate dall'urto. Invece i secondi subiscono la sorte comune e conosciuta della facile rottura in frammenti grossolani e taglienti. Questi frammenti differiscono da quelli del vetro temperato; infatti vedete un bicchiere sottoposto alla tempera che gettato a terra con eccessiva forza non ha resistito, esso è ora ridotto in frammenti minuti come provenienti da una omogenea disgregazione meccanica di tutta la massa, e se li stringete tra le mani non sentite che alcuno di essi abbia spigoli taglienti.

**8<sup>a</sup> Esperienza.** — Se dirigiamo un colpo di pistola su di una lastra di vetro ordinario sospesa in aria con una corda, voi vedete che possiamo attraversarla da parte a parte praticandovi un foro senza che si rompa. Facendo la medesima esperienza su di una eguale lastra, ma di vetro temperato, e messa nelle stesse condizioni, essa con l'urto della palla che l'attraversa e al quale non resiste, perde la continuità dello strato esterno e presso a poco fa come una lacrima batavica a cui si rompe la coda, va cioè tutta in minuti frammenti. Che se si ripete l'esperienza rinchiudendo la lastra tra due strati di gesso per non disperdere i detti frammenti, si vede che la rottura è determinata da molte linee irradianti dal centro di rottura e da altre trasversali ed oblique (fig. 40 e 41).

**9<sup>a</sup> Esperienza.** — Se prendiamo una lastra di vetro ordinario ed una di vetro temperato rettangolari di 0<sup>m</sup> 15 × 0<sup>m</sup> 1 ed aventi 1<sup>mill</sup> 5 di spessore e le poniamo orizzontali dopo averle imprigionate tra due telai di legno fatti in modo da stringere a guisa di doppia cornice la lastra, per mezzo di quattro viti sugli angoli, noi possiamo farvi cadere da varie altezze un peso di piombo, per es: di 100 grammi, sostenuto da un filo sottile che può via via bruciarsi con un cerino acceso per determinare la caduta istantanea del grave. Disposta in tal modo l'esperienza e praticandola comparativamente sulle due specie di vetro, osservatene i risultati.

Questi si possono riassumere nello specchio seguente:

**Effetti della caduta di un peso di 100 grammi da altezze progressivamente crescenti**

sopra una lastra di vetro ordinario      sopra una lastra di vetro temperato

|   |   |
|---|---|
| da metri 0,10 nessuna rottura   | da metri 0,40 nessuna rottura   |
| " " 0,20 id.  | " " 0,70 id.  |
| " " 0,30 id.  | " " 1,5 id.   |
| " " 0,35 id.  | " " 2,0 id.   |
| " " 0,40 rottura a grandi frammenti di figura allungata o angolare a spigoli taglienti. | " " 2,5 id.   |
|   | " " 3,0 rottura di tutta la lastra in minuti frammenti senza spigoli taglienti. Il peso di 100 grammi nel cadere rimbalza sulla superficie della lastra di vetro temperato tanto maggiormente, quanto più è la distanza della caduta. |

Da ciò si deduce che l'effetto che è capace di produrre la caduta di un peso di 100 gr. da 40 cent. di altezza sopra una lastra di vetro ordinario, nel caso di una lastra di eguali dimensioni di vetro temperato, non si determina dallo stesso peso se non quando cade da un'altezza 7 volte e 1/2 maggiore. Di qui il grandissimo vantaggio che può risultare nell'applicazione del vetro temperato per le tettoie trasparenti delle gallerie, per i lucernari delle case, per le stufe da giardini, per le finestre, ecc., specialmente in quei luoghi

dove sono frequenti i temporali, che determinano la caduta della grandine.

