ANNO V. Torino, 1° Maggio 1879 NUM. 5.

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

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

TETTOIA IN FERRO

PER LA NUOVA STAZIONE DI ANCONA

PROGETTO dell'Ing. O. MORENO

Capo Servizio del Materiale e della Trazione (Ferrovie Meridionali)

MEMORIA *letta ed approvata per la stampa dalla Società degli Ingegneri di Torino nell'Adunanza 3 dicembre 1878.*

(Veggansi le tav. III IV e V).

I.

La nuova Stazione che la Società delle Strade Ferrate Meridionali ha fatto costrurre in Ancona in sostituzione di quella provvisoria, che rimonta all'apertura della linea Bologna-Ancona, possiede cinque binari per il servizio dei convogli. Per comodo dei viaggiatori fu deciso di coprirli con una tettoia lunga quanto l'edifizio principale, cioè m. 138,75 e larga m. 31,40, appoggiandola da una parte all'edifizio suddetto e dall'altra sopra la rimessa delle vetture; di questa tettoia si offre qui una sommaria descrizione corredata da tre tavole.

Secondo il progetto approvato dalla Direzione Generale e dal Ministero dei Lavori Pubblici, la tettoia si compone di 38 centine paraboliche od a falce (tav. III, fig. 1 e 2); le due estreme sono disposte per sorreggere un'invetriata e resistere ad un vento impetuoso; le altre centine intermedie, destinate puramente a sorreggere la copertura in lastre ondulate di zinco ed in lastre di vetro, si compongono d'un arco rigido esterno, e d'un tirante poligonale interno riunito al primo per mezzo di sbarre inclinate, che più brevemente si possono chiamare «diagonali».

Un piccolo sfiatatoio a falde piane, sulla parte centrale del tetto, facilita lo scolo delle acque.

Questa tettoia differisce da quella della Stazione di Foggia (anche a centina a falce e studiata dallo stesso ingegnere) nelle dimensioni, perchè è meno larga di $6^m,40$, meno lunga di $3^m,70$, e ne differisce pure nella distribuzione dei membri della centina; in quest'ultima l'arco esterno ed il poligono interno sono riuniti da 8 verticali, e cadun quadrilatero mistilineo è tagliato da due diagonali sottili; nella tettoia d'Ancona invece le sbarre inclinate adempiono al doppio ufficio delle sbarre verticali e delle diagonali della tettoia di Foggia. I particolari della costruzione differiscono sensibilmente da una all'altra tettoia, essendosi l'autore studiato di raggiungere la massima semplicità nelle forme, ed il minor numero di pezzi distinti, tanto per aumentare l'effetto estetico, quanto per diminuire la spesa ed accrescere la solidità della costruzione.

Una sommaria descrizione della tettoia di Foggia collo svolgimento della teoria delle centine a falce fu pubblicata nel 1876, nel periodico mensile «*L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*» a pagine 70 e 153. Le stesse formole però non sono immediatamente applicabili al calcolo delle sezioni della centina adottata nel progettar la tettoia d'Ancona; non credesi perciò fuori di luogo ripetere sommariamente la teoria delle centine a falce, seguendo, nel calcolare gli sforzi cui è soggetto ogni singolo membro, il metodo delle sezioni svolto con molta eleganza e maestria dal *Ritter*, professore alla Scuola Politecnica di Annover, nel suo libro intitolato: «Elementare Theorie und Berechnung eiserner Dach und Brücken-Constructionen», ed essa può convenientemente precedere la descrizione minuta della tettoia in discorso.

La forma parabolica dell'arco e del tirante delle centine a falce è determinata da una considerazione teorica, la quale si può esporre in poche parole.

Immaginiamo (fig. 3, tav. III) un arco rigido ABC, uniformemente caricato secondo la proiezione AC, la spinta orizzontale essendo vinta da due forze eguali Q: sia $2\,l$ la corda ed S la saetta di quest'arco.

Partendo dal punto più alto B, consideriamo staccato un archetto A'B (fig. 4, tav. III) e sostituite due forze H e T per ristabilire l'equilibrio, ambe necessariamente tangenti alle estremità dell'archetto, perciò H orizzontale.

Essendo x ed y le coordinate del punto A' rispetto all'origine B, e p il peso uniformemente distribuito sull'unità di lunghezza della proiezione orizzontale, l'equazione de' momenti rispetto al punto A' si ridurrà a:

$$Hy = \frac{1}{2}\,px^2$$

e facendo $x = l$, si avrebbe per l'estremità A:

$$HS = \frac{1}{2}\,pl^2$$

e dividendo membro a membro le due eguaglianze, si ottiene:

$$\frac{y}{S} = \frac{x^2}{l^2}$$

cioè il punto A' appartiene ad una parabola ordinaria, epperciò, affinchè tutti i punti dell'arco ABC siano in equilibrio nell'ipotesi di un carico uniformemente distribuito lungo la sua proiezione, deve pur essere parabolico l'arco stesso.

Evidentemente l'archetto A'B può supporsi scomposto in un numero qualunque di archetti minori, ed il peso distribuito sulla proiezione di caduno di essi concentrato nel suo punto di mezzo senza che l'equilibrio sia disturbato: s'avrebbe allora una porzione di poligono, i cui vertici cadono sulla parabola, e si può facilmente dimostrare che per l'equilibrio non è necessario che il punto più elevato B dell'arco coincida con un vertice del poligono.

Quanto si è detto per un carico il quale agisce dall'alto in basso, è pur vero per tensioni che agiscano dal basso in alto, bastando mutare i segni di p e di Q.

La forma parabolica conviene alle centine a falce e generalmente alle centine curve, perchè in pratica si verifica con sufficiente esattezza che tanto il peso proprio, quanto il peso accidentale sono uniformemente distribuiti lungo la proiezione.

Se una tale distribuzione di peso non si verifica rigorosamente (ed è appunto così nella pratica), la forma parabolica ha piuttosto un valore approssimativo che assoluto, come avverrebbe di molte altre curve su cui potrebbe cader la scelta, determinata allora specialmente da condizioni estetiche, ed il problema da risolversi è più generale e può essere enunciato così: «essendo data una curva, determinare a quali sforzi è soggetto un punto qualunque della medesima sotto l'azione di un carico (proprio od accidentale) distribuito secondo una legge conosciuta».

Si vedrà in seguito con qual facilità si possa applicare questo enunciato ad una *centina* qualunque.

Ecco ora in qual modo si può spiegare l'origine della centina a falce:

Se un arco o poligono parabolico rigido ABC (tav. III, fig. 5) è caricato in punti equidistanti da pesi eguali, ciò che corrisponde ad un carico uniformente ripartito sulla proiezione, esso sarà in equilibrio coll'aggiunta di due forze uguali Q, sufficienti per vincere la spinta orizzontale: e se un poligono parabolico A'B'C' è teso dal basso in alto (tav. III, fig. 6) da forze eguali applicate a distanze eguali, esso sarà in equilibrio coll'aggiunta di due forze orizzontali Q' eguali alla componente orizzontale della tensione sviluppata nel poligono stesso.

Se poi la corda dell'arco è eguale a quella del poligono e se si verifica:

$$Q = Q'$$

è evidente che se sovrappongonsi le estremità dell'arco a quella del poligono, se cioè si fa coincidere A' con A e C' con C, s'otterrà una figura composta, in equilibrio senza l'applicazione di forze esterne, rappresentata nella fig. 7 della tav. III.

Se i punti d'applicazione delle forze esterne sono disposti con una certa simmetria, le tensioni che agiscono sui vertici del poligono interno si possono trasmettere all'arco esterno per mezzo d'altrettanti fili inclinati di sezione conveniente; si ottiene così la centina rappresentata nella tav. III, fig. 8, e l'equilibrio continuerà a sussistere, avvertendo che si svilupperanno nell'arco rigido delle forze eguali alle tensioni stesse, dirette verso la concavità, le quali s'aggiungono perciò al carico esterno; la compressione dell'arco rigido si comporrà quindi di due parti: una corrispondente alle pressioni esterne (compreso nella medesima il peso proprio della struttura), l'altra corrispondente alla tensione del tirante verticale.

Evidentemente il poligono interno potrebbe ridursi ad una retta; però mentre sarebbero sempre necessarie alla rigidità del sistema le sbarre inclinate, le cui funzioni non si riducono semplicemente a mantener la forma poligonale del tirante, l'effetto d'un gran numero di tiranti rettilinei orizzontali sarebbe infelicissimo.

Siccome però in realtà, come è noto, i carichi esterni (ad eccezione del peso proprio), non possono essere distribuiti uniformemente su tutta la corda, fuorchè in casi troppo eccezionali per tenerne conto, così l'arco esterno caricato inegualmente tende a deformarsi, cioè a deprimersi sotto i punti caricati, e sollevarsi sopra i punti non sufficientemente caricati, e potrebbe rovinare se delle forze interne della centina non ristabilissero l'equilibrio; a quest'ufficio servono le reazioni che si sviluppano nelle sbarre che congiungono il poligono esterno all'interno, perchè il primo non potendo cambiare di forma senza che succeda una deformazione corrispondente nel secondo, gli sforzi di compressione cui sono sottoposte le diagonali corrispondenti ai nodi caricati, eccitano coll'intervento del tirante degli sforzi di tensione nelle diagonali corrispondenti ai punti non caricati, i quali si trasmettono alla parte corrispondente dell'arco, la cui tendenza a sollevarsi rimane quindi ristretta entro i limiti dell'elasticità del ferro.

Spiegato l'ufficio di cadun membro della centina a falce, rimane a determinare separatamente gli sforzi massimi cui caduno di essi può andar soggetto.

Il metodo del Ritter consiste nell'applicare esclusivamente l'equazione dei momenti delle forze, fra le quali deve esistere l'equilibrio, attorno ad un punto scelto ad arbitrio nel piano delle forze stesse, poichè evidentemente tutte le forze interne ed esterne, che agiscono sopra una centina, possono considerarsi come rigorosamente contenute nel piano della centina stessa.

Questo metodo ha il vantaggio d'essere indipendente dalle funzioni trigonometriche e dagli svolgimenti algebrici inseparabili dalle equazioni delle componenti orizzontali e verticali, mentre la distanza d'una forza dal punto di rotazione, od il suo braccio di leva, è una quantità che può calcolarsi, o misurarsi con sufficiente esattezza sopra un piano in scala.

Affinchè l'equazione de' momenti sia sufficiente per determinare gli sforzi delle diverse parti d'una centina, ed in generale d'un sistema qualunque di sbarre rigide, è necessario che si scrivano tante equazioni distinte quante sono le incognite, e per evitare le eliminazioni, è necessario che ogni equazione contenga una sola incognita; ora se si immagina un tale sistema tagliato in due parti, ma per modo che il piano di sezione non incontri più di tre sbarre, per ristabilire l'equilibrio basterà immaginare applicate le forze interne delle medesime, ossia lo sforzo di tensione o di compressione, cui è sottoposta la materia di cui sono formate, ricordando inoltre che la direzione di queste forze cade sempre sul prolungamento della sbarra corrispondente, poichè se fosse altrimenti, questa dovrebbe girare attorno all'estremità opposta; se finalmente si scrive l'equazione dei momenti scegliendo per punto di rotazione il punto d'incontro di due delle tre forze anzidette (che sono le incognite del problema), i momenti di queste due forze spariranno necessariamente dall'equazione, che conterrà soltanto come incognita la terza forza; ripetendo l'operazione, prendendo per punto di rotazione quello d'incontro della forza precedente con una delle altre due incognite, si otterrà un'altra equazione ad una sola incognita, e così di seguito per ogni gruppo di non più di tre stanghe.

Se si misurano i bracci di leva sopra un disegno, il metodo riesce in parte analitico, in parte grafico; ma è di molto superiore ai metodi puramente grafici, i quali, quantunque rigorosissimi in teoria, sono tanto più difficili ad applicarsi in pratica quanto più complicata è la costruzione; il poligono delle forze si compone di linee che si sovrappongono spesso, o che s'incontrano sotto angoli tanto piccoli che il punto di loro intersezione non si può determinare con esattezza, e per ultimo gli errori si accumulano.

Ad ogni ipotesi sulla distribuzione del carico corrisponde un poligono distinto, cosicchè lo studio completo d'un sistema complesso, col metodo puramente grafico, riesce laborioso.

Il metodo sviluppato dal Ritter non offre alcuno di questi inconvenienti, e permette di analizzare minutamente le condizioni di resistenza d'ogni membro d'una struttura separatamente da ogni altro.

Il Ritter esamina e discute un gran numero di combinazioni di spranghe con dati numerici, sicchè semplici cognizioni di aritmetica, unite al principio della leva, dovrebbero bastare per renderci ragione delle condizioni d'equilibrio di una struttura qualunque.

L'autore poi dà succintamente in forma di appendice la teoria de' tipi principali ricorrendo al calcolo infinitesimale.

Se tuttavia è permesso fare un'osservazione ad un libro di tanto valore, parmi che i calcoli sono in verità algebrici, anzichè numerici, poichè l'autore non eseguisce riduzione alcuna fra le quantità, affine di discuterne l'influenza, ciò che sarebbe agevolato impiegando i simboli algebrici, semplificando la scrittura, evitando molte cause d'errori, ed al tempo stesso generalizzando le questioni; ed è poi molto dubbio che alcuno, senza cognizione d'algebra, segua con sicurezza i calcoli dell'autore, e possa poi applicare il metodo a casi nuovi.

La teoria poi di casi speciali basata sul calcolo infinitesimale, e svolta con molta chiarezza dall'autore, suppone di necessità che le forze esterne siano rigorosamente distribuite su tutta la lunghezza della trave, e che le dimensioni di questa varino anche in modo continuo da punto a punto, ciò che non succede in pratica, e perciò i risultati della teoria suddetta non possono rigorosamente coincidere con quelli ottenuti col metodo dei momenti statici, il quale ha il merito di considerare la struttura metallica come è realmente.

L'autore del progetto della tettoia d'Ancona non ritenendosi soddisfatto d'applicare la teoria quasi meccanicamente, ha studiato prima il caso generale deducendone le formole corrispondenti.

Si supponga l'arco esterno ed il tirante divisi caduno nello stesso numero $2m$ di parti, e s'immaginino i punti d'ordine pari dell'arco esterno riuniti coi punti di ordine dispari del tirante, fra cui il numero pari è compreso, cioè 2 con 1 e 3, 4 con 3 e 5 e così di seguito: si otterrà il tipo della centina, oggetto di questa Memoria.

Con l'indice n si distingua un punto o nodo qualunque dell'arco esterno, nel quale s'incontrano due diagonali, e con

x_n e y_n le sue coordinate, l'origine essendo collocata nell'estremità dell'arco a sinistra, mentre x'_n e y'_n rappresentano le coordinate del nodo del tirante collocato immediatamente a sinistra della verticale che passa per il primo.

Siano p_n e q_n il peso permanente ed il peso accidentale dell'archetto il cui punto di mezzo è determinato dalle coordinate x_n e y_n: se i pesi sono uniformemente distribuiti a destra e sinistra del nodo, essi possono supporsi concentrati nel punto x_n, y_n.

Siano P e Q le reazioni sugli appoggi dovute al carico permanente ed al carico accidentale;

Sia L la corda della centina.

Scomponendo caduna delle forze p_n e q_n in due inversamente proporzionali alla distanza del punto d'applicazione dagli appoggi, si avrà:

$$P=\frac{1}{L}\Big\{p_1(L-x_1)+p_2(L-x_2)+\dots\dots+p_n(L-x_n)+\dots\dots+p_{m-1}(L-x_{m-1})\Big\}$$

$$Q=\frac{1}{L}\Big\{q_1(L-x_1)+q_2(L-x_2)+\dots\dots+q_n(L-x_n)+\dots\dots+q_{m-1}(L-x_{m-1})\Big\}.$$

Nella pratica però si può supporre:

$$p_1=p_2=p_3=\;\dots\;=p_{m-1}=p$$

$$q_1=q_2=q_3=\;\dots\;=q_{m-1}=q$$

ammettendo che tanto il carico permanente quanto quello accidentale siano uniformemente distribuiti sull'arco; quindi si può scrivere più semplicemente:

$$P=\frac{p}{L}\Big\{(L-x_1)+(L-x_2)+\dots\dots+(L-x_{m-1})\Big\}$$

$$Q=\frac{q}{L}\Big\{(L-x_1)+(L-x_2)+\dots\dots+(L-x_{m-1})\Big\}.$$

Supponiamo ora (tav. III, fig. 9 e 10) condotto un piano $\overline{VV'}$ tra i nodi $n-1$ ed n che tagli le tre stanghe $\overline{BC}$, $\overline{DE}$, $\overline{CD}$, e soppressa quella parte della centina che rimane a destra, l'equilibrio sarà conservato sostituendovi le reazioni delle stanghe stesse che rappresenteremo con X_n per l'arco esterno, con Y_n per la diagonale, e con Z_n per il tirante.

Per determinare queste reazioni o forze interne, seguendo il metodo di Ritter, si sceglie anzitutto ad esempio, per asse di rotazione il punto D dove s'incontrano le forze Y_n e Z_n, volendo calcolare X_n.

Abbassando dal punto D la perpendicolare r_n sulla $\overline{BC}$, questa rappresenterà il braccio di leva della forza X_n: quindi, prendendo come positivi i momenti di rotazione da sinistra a destra, si può scrivere:

$$\begin{aligned}&X_n r_n+P x'_n+Q x'_n\\ &-p\big\{(x'_n-x_1)+(x'_n-x_2)+\dots\dots+(x'_n-x_{n-1})\big\}\\ &-q\big\{(x'_n-x_1)+(x'_n-x_2)+\dots\dots+(x'_n-x_{n-1})\big\}=0\end{aligned}$$

Sostituendo a P e Q i loro valori, si può osservare che il peso permanente è per sua natura invariabile, cioè non si può avverare il caso che per un punto qualunque sia p nullo; perciò si possono immediatamente ridurre tutti i termini in p.

Essendo invece possibile non solo, ma avverandosi appunto che q sia nullo per uno o più nodi consecutivi, nel qual caso anche le reazioni sugli appoggi cambiano di valore, conviene (poichè si suppone q eguale per tutti i nodi) ridurre insieme i due termini in q corrispondenti allo stesso nodo, di cui uno rappresenta il carico diretto, e l'altro la reazione corrispondente dell'appoggio, e poi radunare in un gruppo tutti i termini positivi, ed in un altro gruppo tutti i termini negativi.

Con questo semplice artifizio si determina immediatamente la condizione di distribuzione del carico accidentale più sfavorevole per quel membro della centina che si prende in esame; diffatti supponendo nullo successivamente il gruppo de' termini in q con segno positivo, cioè supponendo completamente scaricati i nodi corrispondenti ai termini stessi, poi il gruppo dei termini in q con segno negativo, s'ottengono due valori, massimo e minimo, della forza interna cercata e quindi immediatamente le proporzioni più convenienti del pezzo da costruirsi.

S'ottiene così l'equazione seguente:

$$\left.\begin{aligned}&X_n\,.\,r_n+p\frac{m-2n+1}{2}x'_n+p(x_1+x_2+\dots\dots+x_{n-1})\\ &+q\frac{L-x'_n}{L}(x_1+\dots\dots+x_{n-1})\\ &+\frac{q\,x'_n}{L}\Big\{(L-x_n)+\dots\dots+(L-x_{m-1})\Big\}\end{aligned}\right\}=0.$$

Il primo termine in q rappresenta il momento del carico accidentale de' nodi collocati a sinistra del piano $\overline{VV'}$, ed il secondo lo stesso momento per i nodi a destra della sezione suddetta.

Cambiando n in $m-n+1$ e notando che $x_n+x_{m-n}=L$ si ricadrebbe sulla stessa equazione; quindi, come esige la simmetria della figura, gli sforzi delle spranghe simmetriche sono eguali.

I due polinomii in q sono preceduti dal segno positivo come pure quelli in p, perciò X_n è sempre negativo, cioè ogni elemento dell'arco lavora sempre per compressione, ed il valor massimo di questa corrisponde al caso in cui tutti i nodi siano caricati.

L'equazione può quindi ridursi alla sua più semplice espressione così:

$$\left.\begin{aligned}&X_n\,.\,r_n+\frac{m-2n+1}{2}(p+q)\,x'_n\\ &+(p+q)(x_1+x_2+\dots\dots+x_{n-1})\end{aligned}\right\}=0\dots\quad(1)$$

Prendendo i momenti intorno al punto C, s'avrebbe l'equazione per Z_n, la quale sarebbe identica nella forma alla precedente, salvo il segno del primo termine; se ne può quindi conchiudere che il tirante è sempre in tensione e scrivere (cambiando x'_n in x_n):

$$\left.\begin{aligned}&-Z_n\,t_n+\frac{m-2n+1}{2}(p+q)\,x_n\\ &+(p+q)(x_1+x_2+\dots\dots+x_{n-1})\end{aligned}\right\}=0\dots\quad(2)$$

Per calcolare il valore di Y_n si sceglie per asse di rotazione il punto O, dove s'incontrano i prolungamenti delle stanghe $\overline{BC}$ e $\overline{DE}$.

Indicata con l la distanza TA della proiezione del punto O sull'asse orizzontale dall'origine A (fig. 9, tav. III) l'equazione dei momenti sarà:

$$\left.\begin{aligned}&-Y_n u_n-P\,l-Q\,l\\ &+p\Big\{(l+x_1)+(l+x_2)+\dots\dots+(l+x_{n-1})\Big\}\\ &+q\Big\{(l+x_1)+(l+x_2)+\dots\dots+(l+x_{n-1})\Big\}\end{aligned}\right\}=0.$$

Sostituendo a P e Q i loro valori e riducendo, si trova:

$$\left.\begin{aligned}&-Y_n u_n-\frac{m-2n+1}{2}\,p\,l+p\Big((x_1+x_2+\dots\dots\\ &+x_{n-1}\Big)+q\frac{L+l}{L}(x_1+\dots\dots+x_{n-1})\\ &-\frac{q\,l}{L}\Big\{(L-x_n)+\dots\dots+(L-x_{m-1})\Big\}\end{aligned}\right\}=0\dots\quad(3)$$

Il primo termine in q corrisponde ai nodi a *sinistra* del piano di sezione $\overline{\mathrm{VV'}}$, ed il secondo a quelli collocati a *destra* dello stesso piano.

Questi due termini essendo di segno contrario, se si eguagliano successivamente a zero s'otterranno due valori di Y_n, massimo e minimo, secondochè solo i punti a destra od a sinistra del n^0 si suppongono caricati dal peso accidentale q. Risolvendo invece l'equazione nella supposizione che tutti i nodi siano uniformemente caricati, s'ottiene il valore assoluto di Y_n.

La formola è generale per la simmetria della figura; e basta sostituire ad n tutti i valori da 1 a $m-1$.

Restano a determinarsi i valori di r_n, t_n, l_n, ed u_n.

Per trovare il valore di r_n nel triangolo BCD, (fig. 10, tav. III), conducendo l'orizzontale $\overline{\mathrm{BF}}$ e la verticale $\overline{\mathrm{DI}}$, dai triangoli simili BCF, DHI si ricava:

$$\overline{\mathrm{DH}}=r_n=\overline{\mathrm{BF}}\frac{\overline{\mathrm{DI}}}{\overline{\mathrm{BC}}}.$$

Ora $\mathrm{BF}=x_n-x_{n-1}$ e BC è la corda dell'archetto compreso fra due nodi, e perciò cognita; sarà:

$$\mathrm{S}=\sqrt{(x_n-x_{n-1})^2+(y_n-y_{n-1})^2}$$

la sua lunghezza, e

$$\overline{\mathrm{DI}}=\frac{(x_n-x_{n-1})(y_{n-1}-y'_n)+(y_n-y_{n-1})(x'_n-x_{n-1})}{x_n-x_{n-1}}$$

quindi:

$$r_n=\frac{(x'_n-x_{n-1})(y_n-y_{n-1})-(x_n-x_{n-1})(y'_n-y_{n-1})}{\mathrm{S}'}\ldots(4)$$

Per il braccio di leva t_n si ha:

$$t_n=\overline{\mathrm{EV}}\frac{\overline{\mathrm{CK}}}{\overline{\mathrm{DE}}}=\frac{1}{\mathrm{S}'}\left\{\begin{array}{l}(x'_{n+1}-x_n)(y'_{n+1}-y'_n)-\\ \quad-(x'_{n+1}-x'_n)(y'_{n+1}-y_n)\end{array}\right\}\ldots(5)$$

indicando con S′ la lunghezza conosciuta del lato $\overline{\mathrm{DE}}$.

Introducendo questi valori generali di r_n e t_n nelle equazioni (1) e (2) non si otterrebbero delle formole semplici; conviene perciò introdurre nelle equazioni i valori numerici de' bracci di leva.

In luogo di calcolare la lunghezza $\overline{\mathrm{TA}}=l$ conviene determinare la lunghezza $\overline{\mathrm{TV}}=\overline{\mathrm{OR}}$ (tav. III, fig. 11). Condotta l'orizzontale $\overline{\mathrm{OR}}$ sino all'incontro della perpendicolare $\overline{\mathrm{DRV}}$, e l'orizzontale $\overline{\mathrm{DI}}$ sino all'incontro della perpendicolare $\overline{\mathrm{EW}}$, dai triangoli simili ORD, DEI si ricava:

$$\overline{\mathrm{OR}}=\overline{\mathrm{DI}}\frac{\overline{\mathrm{DR}}}{\overline{\mathrm{EI}}}=\frac{(x'_{n+1}-x'_n)(y'_n-\overline{\mathrm{RV}})}{y'_{n+1}-y'_n}$$

donde:

$$\overline{\mathrm{OR}}\frac{y'_{n+1}-y'_n}{x'_{n+1}-x'_n}=y'_n-\overline{\mathrm{RV}}.$$

Conducendo l'orizzontale $\overline{\mathrm{BH}}$ sino all'incontro della perpendicolare $\overline{\mathrm{KV}}$, dai triangoli simili OKR, BKH, si ricava:

$$\overline{\mathrm{OR}}\frac{\overline{\mathrm{KH}}}{\overline{\mathrm{BH}}}=\overline{\mathrm{KR}}=\overline{\mathrm{KV}}-\overline{\mathrm{RV}}$$

ora:

$$\overline{\mathrm{KH}}=x'_n-x_{n-1})\frac{y_n-y_{n-1}}{x_n-x_{n-1}}$$

$$\overline{\mathrm{BH}}=x'_n-x_{n-1}$$

$$\overline{\mathrm{KV}}=y_{n-1}+\frac{(x'_n-x_{n-1})(y_n-y_{n-1})}{x_n-x_{n-1}}$$

sostituendo e riducendo si trova:

$$\left.\begin{array}{l} l'_n=\overline{\mathrm{OR}}=(x'_{n+1}-x'_n)\\ \dfrac{(y_{n-1}-y'_n)(x_n-x_{n-1})+(x'_n-x_{n-1})(y_n-y_{n-1})}{(y_n-y_{n-1})(x'_{n+1}-x'_n)(y'_{n+1}-y'_n)(x_n-x_{n-1})}\end{array}\right\}.\quad(6)$$

Rimane a calcolare il braccio di leva $\overline{\mathrm{OO'}}$ ossia u_n.

Abbassando la perpendicolare $\overline{\mathrm{CS'}}$ sul lato $\overline{\mathrm{DI}}$, dai triangoli simili ODO′, CDS′ e ORD, CSS′ si ricava:

$$\overline{\mathrm{OO'}}=\overline{\mathrm{CS'}}\frac{\overline{\mathrm{DO}}}{\overline{\mathrm{CD}}};\qquad \overline{\mathrm{OD}}=\overline{\mathrm{CS}}\frac{\overline{\mathrm{OR}}}{\overline{\mathrm{CS'}}}$$

quindi:

$$\overline{\mathrm{OO'}}=u_n=\frac{\overline{\mathrm{OR}}\cdot\overline{\mathrm{CS}}}{\overline{\mathrm{CD}}}\ldots.\quad(7)$$

Ora $\overline{\mathrm{CD}}$ è la lunghezza della diagonale, facile a determinarsi, e che si può indicare con d_n, inoltre $\overline{\mathrm{OR}}$ è pur conosciuta e si trova facilmente che:

$$\left.\begin{array}{l} v_n=\overline{\mathrm{CS}}=\dfrac{(y_n-y'_{n+1})(x'_{n+1}-x'_n)}{x'_{n+1}-x'_n}\\ \quad+\dfrac{(y'_{n+1}-y'_n)(x'_{n+1}-x_n)}{x'_{n+1}-x'_n}\end{array}\right\}.\quad(8)$$

Sostituendo nella (7) i valori rispettivi di $\overline{\mathrm{OR}}$, $\overline{\mathrm{CS}}$ e $\overline{\mathrm{CD}}$ si otterrebbe l'espressione generale di u_n, ma troppo complicata per l'applicazione.