**11.** — Oltre alla maggiore resistenza agli urti, un'altra proprietà che rende pregevole il vetro temperato è la suscettibilità che ha di sopportare, senza rompersi, gli sbilanci repentini di temperatura, cioè l'azione istantanea del calore anche elevato e immediatamente dopo un istantaneo raffreddamento. Ciò possiamo provare parimente con esperienze comparative sopra oggetti di vetro ordinario e di vetro temperato che ho ricevuto dalla fabbrica De La Bastie, destinati appunto per il loro uso a subire gli effetti del calore o del raffreddamento. Tali sono, per es., i tubi o cilindri da lampade ordinarie, le cassule per i laboratori di chimica, le scodelle o piattini per i candelieri; il tutto di buona tempera. — Ecco i risultati che abbiamo ottenuti:

#### 10<sup>a</sup> Esperienza.

|                 |                    |  |   |
|-----------------|--------------------|--|---|
| Tubi da lampade | di vetro ordinario | messi a contatto istantaneo di una fiamma di gas o gettati su carboni accesi . . . | il più delle volte si sono rotti; però se sono a pareti sottili ed eguali possono talvolta resistere. |
|                 |                    |  |   |

#### 11<sup>a</sup> Esperienza.

|         |                    |  |                                  |
|---------|--------------------|--|----------------------------------|
| Id. id. | di vetro ordinario | messi a contatto istantaneo di una fiamma di gas resa molto calorifica per mezzo di energica corrente d'aria | si sono rotti al primo contatto. |
|         |                    |  |                                  |

#### 12<sup>a</sup> Esperienza.

|         |                    |   |                |
|---------|--------------------|---|----------------|
| Id. id. | di vetro ordinario | scaldati fino a 200 o 300° poco a poco in modo da farli resistere e poi immersi bruscamente nell'acqua fredda (*) | si sono rotti. |
|         |                    |   |                |

#### 13<sup>a</sup> Esperienza.

|         |                    |   |                |
|---------|--------------------|---|----------------|
| Cassule | di vetro ordinario | riempite di acqua, scaldate alla fiamma del gas fino a prolungata ebullizione, indi tolta l'acqua bollente e sostituita dell'acqua fredda (*) | si sono rotte. |
|         |                    |   |                |

#### 14<sup>a</sup> Esperienza.

|     |                    |                                      |                |
|-----|--------------------|--------------------------------------|----------------|
| Id. | di vetro ordinario | riscaldati a secco con fiamma di gas | si sono rotte. |
|     |                    |                                      |                |

#### 15<sup>a</sup> Esperienza.

|           |                    |  |  |
|-----------|--------------------|--|--|
| Bicchieri | di vetro ordinario | riempiti prima di acqua bollente, indi di acqua fredda (*) o immersi successivamente nell'una e nell'altra | si sono rotti alcuni al caldo, altri per effetto del freddo. |
|           |                    |  |  |

**12.** — Il vetro temperato che presenta, come si è detto per le lacrime bataviche alla temperatura ordinaria, un volume maggiore di quello che avrebbe se invece di essere raffreddato bruscamente si lascia raffreddare poco a poco, è naturale che debba avere, come ha, un *peso specifico* un poco minore di quello del vetro ordinario.

Ha però una *durezza* molto maggiore e una *resistenza* cinque o sei volte maggiore allo sforzo della pressione, come pure un'elasticità notevole. Torno a mostrarvi quelle spirali

(\*) Il significato termico che deve darsi a questa parola *fredda* è di un'acqua la cui temperatura è circa di 8 o 9 gradi sopra lo zero. Facendo uso in queste sperienze di acqua a 0° ottenuta dal ghiaccio fondente ho osservato che anche gli oggetti di vetro temperato il più delle volte non resistono.

che ottenemmo (nella 2ª Esperienza) colando del vetro a sottile filo nell'acqua, le quali si allungano e si accorciano da sembrare delle spirali di acciaio.

Una esperienza fatta al Conservatorio di Arti e Mestieri a Parigi dal prof. Luynes (1), dimostra che sopra una lastra curva di vetro temperato possono montare varie persone e possono gravitare dei pesi senza che si rompa; essa si spiana e tolto il peso torna a curvarsi come prima.