II.

Determinate le formole necessarie per calcolare gli sforzi d'una centina parabolica a maglie triangolari, si possono ora applicare al caso speciale della tettoia proposta per la Stazione d'Ancona.

L'apertura o corda della centina essendo di $31^{\mathrm{m}},40$, la saetta della parabola esterna di 5^{m}, e quella della parabola interna di $1^{\mathrm{m}},700$, si determineranno un numero sufficiente di punti delle due curve mediante la formola:

$$\mathrm{H}_n=\frac{4\mathrm{S}}{m^2}(m-n)\,n$$

nella quale H_n è l'ordinata dell'n^0 punto, S la saetta od ordinata massima, m il numero pari delle parti uguali in cui è divisa la corda, ed n un numero che varia da 1 ad $\frac{m}{2}$.

Ponendo $m=32$ ed essendo $\mathrm{S}=5$ metri, si ha per la parabola esterna $\mathrm{H}_n=0{,}01953\,(32-n)\,n$.

Facendo variare n da 1 a 16 s'ottengono i seguenti valori di H_n:

$\mathrm{H}_1=0^{\mathrm{m}},605$	$\mathrm{H}_5=2^{\mathrm{m}},636$	$\mathrm{H}_9=4^{\mathrm{m}},043$	$\mathrm{H}_{13}=4^{\mathrm{m}},824$
$\mathrm{H}_2=1^{\mathrm{m}},172$	$\mathrm{H}_6=3^{\mathrm{m}},047$	$\mathrm{H}_{10}=4^{\mathrm{m}},296$	$\mathrm{H}_{14}=4^{\mathrm{m}},921$
$\mathrm{H}_3=1^{\mathrm{m}},699$	$\mathrm{H}_7=3^{\mathrm{m}},418$	$\mathrm{H}_{11}=4^{\mathrm{m}},511$	$\mathrm{H}_{15}=4^{\mathrm{m}},980$
$\mathrm{H}_4=2^{\mathrm{m}},187$	$\mathrm{H}_8=3^{\mathrm{m}},750$	$\mathrm{H}_{12}=4^{\mathrm{m}},687$	$\mathrm{H}_{16}=5^{\mathrm{m}},000.$

Per la parabola interna basta prendere i 2/5 dei valori trovati. S'ottengono così i seguenti valori di h_n:

$h_1=0^{\mathrm{m}},206$	$h_5=0^{\mathrm{m}},896$	$h_9=1^{\mathrm{m}},374$	$h_{13}=1^{\mathrm{m}},640$
$h_2=0^{\mathrm{m}},398$	$h_6=1^{\mathrm{m}},036$	$h_{10}=1^{\mathrm{m}},462$	$h_{14}=1^{\mathrm{m}},633$
$h_3=0^{\mathrm{m}},578$	$h_7=1^{\mathrm{m}},162$	$h_{11}=1^{\mathrm{m}},534$	$h_{15}=1^{\mathrm{m}},693$
$h_4=0^{\mathrm{m}},744$	$h_8=1^{\mathrm{m}},275$	$h_{12}=1^{\mathrm{m}},593$	$h_{16}=1^{\mathrm{m}},700.$

Per maggiore facilità si possono calcolare queste ordinate nella scala del disegno.

Lo sviluppo dell'arco si può calcolare colla formola:

$$(9)\qquad Arco=p\left\{\sqrt{\frac{2x}{p}\left(1+\frac{2x}{p}\right)}\right.$$
$$\left.+\log.\,\mathrm{nat}\left(\sqrt{\frac{2x}{p}}+\sqrt{1+\frac{2x}{p}}\right)\right\}$$

nella quale facendo $p=24{,}649$, $x=5$ s'ottiene:

$$Arco=33^m{,}39$$

quindi la 7ma parte ossia gli archetti, in cui è divisa la centina esternamente, avranno la lunghezza di $4^m{,}77$.

Per la parabola interna, fatto $p=72{,}497$ e $x=1{,}70$ nell'equazione (9) si trova:

$$Arco=31^m{,}64$$

di cui la settima parte sarebbe uguale a $4^m{,}52$.

Per determinare rigorosamente le coordinate dei punti di divisione delle due parabole, si potrebbe applicare la stessa formola (a) che bisognerebbe risolvere per tentativi: è più spedito misurare le stesse coordinate sopra un disegno all'1/50, e poi introducendole nell'equazione della parabola, e in quella che dà la lunghezza della corda cioè:

$$(x_1-x)^2+(y_1-y)^2=\overline{corda^2},$$

verificarne l'esattezza: seguendo questo metodo sono state determinate le coordinate dei due poligoni esterno ed interno, inserite nel diagramma (fig. 12) colla lunghezza delle diagonali.

Introducendo questi valori nelle formole (4) e (5) si ottengono le lunghezze r_n e t_n dei bracci di leva dei lati dei due poligoni, ad eccezione di quello corrispondente al primo tratto del tirante, che si calcola scegliendo per asse di rotazione il vertice C (tav. III, fig. 13) e considerando i triangoli simili ABD, ACE, si trova che:

$$t_0=r_1\frac{\overline{AC}}{\overline{AB}}.$$

Facendo le sostituzioni si ha:

$$r_1=0^m{,}679 \qquad t_0=1^m{,}433$$
$$r_2=1^m{,}975 \qquad t_1=1^m{,}535$$
$$r_3=2^m{,}861 \qquad t_2=2^m{,}651$$
$$r_4=3^m{,}185 \qquad t_3=3^m{,}252.$$

Per le quantità ausiliarie l'_n e v_n (formole (6) e (8)) si trovano i seguenti valori:

$$l'_1=1^m{,}961 \qquad v'_1=1^m{,}555$$
$$l'_2=7^m{,}454 \qquad v'_2=2^m{,}663$$
$$l'_3=18^m{,}084 \qquad v'_3=3^m{,}259$$
$$l'_4=102^m{,}602 \qquad v_4=3^m{,}259$$
$$l'_5=-29^m{,}465 \qquad v_5=2^m{,}663$$
$$l'_6=-9^m{,}530 \qquad v_6=1^m{,}555$$

i quali introdotti nella formola (7) servono a calcolare i bracci di leva delle diagonali, che sono:

$$u_1=1^m{,}130 \qquad u_4=84^m{,}036$$
$$u_2=5^m{,}760 \qquad u_5=-22^m{,}276$$
$$u_3=14^m{,}916 \qquad u_6=-5^m{,}346.$$

Siccome $l_n=l'_n-x'_n$ si ha pure:

$$l_1=0{,}259;\quad l_2=0{,}764;\quad l_3=6{,}894;\quad l_4=86{,}902;$$
$$l_5=-49{,}675;\quad l_6=-34{,}240.$$

Bisogna ricordare che l'asse di rotazione per le diagonali Y_5 e Y_6 si trova collocato oltre l'estremità destra della centina, ciò che spiega i valori negativi trovati di alcuni bracci di leva.

Assumendo che il carico accidentale possa salire a 50^{kg} per metro quadrato di superficie coperta, la distanza fra le centine essendo di $3^m{,}75$, il sopraccarico per ogni centina sarà:

$$50\times3{,}75\times31{,}40=5887^{kg}{,}50.$$

Quindi ogni vertice del poligono esterno sosterrà il peso:

$$q=850^{kg}\ \text{circa}.$$

Supponga si pure, per prima approssimazione che il peso della struttura corrisponda a poco più di 50^{kg} per m. q. di superficie coperta, ossia a 850^{kg} circa per ogni nodo, s'otterranno i valori degli sforzi di compressione e di tensione delle diverse parti della struttura, facendo nelle formole (1), (2) e (3) le opportune sostituzioni; si troveranno così i seguenti valori:

Sforzi di compressione dell'arco esterno.

$$X_1.\,0{,}678+3.\,1700.\,2{,}22=0$$
$$X_2.\,1{,}975+2.\,1700.\,6{,}69+1700.\,4{,}175=0$$
$$X_3.\,2{,}861+1700.\,11{,}19+1700.\,1281=0$$
$$X_4.\,3{,}185+1700.\,26{,}125=0$$
$$X_1=X_7=-16699^{kg}$$
$$X_2=X_6=-15111^{kg}$$
$$X_3=X_5=-14261^{kg}$$
$$X_4=-13944^{kg}$$

Sforzi di tensione del tirante.

$$-Z_0.\,1{,}433+3.\,1700.\,4{,}175=0$$
$$-Z_1.\,1{,}535+3.\,1700.\,4{,}175=0$$
$$-Z_2.\,2{,}651+2.\,1700.\,8{,}635+1700.\,4{,}175=0$$
$$-Z_3.\,3{,}252+1700.\,13{,}315+1700.\,12{,}81=0$$
$$Z_0=Z_7=14862^{kg}$$
$$Z_1=Z_6=13866^{kg}$$
$$Z_2=Z_5=13752^{kg}$$
$$Z_3=Z_4=13658^{kg}$$

$$-Y_1.\,1{,}130+3.850.\,0{,}259+0+0-\frac{850.\,0{,}259}{31{,}40}\Big(4{,}175$$
$$+8{,}635+13{,}315+18{,}085+22{,}765+27{,}225\Big)=0$$
$$-Y_1.\,1{,}130+660{,}45-660{,}44=0$$

$Y_1=0$ (assoluto); $Y_1=584^{kg}$(mass°); $Y_1=0$ (minimo)

$Y_2=751^{kg}$(assol°); $Y_2=992^{kg}$(mass°); $Y_2=150^{kg}$(minimo)

$Y_3=674^{kg}$(assol°); $Y_3=1227^{kg}$(mass°); $Y_3=-216^{kg}$(min°)

$Y_4=513^{kg}$(assol°); $Y_4=1260^{kg}$(mass°); $Y_4=-465^{kg}$(min°)

$Y_5=208^{kg}$(assol°); $Y_5=1190^{kg}$(mass°); $Y_5=-565^{kg}$(min°)

$Y_6=478^{kg}$(assol°); $Y_6=1202^{kg}$(mass°); $Y_6=-484^{kg}$(min°).

Questi valori sono stati determinati per le diagonali inclinate da destra a sinistra; ma si estendono per simmetria alle altre.

Il valore assoluto corrisponde all'ipotesi del carico uniformente distribuito; il valore massimo, quando soltanto sui nodi *sopra* la diagonale agisce il carico accidentale, ed il valore minimo corrisponde invece all'ipotesi del sopraccarico limitato ai nodi *sotto* la diagonale.

I valori degli sforzi delle diverse parti della centina sono ripetuti per maggior chiarezza su un diagramma (tav. III, fig. 14).

Per resistere agli sforzi di compressione l'arco esterno è formato da due ferri ad [ad alette disuguali (tav. IV, fig. 10).

Fu adottata questa sezione anzichè quella d'un doppio T, perchè si ottiene una più larga superficie all'estradosso per collocare i travicelli, i quali sono continui, secondo la pratica inglese, anzichè interrotti, secondo la pratica francese; ritiensi questa disposizione assai superiore all'ultima applicata per la tettoia di Foggia.

Inoltre fra i due ferri esiste un intervallo di 30 millimetri, nel quale s'introducono le teste delle diagonali, foggiate a occhio, anzichè a forcella, come sarebbe stato inevitabile se l'arco si fosse formato con un ferro a doppio T.

La superficie netta della sezione è:

$$2.58.10+2.100.10+2.28.10=3720^{\text{mmq}}.$$

Il massimo sforzo di compressione essendo di 16699, la compressione per millimetro quadrato salirebbe a $\frac{16699}{3720}=4^{\text{kg}},48$, cosicchè si ha ampio margine per la deduzione da farsi per le sezioni dei fori.

I diversi pezzi di ferro ad [ond'è composto l'arco sono riuniti a giunto alternato per mezzo di lastre di 30 mill. di spessore e di viti di 15 mill. di diametro.

Gli stessi ferri s'allargano all'estremità dell'arco, onde ricevere due lastre di 15 mill. di spessore, fra le quali passa l'estremità del tirante maggiore, unito all'arco per mezzo di un cuneo, il quale permette di serrare convenientemente l'arco ed il tirante.

Questo sistema, molto più semplice di quello a vite adottato per la tettoia di Foggia, è quasi esclusivamente impiegato per le grandi tettoie inglesi di 60 e più metri d'apertura.

Difatti siccome si possono ottenere le diverse parti del tirante rigorosamente esatte, l'errore da correggersi è sempre piccolissimo, ed una volta messa la centina a posto non occorre più di doverne modificare l'apertura; è perciò inutile la vite e i complicati pezzi di fucina, necessari nel sistema adottato generalmente in Francia.

La sezione media del cuneo è uguale a 2560 mill. q.

Il tirante è formato da otto pezzi d'acciaio tondo: il diametro dei quali è di 46 millimetri. Lo sforzo massimo di tensione essendo di 14862^{kg} e la sezione delle sbarre, di 46 mill. di diametro, essendo di 1662 mill. quadrati, lo sforzo per millimetro quadrato sarà di $8^{\text{kg}},93$ appena.

Le diverse parti del tirante sono riunite semplicemente con perni, ciascun tirante terminando in due occhi, semplice da una parte, a forcella dall'altra, la cui sezione netta è uguale a più di una volta e mezzo quella del tirante stesso.

Il diametro dei perni è di 55 mill., sicchè le due sezioni che lavorano di taglio offrono una superficie di 4752 mill. quad., superiore al bisogno.

In questo modo, oltre al sopprimere le piastrelle coi tre perni d'unione di due diagonali e di due tiranti, adottate comunemente, la congiunzione presenta non solo un aspetto più elegante, ma le forze operanti sulle quattro stanghe suddette s'incontrano sempre in un punto, come teoricamente si è ammesso per ricavare i loro valori; ciò non succede coll'altro sistema più usuale; ma però nella pratica non può dar luogo ad alcun inconveniente.

Le diagonali sono caduna formate da due piccoli ferri a T ribaditi insieme, in modo da presentare una sezione crociforme. La sezione netta d'una diagonale è di:

$$2\times50\times7+2\times23\times6{,}5=999^{\text{mmq}}.$$

Verso le estremità le alette sono tagliate onde permettere alle due diagonali consecutive d'introdursi fra il gruppo di unione alla parte inferiore, e fra i ferri a [dell'arco superiore, alle quali parti sono congiunte per mezzo d'un perno di 22 mill. di diametro.

La sezione netta d'attacco si riduce quindi a 400 mill. quad. circa.

Il massimo sforzo di tensione essendo di 1260^{kg} al più, lo sforzo per unità di superficie sarà appena di $\frac{1260}{400}=3^{\text{kg}}$ circa.

Alla più lunga diagonale corrisponde uno sforzo di compressione di 565^{kg}.

Ora la diagonale essendo un solido fissato alle due estremità, lo sforzo di compressione P che può sopportare prima di cedere lateralmente è dato dalla formola:

$$P=40\frac{EI}{l^2}$$

essendo E il modulo d'elasticità ed I il momento minimo di inerzia della sezione di mezzo del solido rispetto all'asse principale centrale d'inerzia che si trova nel piano della centina; e si ha:

$$E=20000,\quad I=\frac{7\times60^3+36\times14^3}{12}=134232$$

$$l=3979^{\text{mm}}.$$

quindi

$$P=40\frac{20000.134232}{3979^2}=6782\,\text{kg}.$$

Ammettendo $^1/_6$ per coefficiente di sicurezza, la sbarra può sopportare uno sforzo di 1130 kg. almeno, e perciò doppio di quello cui in realtà sarà sottoposta, senza tuttavia avvicinarsi al limite pratico, oltre il quale non conviene cimentare il ferro.

A maggior ragione quindi resisteranno le altre diagonali più corte.

I piedi della centina sono uniti a vite a zoccoli di ferro fuso, di forma semplicissima, i quali presentano una superficie di 1044 cent. quad., ampiamente sufficiente per trasmettere e distribuire sui piedritti il peso delle centine, poichè questo peso essendo uguale a $\frac{7\times1700}{2}$ per ogni estremità, la pressione per centim. quad. è uguale a:

$$\frac{5950}{1044}=5^{\text{kg}},69.$$

Siccome la tettoia d'Ancona deve esser ricoperta di lastre di zinco ondulate, come quella della Stazione di Foggia, la distanza fra i correnti fu limitata a $1^{\text{m}},10$. La loro lunghezza essendo di $3^{\text{m}},75$, i correnti sono sottoposti ad un carico totale così composto:

Peso proprio	$10^{\text{kg}},25$ al metro . . .	kg.	38,44
Copertura	$15^{\text{kg}}\times1{,}10\times3{,}75$ . .	»	61,87
Peso accidentale	$50^{\text{kg}}\times1{,}10\times3{,}75$ . .	»	206,25
	Totale	kg.	306,56

La sezione proposta per i travicelli è rappresentata nella fig. 10, tav. IV: è un ferro a U di dimensioni speciali, cioè

$$\frac{80\times8}{52\times8}.$$

Il momento di resistenza rispetto all'asse orizzontale di inerzia è:

$$W=\frac{I}{y}=\frac{52\times80^3-44\times64^3}{6\times80}=31436{,}8$$

prendendo il millimetro per unità.

Considerando quindi un corrente come semplicemente appoggiato alle estremità, s'avrebbe:

$$R \times 31436{,}8 = \frac{306{,}56 \times 3750}{8} = 143700$$

quindi:

$$R = 4{,}57 \text{ per mm. q.}$$

Siccome però i travicelli sono effettivamente incastrati, così lo sforzo si riduce a:

$$\frac{8}{12} \cdot 4{,}57 = 3^{kg}{,}04 \text{ per mm. q.}$$

Malgrado l'apparente eccesso di ferro, non converrebbe adottare un travicello più leggero, che dovrebbe essere un ferro a squadra (non potendosi laminare ferri a [più piccoli di quelli proposti colla stessa ampiezza delle ali): ora la resistenza di un ferro a squadra discenderebbe assai più rapidamente che il peso.

Inoltre i correnti debbono resistere ad ogni tendenza di deformazione dell'arco.

Due correnti sono tagliati a lunghezza di $3^m{,}75$ e passano sopra l'arco.

I correnti consecutivi sono uniti con quattro viti da una lastra collocata esternamente lunga $0^m{,}38$, alla quale corrisponde internamente una ganascia spessa 0,012 ed un po' meno alta che il vano del ferro a U affine di permettere agli uncini, coi quali si fissano le lastre ondulatorie, di avere una lunghezza uguale a quella dell'aletta. La lastra esterna si ripiega ad angolo retto, ed è unita all'arco per mezzo di quattro chiodi (tav. IV, fig. 10).

I quattro chiodi che riuniscono la lastra all'arco sono collocati alla rispettiva distanza di $0^m{,}10$: il loro diametro è di 15^{mm} e quindi in ragione di 6 kg. per mill. quad.; i quattro chiodi riuniti presentano una resistenza di 4240 kg., la quale moltiplicata per la mezza diagonale del rettangolo determinato dai quattro chiodi (ossia $0^m{,}10$) ci dà la misura della forza necessaria per strappare per rotazione tale giunto: s'aggiunge che il momento di resistenza laterale dell'arco formato di due ferri a [proposto per la nuova tettoia sale a:

$$\frac{10 \times \overline{134}^3 + 100 \times \overline{50}^3 + 10 \times \overline{86}^3 - 120 \times \overline{30}^3}{6 \times 134} = 49355.$$

È evidente che questo giunto è molto rigido e resiste efficacemente ad ogni tendenza che possa aver l'arco d'uscire dal piano verticale, tendenza che in alcuni casi s'è preferito combattere col mezzo di diagonali.

Ma in realtà questa tendenza non esiste che nel periodo della collocazione a sito delle prime centine, tanto più se abbandonate a se stesse, cosa sempre imprudente, poichè le centine d'una tettoia sono necessariamente esili nel senso della lunghezza, anche quando si prevede un carico accidentale di 150 a 180 kg. per mq. Ma appena esse sono collegate assieme dai correnti, a meno che questi siano leggerissimi, e troppo lontani uno dall'altro, cessa il pericolo che una centina possa rovesciarsi.

Le diagonali quindi, molto pesanti e costose, riescono inutili.

Siccome i travicelli o correnti sono soppressi sulla parte centrale corrispondente al lucernario, così onde non abbandonare gli archi a se stessi per una lunghezza di $4^m{,}70$ circa si sono riuniti a metà delle centine per mezzo d'un corrente formato d'un ferro a squadra congiunto ad ogni arco da una lastra ed 8 viti come dalla fig. 3, tav. IV; le dimensioni del ferro a squadra sono: $\frac{110 \cdot 70}{10 \cdot 13}$.

Malgrado che la tettoia d'Ancona possa considerarsi come più esposta alle bufere che quella di Foggia, la quale tuttavia ha già dato prova, dal 72 in poi, della sua grande rigidezza, il sistema di giunti proposto è ampiamente sufficiente per sostenere la pressione più elevata che si può ragionevolmente prevedere.

Lungo tutta la tettoia e precisamente sulla parte centrale corre un lucernario largo $4^m{,}76$ esternamente.

Esso è intieramente in ferro laminato essendo sostenuto su montanti formati da ferri a T le cui dimensioni sono $\frac{90 \cdot 55}{10\,^1/_2 \cdot 11}$, i quali riescono più economici che le colonne in ghisa, tenuto conto de' pesi.

Le capriate sono formate d'un ferro a [a bracci diseguali identico a quello impiegato per gli archi, fortemente consolidato al vertice per mezzo di una lastra esagonale di 10^{mm} di spessore.

Il montante poi è unito all'arco per mezzo di un ferro ad angolo $\frac{120 \times 80}{9 \times 12}$.

Il lucernario è coperto con lastre ondulate come tutta la tettoia (salvo le due invetriate sui fianchi), perciò le capriate sostengono sei correnti ordinari, eguali a quelli che uniscono le centine, ed alle quali sono uniti per mezzo di una lastra piegata a squadra, come si propose per i travicelli delle centine, e che serve anche a congiungere due correnti consecutivi.

Il lucernario è assai basso, ed ha più specialmente per scopo di facilitare lo scolo delle acque sulla parte centrale. In questo modo si è potuto ridurre l'elevazione massima della tettoia a metri 13,78.

La tettoia è illuminata da due invetriate sui fianchi delle centine, e sopra tutta la lunghezza, eccetto le due campate estreme. Esse sono formate da 4 file di vetri che presentano in tutto una superficie uguale ad un terzo circa di quella coperta.

I vetri di $0^m{,}008$ di spessore sono sostenuti sopra piccoli ferri a T rovesciati (fig. 9, tav. IV). Questi ferri tagliati a lunghezze eguali a quelle dei vetri s'appoggiano gli uni sugli altri per mezzo di dadi di ghisa, per modo da formare quasi una gradinata, lasciando fra due ordini consecutivi di vetri uno spazio per facilitare lo sfogo del vapore e del fumo, il quale può pure scaricarsi dalle aperture laterali del lucernario, e dagli intervalli di circa 3 centimetri d'altezza praticati fra i diversi ordini di lastre ondulate.

Ciascuna centina poi è fissata sui piedritti dal lato della Stazione, mentre l'altra è sostenuta sopra cinque rulli, onde facilitare e rendere innocue le variazioni dovute ai cambiamenti di temperatura, quantunque l'esempio delle immense tettoie inglesi, senza questi mezzi di precauzione, possa citarsi ove si volesse risparmiare la spesa corrispondente, poichè le centine d'una tettoia non si possono paragonare alle travi d'un ponte, in quanto alla loro resistenza nel senso della lunghezza.

La tettoia è chiusa alle due estremità da invetriate sostenute da un'intelaiatura di ferro.

Quest'intelaiatura o facciata è formata da un arco rigido in ferro laminato a [dell'altezza di 235^{mm} sopra 85 di larghezza, e d'un arco interno o tirante consistente in un ferro a — alte 53 millimetri e largo 203 millimetri (fig. 1 e 2, tav. V).

La sua larghezza è disposta orizzontalmente per modo da resistere efficacemente e riportare su punti fissi la pressione del vento.

Lo spazio compreso è diviso in 12 campi per mezzo di verticali formate di un ferro a T di $\frac{150 \cdot 80}{10}$ uniti ai due archi per mezzo di lastre triangolari mistilinee e di due ferri a squadra che corrono lungo gli archi stessi; formando così un sistema rigidissimo lateralmente.

Le diverse parti dell'arco e del tirante sono riunite per mezzo di coprigiunti interni ed esterni e d'un sufficiente numero di chiodi e viti.

I coprigiunti esposti alla vista sono tagliati regolarmente per modo da costituire un ornamento semplice.

Siccome, malgrado la sua forma, e malgrado che opponga alla spinta orizzontale del vento l'asse di maggior resistenza, il tirante non sarebbe abbastanza inflessibile sopra tutta la lunghezza, sicchè, vibrando esso, ne succederebbe la rottura de'cristalli, la facciata è sostenuta nel senso dell'asse della tettoia da tre mensole formate di lamiera di 10^{mm} di spessore e di ferri a squadra di $\frac{60 \times 70}{10}$ (fig. 2, tav. III).

Queste mensole fanno corpo coi travicelli corrispondenti, e sono connesse alla prima centina (fig. 3, tav. V).

In tal modo al movimento di rotazione cui sono sottoposte le mensole dalla pressione esercitata dal vento sulla facciata, si oppone tutto il peso che gravita sulla prima centina.

La facciata è perciò suddivisa in quattro parti quasi eguali in lunghezza.

Per ultimo la facciata riposa sopra due cuscinetti di ferraccio di forma speciale, uno dei quali è direttamente fissato sulla muratura, mentre l'altro può scorrere sopra sette rulli, come le centine normali (fig. 1 e 9, tav. V).

Caduno dei dodici campi è poi suddiviso verticalmente in parti eguali da quattro ferri a T di $\frac{50 \times 46}{7}$ riuniti ai ferri a squadra, che corrono lungo gli archi per mezzo di lastre triangolari come i montanti principali, ed orizzontalmente da ferri a T di $\frac{45 . 25}{6}$, per modo che le lastre di vetro non oltrepassano $1^{m},40$ in altezza, e $0^{m},50$ in larghezza, dimensioni commerciali assai convenienti.

Le estremità del lucernario sono chiuse con lamiera, e mascherate da un fregio in ferro fuso: con quest'artifizio non si scorge la sovrapposizione del lucernario a falde rette alla tettoia curvilinea.

Dalle fig. 3, 6 e 7 della tav. V, si scorge che i travicelli sono riuniti all'arco della facciata (il quale supera appunto l'altezza di quelli), per mezzo di una lastra piegata in modo da opporsi efficacemente al rovesciamento senza impedire di assicurare le lastre ondulate ai travicelli coi mezzi usuali.

Le file delle lastre ondulate poi dovranno ricoprire lo spigolo dell'arco della facciata, formando cornice al medesimo, ed impedendo all'acqua di penetrare sotto la tettoia.

Le lastre ondulate sono mantenute a sito per mezzo di linguette di ferro zincato, unite per mezzo di due piccoli chiodi: queste linguette penetrano sotto l'ala dei travicelli, e permettono la dilatazione delle lastre stesse.

I vetri della parte superiore sono legati ai ferri a T con fili di rame e poi saldati con mastice.

Il peso approssimativo di questa tettoia si compone come segue:

Ferro e acciaio . . .	chilogr.	163546,23
Ferro fuso	»	4147,76
Zinco in lastre ondulate . .	»	22974,50
Totale della parte metallica	chilogr.	190668,49
Vetri	»	35418,09
Totale	chilogr.	226086,58

Il peso complessivo per *m. q.* di superficie coperta (compreso cioè il peso della ghisa, de'cuscinetti e quello delle due facciate) sale a:

$$\frac{226086^{kg},58}{4356^{mq},75} = 51^{kg},89.$$

Sottraendo però il peso delle due facciate, ed il peso di quella porzione di copertura che riposa sulle medesime, ogni capriata sostiene un carico permanente di 5700^{kg} appena, ossia 48^{kg} per mq. di superficie coperta; cioè un po'meno di quanto si è supposto nel calcolare gli sforzi delle diverse parti della tettoia.