Tutte queste belle proprietà che acquista il vetro con la tempera, si può dunque ritenere che abbiano per causa determinante una struttura fisica, particolare, diversa da quella del vetro ordinario. Ciò si può mettere in evidenza con quei mezzi che possiede la scienza per esplorare più intimamente la struttura molecolare dei corpi, servendosi di strumenti ottici per mezzo dei quali si scoprono le leggi di meccanica molecolare, ossia si trovano le diverse condizioni di equilibrio secondo cui si sono aggregate le particelle integranti di un corpo. Il predetto prof. Luynes ha dimostrato che il vetro con la tempera acquista la proprietà ottica della *doppia refrazione*, e se s'intromette nell'apparato di polarizzazione in cui i due prismi di Nicol siano girati alla estinzione in modo cioè da avere il campo oscuro, esso fa comparire di nuovo il campo illuminato, come farebbe lo spato d'Islanda o altra sostanza birefrangente e parimente come questa presenta delle strie o frangie di vario colore attraversate da strie oscure. Di ciò posso rendervi persuasi in diversi modi:

16ª Esperienza. — Se io prendo una lastrina di vetro ordinario e la pongo nell'apparato di polarizzazione della luce disposto in modo, come ho detto, che i due prismi di Nicol siano girati da ottenere la completa estinzione dei raggi luminosi e quindi il campo perfettamente oscuro, questo resta tale e quale anche dopo la interposizione della lastrina di vetro, il che prova che questo non esercita nessuna influenza sul fenomeno ottico. Ma se io prendo la medesima lastrina, la sottopongo alla tempera e dopo la rimetto nello stesso apparecchio in condizioni eguali al primo caso, voi osservate che essa ora è capace di esercitare una modificazione tanto che il campo dell'istrumento è divenuto luminoso. Per ottenere questo effetto basta anche semplicemente scaldare al rosso una lastra di vetro e lasciarla raffreddare a contatto dell'aria; come anche basta disturbare l'equilibrio molecolare per mezzo di una pressione che tenda ad incurvare la lastrina. Il fenomeno della ricomparsa della luce è accompagnato da strie brillanti a vari colori e tanto più distintamente quanto maggiore è il grado di tempera. Si può vedere benissimo facendo uso delle lacrime bataviche (che hanno la tempera la più forte) nel seguente modo.

17ª Esperienza. — Siccome le lacrime bataviche per la loro forma convessa possono dare dei riflessi erronei di luce bisogna usare l'artificio di osservarle con l'apparato di polarizzazione dopo averle collocate in una cassetta di vetro a superficie parallele e piena di acido fenico liquido che ha quasi lo stesso coefficiente di refrazione del vetro temperato. Esse compariscono così tutte illuminate e traversate longitudinalmente da strie alternativamente scure e colorate dei vivi colori dell'iride. Col mezzo adunque di questo fenomeno ottico, che accompagna il vetro temperato, noi possiamo conoscere non solo se il vetro ha ricevuto la tempera, ma anche il grado di questa.

13. — Fra tutte queste belle proprietà che accompagnano la tempera del vetro, ve ne sono però alcune che formano il punto oscuro, cioè non corrispondono favorevolmente alle applicazioni.

1º Il vetro temperato non si lascia tagliare dal diamante: questo lo riga ma non lo taglia, e ciò è un inconveniente grave perchè le lastre di vetro bisogna che siano ridotte prima della tempera alle dimensioni che devono avere. Si può supplire in qualche caso per mezzo delle ruote giacchè si lascia arruotare e smerigliare. Ma questo lavoro diventa assai più difficile per la maggiore durezza. Eccoli un'esperienza dimostrativa.

(1) Vedi *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, novembre 1875.

18ª Esperienza. — Prendo una lastra di vetro e la taglio in due con una punta di diamante: una metà la sottopongo, come vedete, al processo di tempera: dopo che è temperata, posso rigarla col diamante, ma questo non la taglia più mentre posso ciò facilmente praticare sull'altra metà non temperata.