La stabilità di questa è quindi d'altrettanto accresciuta.

Ing. O. Moreno.

ARCHITETTURA CIVILE

CASE DA PIGIONE DELLA SOCIETÀ «L'*IMPRESA DELL'ESQUILINO*»

(Veggasi la tavola VI)

Sommario. — Breve notizia sull'origine e sui lavori della Società l'*Impresa dell'Esquilino* — Gli isolati N. I e N. X in piazza della stazione — Condizioni generali della casa dell'isolato N. 1 — Disposizioni principali nei piani — Le fondazioni — I muri, le vôlte, i soffitti, le scale, il tetto e il cornicione — Ripartizione superficiale dell'area al piano terreno e ai piani superiori — Ripartizione del volume delle varie parti delle case — Prezzi unitarii di costruzione — I pregi delle piante — L'alzata — Condizioni speciali del 2° e 4° piano — Il granito nei pilastri del portico.

Il Municipio di Roma e le Società genovesi « Compagnia Commerciale Italiana » e « Banca Italiana di Costruzioni » ricostituite più tardi nella Società unica « Impresa dell'Esquilino », nel giorno 26 marzo 1872 stipulavano una convenzione per la costruzione di uno dei nuovi quartieri della capitale, quello detto della 1ª zona dell'Esquilino, compreso da nord a sud tra la stazione ferroviaria e la chiesa di S. Maria Maggiore, da ovest ad est tra via Strozzi e via Cappellini.

In virtù di questa convenzione la Società rimaneva concessionaria della fabbricazione in quella zona acquistando dal Municipio il diritto di appropriazione. Questi si obbligava ad eseguire tutti i lavori edilizii e stradali concordati nel piano d'ingrandimento della città. La Società avrebbe cedute *gratis* le aree per le strade, per le piazze e per tutti gli edificii municipali di uso pubblico da costruirsi nel quartiere, restando però assuntrice dei medesimi lavori per conto del Municipio stesso, in base a prezzi di tariffa convenuti.

Nel tempo trascorso dall'epoca di quella convenzione, nei lavori di sistemazione e di edilizia in detto quartiere si sono spesi circa 27 milioni di lire: dei quali approssimativamente 2 milioni furono rimborsati dal Municipio alla Società per i lavori da essa eseguiti di sistemazione delle strade, fogne, selciati, marciapiedi, ecc.; 5 milioni furono spesi nelle case fabbricate dai terzi sopra aree acquistate dalla Società, e 20 milioni furono spesi dalla Società nella fabbricazione di 36 case, alte in media 25 metri, le quali coprono una superficie non inferiore a 30,000 m. q. Queste case sono scompartite in quartieri grandi e piccoli, che sono quanto vi ha di meglio nel genere in Roma e che contribuirono non poco a mantenere un certo equilibrio nel prezzo delle pigioni.

Tra le case ultimamente condotte a termine da questa Società sono quelle due, quasi uguali e simmetriche dei due isolati segnati coi numeri I e X nella pianta del quartiere riprodotto nella fig. 24, che saranno tra breve anche abitate come lo sono già tutte le altre case ultimate. Furono progettate dall'architetto della Società, il sig. Francesco Virla, e nel giorno 30 novembre 1876 ebbe luogo la solenne inaugurazione dei lavori (1).

I disegni che presento, riguardano la casa del N. I, che è del tutto uguale per pianta ed elevazione a quella del N. X, dalla quale differisce appena per la diversa disposizione di qualche scala.

Questa casa occupa una superficie di mq. 2886 dei quali sono coperti colla fabbrica solamente mq. 1998. Come rilevasi dalle piante, fig. 1 e fig. 2 della tavola VI, è doppia in profondità; al piano terreno, predomina il portico verso la fronte principale prospiciente la stazione della ferrovia, e vi è un cortile accessibile, con tre androni carrozzabili in relazione con cinque scale, ciascuna delle quali ad ogni piano serve a due quartieri. Senza contare il piano terreno a bot-

(1) Devo i più vivi ringraziamenti al signor cav. Giulio Ricotti amministratore delegato dell'Impresa, all'architetto sig. Francesco Virla, all'ingegnere direttore dei lavori di queste due case, il signor Berti, dai quali gentilmente ho avuto i disegni e le notizie per compilare questo lavoro.

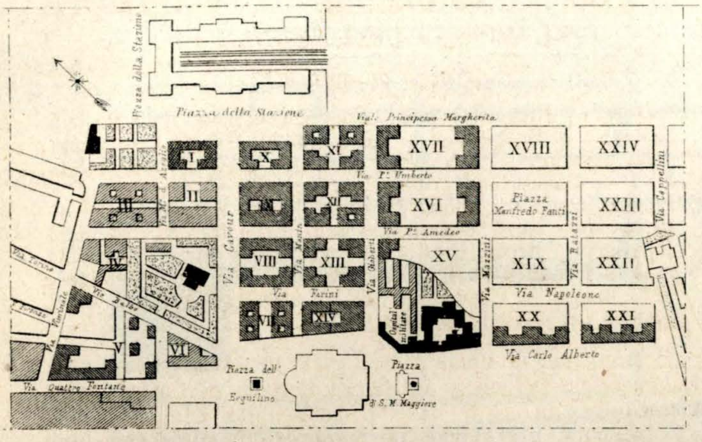


Fig. 24.

teghe, l'ammezzato, il sottotetto e i sotterranei, che offrono locali d'uso secondario, si ha per ognuno dei quattro piani rimanenti dieci quartieri; in tutto si hanno 300 ambienti di abitazione, della superficie complessiva di mq. 6254, alla quale applicando il prezzo medio della pigione annuale di lire 15 al mq., si otterrebbe un reddito lordo presumibile complessivo di lire 93,810; mentre il capitale investito in questa fabbrica è poco più di un milione.

I muri trasversali sono alternati con tramezzi, e gli ambienti così formati in ogni quartiere sono disimpegnati con un corridoio ricavato lungo il muro longitudinale interno. Le latrine sono separate dalla cucina con un tramezzo, si appoggiano al muro perimetrale del cortile nel quale im-

qualità scadente che scavavano nel suolo sotto i loro piedi, sotto le case e perfino sotto i monumenti stessi di Roma antica.

I muri sono fatti con pietrame irregolare di tufo, che è una roccia tenera di formazione vulcanica, con la sostituzione dei mattoni a quella pietra nei muri piccoli, nei punti e nei piloni più gravati, nelle spalle delle porte e delle finestre, negli archi e nelle vòlte del piano terreno e dell'ammezzato.

Le vòlte dei sotterranei sono grosse circa m. 0,30, ed eseguite secondo la consuetudine locale anche in pietrame di tufo. Tutti gli altri piani sono coperti con soffitto di travi in ferro alla distanza di 0,80 e racchiudenti delle volticine piatte di mattoni vuoti del tipo indicato nella fig. 25 qui inserita nel testo.

Queste travi sono alte $0^{m}14$, o $0^{m}18$, a seconda che la portata si avvicina più a 4 od a 6 metri. Comprendendo tutto, ossia la trave di ferro, i mattoni, l'intonaco all'intradosso, lo strato di calcestruzzo superiore e il pavimento, questi soffitti occupano un'altezza non maggiore di $0^{m}23$; essi hanno un peso proprio di 170 kg. al mq., per cui ove si computi anche un sovraccarico accidentale di 300 kg. al mq., quelle travi lavorano a circa 10 kg. per mmq.

Malgrado che questa casa, come si è detto, sia quasi intieramente a soffitti, pure a tutti i piani si ripetono alcune catene di ferro per il collegamento dei muri maestri tra di loro.

Le scale sono comode e ampiamente illuminate da una finestra ad ogni piano, hanno gli scalini di marmo portati con vòlte di mattoni. Lo scaloncino che fiancheggia l'androne della fronte principale si estende solo fino al piano nobile, e per i piani superiori successivi subentra una scala più modesta indicata nella pianta del primo piano fig. 2, tavola VI).

La figura 26 inserita nel testo, serve a dimostrare la struttura del cornicione, eseguito in muratura ordinaria con un nucleo di peperino nelle mensole e una lastra pure di

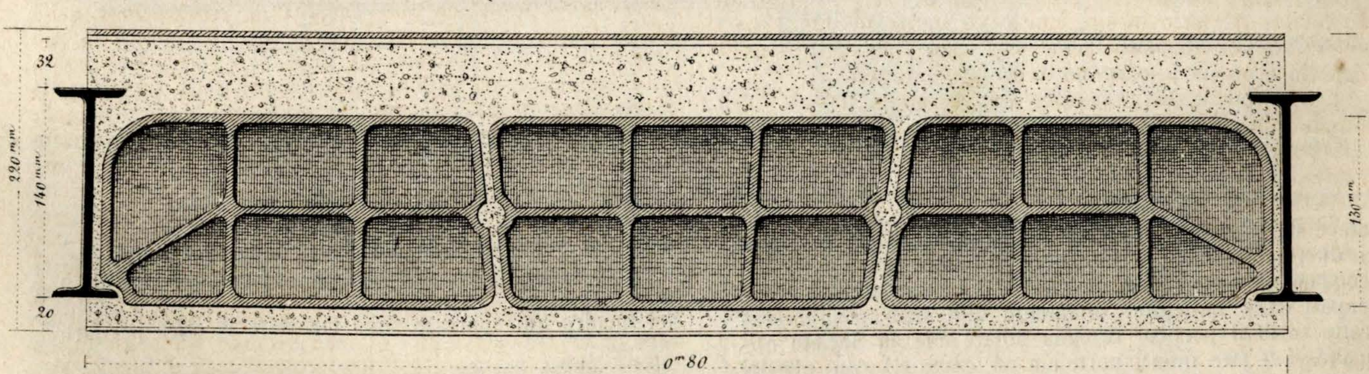


Fig. 25.

mettono le rispettive canne, ed hanno l'accesso diretto sul corridoio centrale dove mettono tutti gli ambienti del quartiere. Se questo sistema obbliga a perdere qualche metro di più di superficie per questo servizio, offre almeno dei gabinetti ben ventilati.

Dal lato della costruzione queste case non offrono grandi singolarità e rappresentano, si può dire, le condizioni medie della fabbricazione odierna in Roma. Le fondazioni, fatte con piloni isolati, si dovettero spingere, in alcuni punti, anche a 15 metri sotto il suolo stradale, e dovettero attraversare la zona di una fitta rete di grotte in un banco di pozzolana nera, del genere di quelle trovate in due ed anche in tre strati, uno sotto l'altro, nelle fondazioni per il palazzo del Ministero delle Finanze. Queste grotte sono antiche cave di pozzolana esercitate nel periodo medioevale quando i costruttori, trovando nei monumenti in abbandono il modo di avere pietre per edificare, e marmi da cuocere per farne della calce, erano diventati pigri al punto da contentarsi per fare le malte di quella pozzolana nera di

peperino pel gocciolatoio, e una lastra sottile di lavagna che serve di coperto.

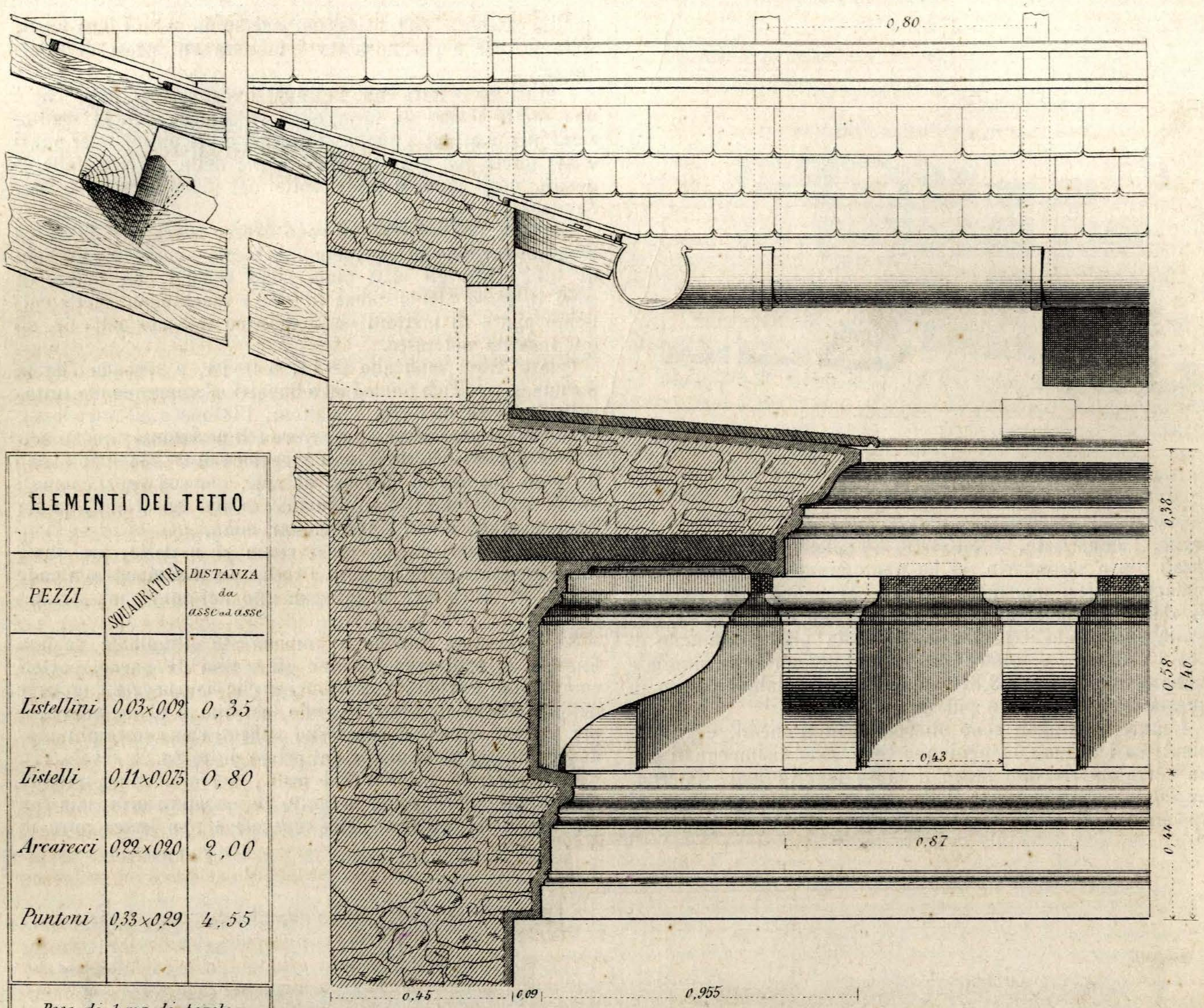
L'intonaco della cornice applicato a più strati ha una grossezza media di $0^{m},03$ come lo richiede la malta ordinariamente impiegata in Roma fatta con la pozzolana del luogo.

La struttura della copertura è resa manifesta nell'assieme dalla sezione trasversale, fig. 27, e ne' suoi particolari dalla fig. 26.

La ripartizione superficiale degli spazii in questa casa è la seguente:

	al piano terreno mq.	al 2° piano mq.
1° Locali utili	1224	1174
2° Scale, passaggi, latrine . .	327	348
3° Area occupata dai muri e tramezzi	447	476
Superficie totale coperta dal fabbricato	1998	1998

Tra i locali utili del piano terreno figurano solamente le botteghe, lo spazio rimanente è assorbito dal portico, dalle



ELEMENTI DEL TETTO

PEZZI	SQUADRATURA	DISTANZA da asse ad asse
Listellini	0,03×0,02	0, 35
Listelli	0,11×0,075	0, 80
Arcarecci	0,22×0,20	2, 00
Puntoni	0,33×0,29	4. 55

Peso di 1 mq di tegole Kg. 37.

Fig. 26.

scale e dai passaggi. Mancano completamente gli spazii per usi di retro-bottega, e bisognerà utilizzare per questi usi secondarii il sotterraneo stesso. Dei 774 mq. di superficie occupati dalle botteghe, solamente 298 sono con accesso diretto sotto il portico. Bisogna notare che la Società obbligandosi a fare questi portici e ad eseguirli con pilastri di granito ha ricevuto dal Municipio un'indennità di L. 100 mila. Malgrado ciò non è possibile che il maggior prezzo delle pigioni delle poche botteghe sotto il portico ricompensi intieramente la Società del reddito che viene a perdere pel fatto di avere 450 mq. del suo piano terreno occupato da questo portico. Invece nella ripartizione degli spazii al primo piano non sono certamente eccessivi i 348 mq. occupati dalle scale e dai passaggi, a fronte di 1174 mq. occupati dalle camere e dalle cucine, tutti locali liberi e comodamente disimpegnati dal corridoio centrale, che in alcuni punti ha anche il valore di un vestibolo di accesso o di una piccola guardaroba.

Può offrire qualche interesse il confronto delle seguenti tre categorie di spazii che completano il prisma esterno della casa:

1° Spazii occupati dagli ambienti di ordinaria abitazione considerati come spazii utili o positivi.

2° Spazii occupati dalle scale, passaggi, latrine, ecc., i quali, inquantochè contribuiscono al maggior valore dei primi, possono ancora considerarsi come spazii utili e positivi.

3° Spazii occupati dai muri, tramezzi, vôlte e soffitti, i quali, dal punto di vista del prezzo delle pigioni possono, fino ad un certo segno, considerarsi come spazii inutili o negativi.

Nel quadro qui appresso sono riportate le cifre per fare

N°	Indicazione degli spazi occupati	Superficie	Altezza media	Volume
		mq.	m.	mc.
1	dal portico	450	7. 50	3375
2	dalle botteghe	774	4. 30	3329
3	dagli ambienti dell'ammezzato .	774	3. 20	1707
4	dagli ambienti di tutti 4 i piani superiori	1174	16. 00	18784
	I. Totale *spazi utili di abitazione ordinaria*	. . . .	. . . .	27195
5	dalle scale e passaggi del piano terreno ed ammezzato. . . .	327	7. 50	2452
6	dalle scale e passaggi dei 4 piani superiori	348	16. 00	5568
	II. Totale *spazi scale e passaggi*	. . . .	. . . .	8020
7	III. Volume totale *dei muri, tramezzi, vôlte e soffitti*	. . . .	. . . .	16244

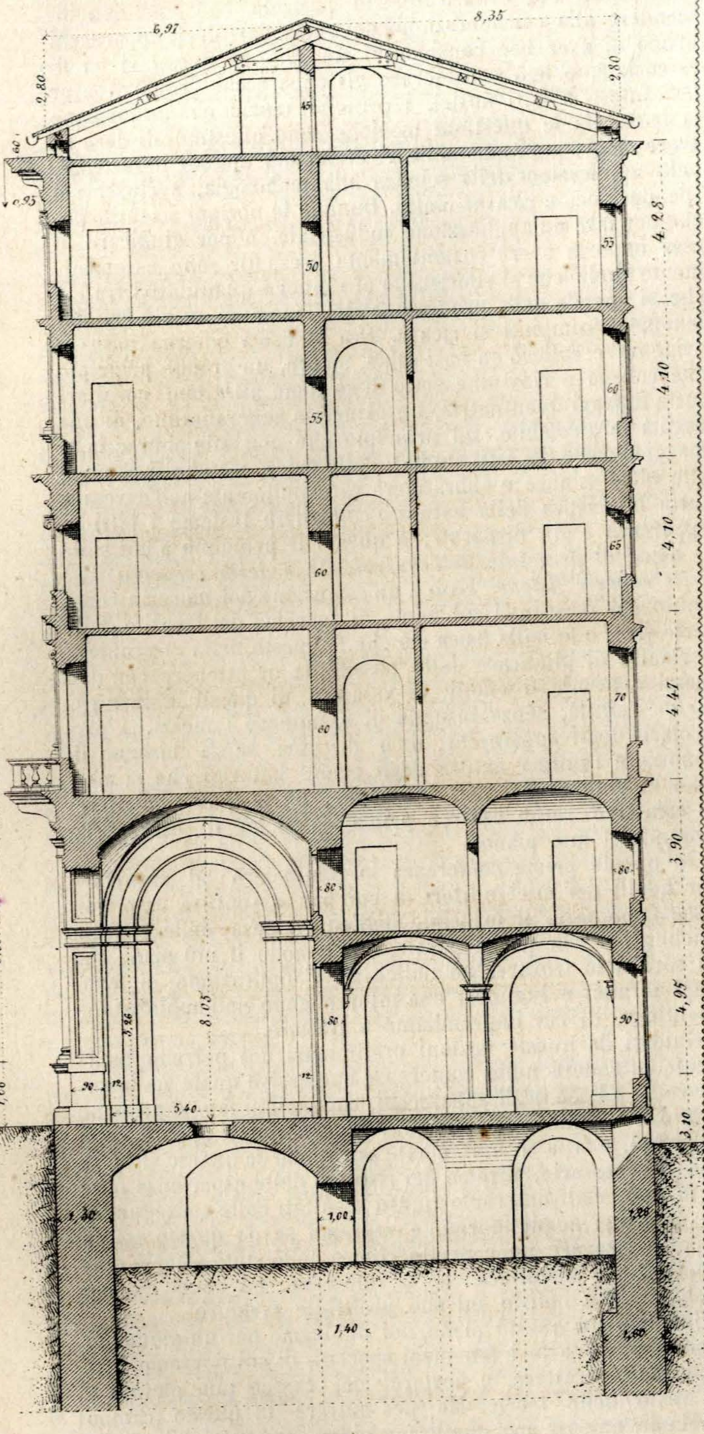


Fig. 27.

questo confronto. Sotto il nome di altezza media s'intende quell'altezza fittizia che, moltiplicata per la superficie orizzontale occupata da un ambiente, dà il volume effettivo della capacità di questo ambiente estesa alle faccie interne dei muri e della vôlta.

La somma degli spazii I, II e III che è di mc. 51459, rappresenta il prodotto dell'area totale coperta dal fabbricato per l'altezza di m. 25 dal piano di terra alla linea superiore del cornicione.

Per ogni metro cubo di spazio del prisma considerato come sopra, si ha:

0,528 per ambienti di ordinaria abitazione,
0,156 per scale e passaggi,
0,316 per muri, tramezzi, vôlte e soffitti.

In base al prezzo di costo di questa casa computato a poco più di un milione, si hanno i seguenti prezzi unitarii:

1° Di un metro cubo dello spazio del prisma esterno suddetto . . . . L. 20 —

2° Di un metro cubo di ambienti di ordinaria abitazione, comprese anche le scale, i passaggi . . . . » 29 50

4° Di un metro quadrato dell'area coperta dal fabbricato . . . . » 502 —

Questi coefficienti e questi prezzi vorrebbero essere confrontati con altri ricavati in condizioni paragonabili; ma fin d'ora possono assumersi come un'espressione media approssimativa delle condizioni di una casa con quartieri piuttosto signorili, costrutta colle pratiche e coi prezzi del mercato odierno in Roma.

In complesso questa casa è una delle migliori e delle più belle tra quelle del genere che ultimamente si sono costrutte in Roma; e offre il primo esempio di un portico per uso pubblico; i suoi quartieri, muniti di quasi tutti gli accessori e comodi voluti dalla vita moderna, avuto riguardo anche alla posizione speciale della casa, saranno piuttosto ricercati. Per le disposizioni semplici della pianta e la ricorrenza delle sue linee, bastò la sola rimozione di alcuni tramezzi che chiudevano le porte tra quartiere e quartiere, perchè con tutta facilità siasi potuto ricavare nella metà di questo isolato la sede di un grande albergo che dev'essere aperto fra poco tempo.

Il prospetto di questa casa nella sua elevazione (vedi tav. VI) offre un bell'esempio di tre ordini sovrapposti di finti pilastri che comprendono in altezza due piani per ciascuno, ed ha la fisionomia di una libera interpretazione dello stile bramantesco. Mentre può contentare anche gli imitatori del classico antico non spiace nemmeno a coloro i quali senza imitare uno piuttosto che l'altro degli stili antichi, preferiscono maneggiare liberamente gli elementi della composizione ascoltando solamente il proprio sentimento artistico e le esigenze del programma.

Si può per altro osservare che il cornicione superiore e la cornice dell'ordine ionico intermedio colla loro altezza eccessiva rubano lo spazio in alto alle finestre del 2° e del 4° piano, i quali assumono esternamente l'apparenza, e internamente le condizioni di illuminazione di due ammezzati, quantunque siano in sostanza due piani regolari come gli altri.

Inoltre non meno di 70 mc. di granito (1) per ogni interasse del piano terreno, sono stati profusi nel rivestimento dei pilastri, delle lesene degli archi e della cornice. È questa una ricchezza che corrisponde male a tutto il rimanente della casa che è decorato a stucco, ad eccezione dei capitelli dei due ordini superiori che sono in cemento. L'architetto stesso aveva presentato un progetto nel quale gli archi del portico poggiavano direttamente su colonne isolate, che si sarebbero potute eseguire di granito anche in un sol pezzo, e così senz'aumentare la spesa complessiva si avrebbe avuto un portico ancora più elegante; ma sopratutto si sarebbe fatta un'applicazione molto più appropriata di questo nobile, prezioso e resistentissimo materiale.

Ad ogni modo non si devono disconoscere le difficoltà che s'incontrarono per ricavare qualche cosa di monumentale da quegli immensi alveari che sono le case moderne fatte con scopo di speculazione. E in questo caso è un merito indiscutibile dell'architetto che, senza impegnare la Società costruttrice nelle spese inutili di una decorazione eccessiva, ha saputo ottenere in una casa a sei piani un effetto grandioso ed imponente e mantenere delle masse larghe e atte a reggere il riscontro con le dimensioni colossali della prospiciente stazione che a parità di altezza ha solamente due piani.

Roma, aprile 1879.

C. CASELLI.

(1) Questo granito è delle cave di Porto Forrù in Sardegna, e costa alla Società, messo in opera, circa L. 400 al metro cubo, con misurazione del minimo parallelepipedo circoscritto.

SULLA ILLUMINAZIONE ELETTRICA

CINQUE PUBBLICHE CONFERENZE

tenute nel Museo Industriale Italiano dal Professore

GALILEO FERRARIS

Conferenza prima — 26 aprile 1879

Equivalenza e Conservazione delle Energie.

Invitato a tenere una serie di pubbliche conferenze sulle applicazioni industriali della Fisica, io mi proposi questo programma: Premesse alcune nozioni teoretiche, e fatta una descrizione sommaria degli apparecchi adoperati o proposti per l'illuminazione elettrica, indicare i risultati delle esperienze eseguite; poi per mezzo di questi, e colla scorta dei principii della scienza, cercare di porre in chiaro lo stato presente di questa applicazione dell'elettricità, ed indagare, se possibile, quale sia il suo probabile avvenire.

È necessario che io giustifichi la scelta della materia, e che dichiari subito quale metodo e quale ordine mi sembri conveniente adottare per svilupparla.

La scelta non mi fu suggerita dalla mancanza di scritti o di pubbliche letture relative all'argomento, e non poteva esserlo: quel che si disse o si scrisse su ciò è tanto, e alcuni di quelli che dissero o scrissero hanno nomi così autorevoli e popolari nella scienza, che io avrei avuto motivo di temere che non già la speranza di vedere o sentire cose nuove, ma solo una lusinghiera benevolenza a mio riguardo avrebbe potuto attirare in questa sala il scelto uditorio a cui ora volgo la parola pieno di gratitudine.

Successe il contrario: l'argomento mi fu suggerito appunto dall'abbondanza degli scritti che vi si riferiscono, e che da qualche tempo inondano i giornali tecnici, ed anche i libri. Questi scritti non sono tutti ripetizioni delle medesime cose, molti di essi sono diretti a chiamare l'attenzione del pubblico su altrettanti apparecchi diversi, ciascuno dei quali viene messo innanzi come un'ultima, definitiva, grande invenzione, la quale o per l'economia, o per la comodità dell'impianto, o per la suddivisibilità che permette, detronizza e annulla tutte le precedenti. Quest'abbondanza di apparecchi e di pubblicazioni indica due cose: 1° Che si tratta di un problema realmente importante; 2° Che vi ha confusione, che forse non sempre gli inventori e gli autori tennero di mira il vero nodo della questione, od anche la meta da conseguirsi. Ora l'importanza del problema e la confusione indicata, e in parte risultante dalla molteplicità delle invenzioni e degli scritti, dovevano generare nel pubblico speranze esagerate ed anche esagerati timori.