2º È ordinariamente impossibile di bucare, segare il vetro temperato (come si fa per l'ordinario) senza che scoppi in mille frantumi.

19ª Esperienza. — Vedete che una lastra di vetro ordinario si buca facilmente con una punta di acciaio bagnato nell'essenza di trementina — mentre ciò non è possibile su lastre di vetro temperato. Avete già osservato, in una precedente esperienza, che, anche ricorrendo ad un urto istantaneo come sarebbe quello prodotto da un proiettile che esce da una pistola, si può attraversare benissimo una lastra di vetro ordinario senza che si rompa, mentre invece la lastra di vetro temperato va in mille frantumi.

14. — Malgrado ciò l'introduzione del vetro temperato nelle applicazioni ordinarie promette grandi vantaggi, e l'invenzione del De la Bastie ha davanti a sé un grande avvenire. — Vi dissi come questi con la sua invenzione ha suscitato reclami per parte di alcuni che pretendono averlo preceduto; ma a parte ogni superflua discussione, il De la Bastie è stato il primo a introdurre questa importante innovazione nell'arte vetraria mettendosi in opposizione, come vi ho detto, con un pregiudizio che formava una pratica fondamentale nella fabbricazione degli oggetti di vetro. E qui, prima di terminare, mi sia lecito non trascurare una pagina della storia. Le memorie dell'industria umana, disseppellite negli avanzi delle antiche popolazioni, ci rendono convinti che la scoperta di questa preziosa composizione che pare debbasi ai Fenici (1) rimonta a 3000 anni indietro. Nel lungo volgere di questo tempo sembra da quello che riferisce un antico scrittore romano (Petronius Arbitr) che vi sia stato un infelice predecessore a De la Bastie. Si parla da codesto autore di un operaio che sotto il regno di Tiberio giunse a fare una *phialam vitream quae non frangebatur*. Condotta a presentare questo vaso all'Imperatore egli, per fare maggiormente risaltare il merito del suo lavoro, lo gettò a terra (*et illam in pavementum projecit*) senza che si rompesse. — L'Imperatore meravigliato di ciò, pensò che una simile materia avrebbe potuto deprezzare l'oro e l'argento; rivolse quindi all'operaio premurosa domanda se altri, fuori di lui, conosceva il segreto, e ne ebbe risposta negativa. Dopo di che credè essere prudente di sbarazzarsi del pericoloso inventore, *et eum decollari jussit Imperator*. — Ammettendo l'interpretazione che si è creduto dare a questo fatto storico, è certo che l'anonimo operaio è un competitore che dà poco fastidio al De la Bastie, al quale era riserbata tutt'altra sorte.

(1) Si crede che i Fenici mercanti di soda (natron) sbarcati con le loro mercanzie presso le sponde di un fiume in Palestina improvvisando, in mancanza di pietre, un focolare con delle masse di soda ammonticchiate sopra un suolo sabbioso, ottenessero con l'azione del calore la fusione della soda con la sabbia, quindi una sostanza vetrosa che stabilì la prima origine del vetro.

**BIBLIOGRAFIA.** — Sono stati inviati in dono alla Direzione di questo Periodico dai loro Autori i seguenti lavori a stampa:

- Sovra alcuni punti di Statica grafica. Memoria dell'Ingegnere C. Saviotti - Roma 1877.
- Il Pulsometro. Nuova pompa idraulica a pressione diretta di vapore. Nota dell'Ing. Pietro Fautrier - Venezia 1877.
- Il Teodolimitro dell'Ing. Prof. Sebastiano Tessitore - Napoli 1877.
- Étude sur les conditions de résistance des Ponts tournants, par Jules Gaudard - Paris 1877.
- Appendice all'Arte del fabbricare del Prof. Giovanni Curioni - Volume terzo - Torino 1877.
- Atti del Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Napoli, del 1877.
- Dei Marmi delle Alpi Apuane e della loro lavorazione, per Enrico Botti, Ing. Civile - Firenze 1877.