Parve quindi a me che forse non sarebbe stato inopportuno nel presentarmi a quelli fra i miei concittadini, che col trovarsi qui radunati dimostrano di non essere indifferenti ai progressi delle scienze e delle loro applicazioni, dire loro: proviamo ad allontanarci per un momento dal frastuono di tante voci diverse e discordanti, proviamo a portarci in una regione a cui non arrivi il rumore della lotta, poniamo, se ci è possibile, nella nostra mente la calma, la serenità dello studioso della scienza, riandiamo i principii scientifici che servono di base alle applicazioni, di cui ci occupiamo, e corroborata con questi la mente, facciamoci a ragionare su ciò che avremo visto o sentito. Chissà che così noi riesciamo a vedere molto più chiaro.

E tale è lo scopo che io mi sono proposto.

Il metodo? Lo scopo stesso ce lo addita. Il fatto di cui siamo oggi testimoni relativamente all'illuminazione elettrica, voglio dire la moltiplicità delle proposte e dei giudizii, la confusione delle lingue, è frequente nella storia delle invenzioni. E quasi sempre la causa è una stessa, la preoccupazione degl'inventori pei particolari degli apparecchi, la quale se è eccessiva può confondere la mente e creare illusioni. I particolari di un'invenzione sono spesso ciò che la rendono pratica, che la costituiscono; ma qualche volta eziandio fanno per l'invenzione ciò che fanno le ingegnose disposizioni di parole per i sofismi: ne mascherano la insussistenza. Per evitare questo pericolo conviene non discendere alla considerazione dei particolari degli apparecchi prima di aver ben considerato ciò che in questi vi ha di essenziale, e non considerare gli apparecchi prima di aver ben inteso e fatti nostri, i principii teorici che ne formano la base. Ma le questioni tecniche sono questioni di dare ed avere; meta suprema nelle ricerche dei metodi industriali, nelle applicazioni della scienza alla tecnologia, è riuscire a spender poco e ricavar molto. Dunque le nozioni scientifiche, che per fare un'applicazione industriale, o per giudicare di essa importa avere costantemente presenti, sono essenzialmente quelle che si riferiscono ai rapporti quantitativi fra ciò che si spende nella produzione dei fenomeni, e ciò che dai fenomeni compiuti si ricava. Ora la fisica odierna pose in evidenza e collocò su basi salde, sicure, un grande principio che collega e riassume sotto di sè come altrettanti corollari tutte le leggi quantitative, un principio generalissimo, di una vastità incalcolabile, un principio che non solo abbraccia la maggior parte dei fatti studiati dalla fisica, ma che si estende alle altre scienze e abbraccierà verosimilmente nell'avvenire tutta la scienza della natura e collegherà insieme i fatti in apparenza i più disparati; è questo il principio a cui si dà il nome di *principio dell'equivalenza e della conservazione delle energie fisiche.* Esso è un'estensione del teorema conosciuto dai meccanici col nome di teorema dei lavori o delle forze vive, e fa nella fisica ciò che fa questo nella meccanica: permette di giudicare della possibilità di ottenere con dati mezzi determinati effetti, di valutare di questi *numericamente* l'entità, senza bisogno di esaminare i mezzi, i particolari degli apparecchi; dico di più: senza bisogno di conoscere l'intima natura degli agenti naturali che si mettono in giuoco. Noi non dobbiamo, nè possiamo metterci in cammino senza esserci prima intesi su di esso. Ecco adunque il mio piano:

In questa prima conferenza io comincierò ad *enunciare* per quelli dei miei uditori a cui per avventura esso non fosse famigliare, il principio dell'equivalenza delle energie fisiche; poi con poche parole, e nel modo il più piano che mi sarà dato trovare, ne indicherò l'applicazione ai fenomeni termici e luminosi che intervengono nell'applicazione scientifica, di cui imprendiamo a trattare.

Guidati da queste nozioni preliminari noi potremo facilmente intendere nelle conferenze successive quale sia la costruzione e l'uso degli apparecchi, coi quali si fa o si propone di fare la illuminazione elettrica. Ridotti questi apparecchi a pochi tipi, e fatta accuratamente astrazione da quanto vi ha in essi di accessorio, diremo dei risultati delle esperienze fatte su di essi, confronteremo questi risultati colle conseguenze dei nostri principii teorici, e vedremo se da questo esame si possa ricavare un concetto chiaro dello stato attuale dell'applicazione scientifica che ci interessa, ed anche, come dissi, qualche indizio sul suo probabile avvenire.

Ubbidienti a questo piano noi dobbiamo per un momento lasciare in disparte i fenomeni speciali, di cui dovremo particolarmente trattare, e portarci nel campo più elevato e più vasto delle teorie. Ma per entrare in questo campo dobbiamo passare per quello più piano, più accessibile della pura meccanica. I fatti che si studiano nella meccanica, semplici e facili ad esaminarsi direttamente coi sensi, ci guideranno più facilmente al concetto fondamentale sul quale si aggira tutta la fisica, e su cui ci appoggeremo in tutto il nostro studio: al concetto di ENERGIA.

Un'operazione meccanica qualsiasi ha per oggetto un cambiamento della forma o della posizione di qualche corpo e si riduce sempre, se ben si considera, ad uno spostamento: ad uno spostamento dell'intiero corpo, o ad uno spostamento delle parti di questo. Il valore meccanico, l'entità, il *costo* dell'operazione dipende evidentemente dalla grandezza di questo spostamento, ed è a questo proporzionale. Per esempio: se elevare un dato peso di un metro costa uno, costa due l'elevarlo di due metri; se per fare che l'utensile d'una pialla si avanzi di *un* centimetro bisogna spendere *uno*, per fare che esso si avanzi di *due* centimetri bisogna spendere *due*; per far dare alla saetta di un trapano due giri, bisogna spendere il doppio di ciò che è necessario per un giro solo; due giri di una macina costano il doppio di uno, ecc.

Ma oltre che dalla grandezza dello spostamento, il valore, diciamo pure, il costo della trasformazione, dipende da un altro elemento: dallo *sforzo*, dalla forza che bisogna esercitare per produrre il moto. Se al moto non si opponesse forza alcuna, esso non costerebbe nulla. Supponiamo che non esistesse la gravità; un piccolo impulso comunicherebbe allora ad un corpo qualunque una velocità che si manterrebbe costante, e il corpo seguiterebbe ad elevarsi da se stesso fino all'infinito, senza costo di altra spesa. Se un corpo è collocato su di un piano orizzontale levigatissimo, può essere spostato con poca fatica; se fosse possibile togliere ciò che si dice attrito, quel corpo andrebbe fino all'infinito senza costo di spesa; se le particelle da staccarsi del ferro che si pialla non opponessero all'utensile un ostacolo, la piallatura non costerebbe nulla e non potrebbe formare oggetto di operazione meccanica. Dunque, ripeto, il valore d'un'operazione meccanica dipende dalla forza. Anzi le è proporzionale: elevare ad una data altezza un peso doppio costa il doppio; e lo stesso dicasi degli altri esempi. Il valore meccanico dell'operazione è proporzionale allo spazio ed allo sforzo? è dunque proporzionale al loro prodotto: il prodotto dei due fattori, spazio e forza, è la misura del suo valore: questo prodotto si dice il *lavoro*, e si valuta in numeri adottando per unità il lavoro che si fa elevando un chilogramma all'altezza di *un metro*. Tale unità si dice *chilogrammetro*.

Come il valore delle trasformazioni che formano l'oggetto delle operazioni meccaniche si esprime in unità di lavoro, in chilogrammetri, così è sempre un lavoro, nel senso or definito, ed esprimibile in chilogrammetri, ciò che si spende per tenere in azione i meccanismi che le producono; è il peso di una certa quantità d'acqua che riempie la cassetta di una ruota, e che discendendo trascina seco la cassetta medesima e fa girar la ruota, dando così un numero di chilogrammetri uguale al peso moltiplicato per l'altezza della discesa; è un vapore od un gas che si dilata in un cilindro, e spinge innanzi a sè uno stantuffo, dando in ogni elemento di tempo un numero di chilogrammetri eguale al prodotto della pressione per lo spazio percorso; è lo sforzo del braccio di un uomo, che spinge una manovella, e produce un numero di chilogrammetri uguale all'arco descritto moltiplicato per lo sforzo.

I meccanismi coi quali il moto della ruota idraulica, dello stantuffo, della manovella, è trasmesso al corpo che si solleva, al bulino della pialla, alla saetta del trapano, alla macina, non producono lavoro, solo lo trasmettono, solo cambiano i rapporti tra i due fattori *sforzo* e *spazio*: il lavoro che si ottiene è una parte di quello fatto dal peso discendente, dal vapore espandentesi o dal muscolo che si contrae. Il lavoro meccanico non è adunque gratuito mai: non lo si ha che alla condizione di avere un peso distante dal suolo e che possa discendere, od un vapore o gas compresso che possa dilatarsi, od un muscolo non contratto che possa contrarsi, od altro equivalente. I fisici odierni dicono: quel peso, quel vapore, quel muscolo, che hanno l'attitudine a produrre lavoro, hanno una *energia*. E per ricordare che il lavoro in essi è disponibile e non si farà che quando le circostanze permetteranno il movimento, senza del quale non v'è lavoro, dicono anche: que' corpi hanno *una energia potenziale*. Una massa pesante, che ad un momento voluto si possa far discendere, od un gas tenuto compresso sono un magazzino di effetti meccanici possibili, sono un tesoro della ricchezza di cui vivono le industrie, della ricchezza di *energia*.

Fermiamoci sul primo degli esempi di cui ci siamo serviti per dare la definizione di energia potenziale: immaginiamo come poc'anzi un peso sollevato ad una certa altezza sul suolo. In esso si ha una energia uguale al peso moltiplicato per l'altezza della discesa possibile. Togliamogli il sostegno; esso cade. Seguiamolo colla mente e vediamolo nel momento che non ha ancora toccato, ma sta per toccare il suolo: in quel momento il peso è ancora lo stesso, ma l'altezza sta per diventare nulla, il prodotto sta per annullarsi, l'energia potenziale è scomparsa. Fu essa senza effetto? No, il corpo che è disceso non è quale era prima di cadere: prima era fermo, immobile, morto; ora è in moto, ha una velocità, ed in grazia di questa è capace di produrre effetti che da un corpo in riposo non si possono avere: può per esempio, battere un chiodo, schiacciare un corpo, frantumarlo. Dico di più, nulla si è perduto; e infatti se noi, invece di lasciar cadere liberamente il corpo fino al suolo, ne guidassimo il moto con una curva fissa, lungo cui esso potesse scorrere senza sentirne resistenza d'attrito, cosa che otterremmo per approssimazione, per esempio, legandolo come pendolo ad un filo, in modo che esso scendesse secondo un arco, esso potrebbe risalire di per sè, ed arriverebbe di nuovo fino alla altezza, da cui esso è disceso; solo allora si fermerebbe. Il corpo adunque, anche disceso, e solo perchè in moto può fare un lavoro come se stesse elevato ad una altezza sul suolo: un corpo in movimento equivale pegli effetti meccanici, che può produrre, ad un corpo che può discendere da una data altezza, e solo perchè è in moto rappresenta, ha, una *energia:* questa è energia visibile, in atto, e la si dice *attuale* ed anche *forza viva*. Prendiamo il corpo in una posizione qualunque durante il suo moto di discesa o di ascesa: vi troviamo in generale una energia attuale ed un'energia potenziale: la somma è la sua *totale energia meccanica*.

Dall'esempio del corpo scendente per effetto della gravità, possiamo passare subito al caso generale di un sistema qualunque di corpi: in esso noi vediamo ordinariamente una energia potenziale ed una energia attuale: la prima è un lavoro disponibile, l'altra è dovuta ad un movimento, arrestando il quale con mezzi opportuni noi possiamo ricavare un lavoro.

La somma delle due, l'energia meccanica totale, è il lavoro meccanico immagazzinato nel sistema, è l'attitudine del sistema a produrre effetti meccanici, è il valore meccanico del sistema nel momento in cui lo si considera. E *questo valore meccanico di un sistema di corpi si misura in chilogrammetri.*

Se mi avete seguito fin qui e se io sono riuscito a darvi la nozione di *energia*, io posso enunciarvi subito il grande principio della fisica moderna, al quale, come vi ho detto, noi dovremo appoggiarci in tutte le ricerche, che formano l'oggetto delle nostre conferenze.

Il principio si può enunciare così:

1° Tutti gli agenti fisici, il calore, la luce, gli stati elettrici, sono energie, le quali si possono trasformare le une nelle altre in quantità equivalenti, e tutte in quantità equivalenti si possono convertire in energia meccanica. Quindi tutte le trasformazioni fisiche si possono sottoporre a valutazioni numeriche come le meccaniche, e in tutte queste valutazioni si può far uso della medesima unità di misura, del chilogrammetro.

2° Nei fenomeni naturali non v'ha creazione nè distruzione di energia, ma solo una trasformazione di una specie di energia in un'altra; la quale si fa in rapporti perfettamente determinati e costanti.

Torniamo, per chiarire la cosa con qualche esempio, e per cominciare da casi semplici, a considerare quel corpo che cade, ragionando sul quale noi siamo pervenuti al concetto di energia. Lasciamolo cadere liberamente finchè batta sul fondo e stia. L'energia potenziale che in esso si aveva, è scomparsa: la gravità non può più far lavoro; l'energia attuale è nulla di nuovo come era nulla prima che il corpo cominciasse a cadere; l'energia sensibile, misurabile coi mezzi della pura meccanica, non è più. È essa perduta? La fisica ci dice: no, essa ha prodotto un effetto: il corpo caduto si è scaldato e si sono scaldati gli ostacoli che l'hanno fermato: scomparve l'energia meccanica, ma nacque un'altra energia, nacque *calore*. In questo calore svolto, non abbiamo soltanto un effetto dell'energia meccanica che è scomparsa, ma abbiamo l'energia stessa, tutta, integralmente, identica a quel che era prima, nella sostanza, solo diversa per le apparenze esterne: la quantità dell'energia termica sviluppata è proporzionale al numero di chilogrammetri consumati per isvilupparla, e si può esprimere in chilogrammetri, col medesimo numero. L'unità della quale più comunemente noi ci serviamo per valutare le quantità di calore non è il chilogrammetro, è invece la *caloria*, e, come credo che tutti sappiate, si dice *caloria la quantità di calore necessaria per scaldare un chilogrammo d'acqua da zero gradi ad un grado;* ma noi conosciamo il rapporto tra questa unità ed il chilogrammetro e possiamo tradurre in numero di chilogrammetri un dato numero di calorie o viceversa, colla semplice moltiplicazione o colla divisione per quel rapporto. Una caloria equivale a circa 425 chilogrammetri; questo numero dicesi l'*equivalente dinamico del calore.*

Il peso che abbiamo considerato, può discendere stando legato ad una fune e far rotare una ruota: se la velocità di questa è moderata da attriti, da sfregamenti, questi sviluppano calore, e questo calore è *equivalente* al lavoro consumato, all'energia che il corpo ha perduto.

L'acqua che riempie le cassette di una ruota idraulica, e che discende con esse, fa lo stesso effetto: produce lavori meccanici, ma produce anche calore.

Viceversa il calore si può trasformare, sempre nel medesimo rapporto, in energia meccanica: un gaz che si espande spingendo uno stantuffo e facendo un lavoro, si raffredda; i getti d'aria che escono dopo di aver lavorato, dalle perforatrici ad aria compressa, sono freddissimi e producono attorno di sè una condensazione di vapore tale da assumere l'apparenza di getti di fumo; nelle macchine ad aria compressa, si è spesso obbligati a tenere artificialmente scaldati i bozzoli a stoppa per evitare la congelazione delle materie lubrificanti; nelle macchine a vapore la quantità di calore che il vapore espanso, che esce, ha in sè, è minore di quella che esso portava seco entrando nel cilindro. Ebbene, in tutti questi casi il lavoro o la forza viva prodotta sono l'equivalente dinamico del calore speso.

In un'arma da fuoco noi abbiamo una materia combustibile, la polvere pirica, la quale arde e produce calore. Egli è in grazia di questo calore che i gaz prodotti dalla combustione hanno la pressione necessaria per spingere innanzi a sè e lanciare il proiettile. Ciò facendo si raffreddano, ma l'equivalente del calore che essi avevano sta adesso nel proiettile, il quale ha una forza viva, un'energia attuale, che prima non aveva. Supponiamo che il proiettile colpisca un ostacolo: si schiaccia e si ferma, dove andò dopo l'urto la sua energia? Essa ha di nuovo assunto la forma di calore; il proiettile e l'ostacolo contro cui esso battè si sono scaldati, e nel calore prodotto da questo riscaldamento noi ritroviamo una parte di quello prodotto dalla combustione della polvere: tutta quella parte che non si trasmise all'arma, ed attraverso alle pareti di questa all'aria esterna, che non si trasmise in causa dell'attrito all'aria che il proiettile attraversò, che non concorse a produrre i moti vibratorî a cui dobbiamo la sensazione del rumore.

Tutto, nell'esempio che citai, è l'effetto del calore di combustione della polvere. E questo calore, donde nasce? Si ha una azione chimica: gli atomi di carbonio, di ossigeno, di zolfo, prendono nuovi assetti, si spostano e si raggruppano sotto l'azione di quelle attrazioni mutue, che i chimici dicono *affinità:* se queste forze operano, i loro punti di applicazione si spostano, si ha in ciò una somma di prodotti di forze per spazii percorsi, una somma di lavori, un'energia potenziale che si consuma: il fenomeno avviene fra masse minime, a minime distanze, ma è quello stesso, dalla considerazione del quale noi abbiamo preso le mosse: una caduta di corpi su altri che li attraggono.

Nelle macchine a vapore avviene un fenomeno somigliante: gli atomi del carbone che noi distendiamo sulla graticola, e quelli dell'ossigeno dell'aria che vi mandiamo sopra, son corpi che si attirano, che gravitano gli uni sugli altri; e quando le circostanze lo permettono, cadono gli uni sugli altri. Dopo la caduta, l'energia delle attrazioni atomiche si trova trasformata in energia termica, in calore, precisamente come l'energia rappresentata da un grave che sta per cadere si trova trasformata in calore, dopo che quello ha urtato contro il terreno e vi rimase immobile. Quel calore si trasmette in parte alla caldaia ove si accumula nel vapore; questo finalmente, come dissi già, lo porta nel cilindro della macchina, ove in parte esso si trasforma di nuovo in energia meccanica.

È impossibile essere venuti fino a questo punto e non lasciarci trascinare ancora per qualche passo da queste considerazioni. Il lavoro delle nostre macchine a vapore è fatto dalle affinità chimiche per cui il carbonio dei combustibili si unisce all'ossigeno dell'aria. Ora questi corpi furono già altra volta uniti, e furono separati dalle foglie dei vegetali sotto l'azione dei raggi solari, per effetto del calore e della luce solare. Noi sappiamo che una porzione della luce solare è assorbita dalle foglie delle piante; essa scompare come energia attuale, come energia di moto, ma non fa che trasformarsi, e riappare come energia potenziale: è quella energia potenziale che nel focolaio della nostra macchina a vapore ridiventa calore. Così è una parte del calore solare quello che lavora nelle nostre macchine a fuoco.

E il calore solare donde nasce? Qualunque ipotesi si faccia, esso è il prodotto di una energia potenziale consumata, è l'equivalente del lavoro di forze attrattive, è il calore svolto nell'urto di corpi che cadono gli uni sugli altri. L'attrazione, questa proprietà così diffusa della materia, di cui l'attrazione universale è una delle esplicazioni, è così l'origine di tutte le energie.

Dopo questo sguardo generale, il quale se ci allontanò per qualche minuto dal nostro argomento, non sarà forse inutile affatto, siccome quello che avrà servito a scolpire meglio nella mente di quelli che sono meno avvezzi a queste cose, ai quali particolarmente è diretta questa prima conferenza, il concetto fondamentale di energia nella vasta estensione che esso ha oggidì, dobbiamo discendere in campo meno esteso e considerare più da vicino quella forma di energia della quale noi vogliamo studiare un modo di produzione: voglio dire l'energia luminosa, *la luce.*

Immaginiamo di avere un corpo, per esempio un solido, e diamogli quantità successive di calore, facciamo crescere per gradi la sua temperatura. L'esperienza la più volgare ci insegna che di mano in mano che la temperatura di quel corpo aumenta, questo manda attorno a sè quantità via via crescenti di calore. Manda calore tutt'attorno e scalda tutti i corpi più freddi che trovansi all'ingiro, anche quando fra esso e questi non è frapposta nessuna sostanza conduttrice, anche quando è tolta perfino l'aria, quando c'è il vuoto. Si dice che il corpo irradia calore; e dopo quello che io dissi già, noi comprendiamo subito il significato di questa parola. Il corpo caldo è un corpo in moto, è un corpo di cui le minime particelle vibrano, facendo bensì escursioni minime, ma con velocità tali da poter rappresentare considerevoli forze vive. Trasmettere calore adunque non significa altro che trasmettere un moto vibratorio, e l'irradiazione non può essere altrimenti che una trasmissione di vibrazioni analoga a quella per cui si propagano e si sentono i suoni. L'irradiazione si fa anche attraverso il vuoto, anche negli spazii interstellari: il calore che ci viene dal sole, ci viene attraverso una distesa di cui calcoliamo il valore ma di cui non ci facciamo certo una adeguata idea; ed in tutta questa distesa noi non siamo autorizzati ad ammettere l'esistenza di alcuna di quelle sostanze di cui noi studiamo le proprietà direttamente coi sensi, e che pesiamo sulle nostre bilancie. Bisogna adunque ammettere fra il sole e noi, fra le stelle e noi, in tutto lo spazio, nell'interno di tutti i corpi, dappertutto ove si propaga il calore raggiante una sostanza invisibile atta a vibrare ed a trasmettere le vibrazioni. Noi ammettiamo questa sostanza e le diamo il nome di etere. Come il suono nell'aria, ma con velocità incomparabilmente più grande, il calore raggiante si propaga nell'etere.

Seguitiamo a dar calore al corpo che abbiamo immaginato; tutti sappiamo: viene un momento, quando la sua temperatura è vicina a 500°, nel quale comparisce un fenomeno nuovo; il corpo diventa visibile nell'oscurità, diventa incandescente, manda luce.

È una luce rossa e cupa la prima che si ottiene per questa via; ma se si seguita a far aumentare la temperatura del corpo che la emette, essa diventa via via più viva e dal rosso cupo passa ad un rosso più vivo, allo scarlatto; poi diventa aranciata, poi gialla, poi bianca, poi abbagliante.

Queste luci si propagano come il calore raggiante, e colla medesima velocità, si riflettono, e si rifrangono colle medesime leggi; nulla di più naturale che ammettere che esse siano, come il calore, un moto vibratorio trasmesso dall'etere. La fisica odierna non ha più alcun dubbio su ciò, dacchè partendo dalla ipotesi che così sia, dalla cosidetta ipotesi delle ondulazioni, essa è riuscita a spiegare *numericamente* pressochè tutti i fenomeni conosciuti, ed a prevederne dei nuovi. Ma non solo noi sappiamo che le luci, rossa, arancia, bianca che abbiamo ottenuto sono, come il calore, moti vibratorii, ma sappiamo in che cosa consistano le loro differenze.

Io ho disposto qui un apparecchio, col quale posso accumulare in una piccola massa di materia una grande quantità di calore e con questo portare quella massa ad altissima temperatura e trasformarla in una viva sorgente di luce. L'apparecchio consiste essenzialmente in una pila di 50 elementi *Bunsen* che io feci disporre in una camera attigua, ed in due reofori che possono farsi terminare a due punte di carbone che attualmente trovansi affacciate ed a contatto l'una dell'altra dentro a questa lanterna. Chiudo il circuito, stabilisco cioè la comunicazione tra i carboni ed i reofori; si produce una corrente elettrica la quale attraversa i carboni e passa dall'uno all'altro per mezzo delle punte, che si toccano. Allora un congegno meccanico, di cui parleremo, le distacca e le porta ad una piccola distanza l'una dall'altra. Si forma tra le due un ponte, un arco di materia in parte vaporosa ed in parte formata di particelle solide, detto l'arco voltaico, pel quale la corrente seguita a passare. Per un fatto, su cui dovremo discorrere a lungo in un'altra seduta, le punte de' carboni e l'arco che le unisce sono la sede di un grande sviluppo di calore, di buona parte del calore prodotto dall'azione chimica, che avviene nella pila, e si arroventano mandando la viva luce che voi osservate. Non occupiamoci per ora del modo con cui si produce questa luce e consideriamo quest'arco voltaico e le punte di carbone, dalle quali esso ha origine, semplicemente come un corpo molto caldo, portato al bianco abbagliante, all'ultimo grado di lucentezza a cui praticamente possa arrivare un corpo incandescente. Prima di arrivare a questa viva incandescenza, a cui corrisponde una luce sensibilmente bianca, noi sappiamo, questo corpo, se gradatamente scaldato, avrebbe mandato calore invisibile, poi calore ed una luce di colore rosso-cupo, poi una luce aranciata, poi gialla, passando per una serie continua di tinte intermedie; or bene io dico: le radiazioni prime apparse han seguitato a prodursi e si fanno tuttavia, nè solo si fanno, ma sono più abbondanti di quel che fossero prima: i successivi aspetti del fenomeno non dipendono dalla sostituzione di nuove radiazioni a radiazioni cessate, sibbene dalla sovrapposizione di radiazioni nuove alle preesistenti.

Io ricevo questa luce su di una lente, poi interpongo sul suo cammino una piastra opaca portante nel mezzo una stretta fessura, la quale riduce ad un sottile nastro il fascio di luce che vien fuori da questa lanterna. Porto davanti a questa fessura una lente acromatica convergente, e per mezzo di questa proietto una immagine della fessura su di uno schermo bianco. Ho su questo schermo una sottile striscia luminosa, bianca o quasi. Su questa striscia, io dico, arrivano tutte sovrapposte molte radiazioni diverse; e per riconoscerlo, mi basta frapporre tra la lente e lo schermo un prisma, attraverso il quale la luce sia obbligata a passare. Io ottengo così sullo schermo non più una semplice e stretta striscia luminosa, ma tante striscie giustapposte, tante immagini della fessura collocate l'una accanto all'altra così da formare un lungo nastro luminoso. Questo nastro è colorato di tinte diverse, e dicesi lo spettro. Non badate per ora alle linee brillanti che lo attraversano, le quali provengono dai corpi gasosi incandescenti nell'arco voltaico, e considerate, come a noi basta pello scopo che ci interessa in questo momento, il fenomeno solo nel suo complesso: voi vedete che i colori passano gradatamente, senza salti, dal rosso cupo al rosso vivo, all'aranciato, al giallo, al verde, all'azzurro, al violetto. Tutti questi colori, tutte queste radiazioni coesistevano nella radiazione del corpo incandescente. Ma ciò non è tutto: queste radiazioni innumerevoli non sono che una parte, una piccola parte della radiazione totale. Se noi invece che in una scuola ci trovassimo meno numerosi in un laboratorio, e, fatto uno spettro di dimensioni minori, e quindi più vivo, vi facessimo scorrere su la faccia annerita di una stretta pila termo-elettrica e confrontassimo le intensità della radiazione calorifica corrispondenti alle diverse parti dello spettro, troveremmo, che l'effetto termico non è lo stesso in tutti i punti: minimo, insensibile affatto alla estremità violetta, esso si fa via via più intenso andando verso la estremità rossa, e, questo è più notevole, non cessa al rosso estremo, ma continua al di là di esso, dove non v'ha più luce sensibile; continua e cresce. Raggiunge un massimo ad una certa distanza dalla estremità dello spettro visibile, poi diminuisce. Ma non scompare che ad una distanza dal rosso estremo, maggiore della lunghezza dello spettro luminoso.

Vedete in questa figura (fig. 28) rappresentata la cosa graficamente. Su di una retta D E si è portata la lunghezza dello spettro; su perpendicolari ad essa si sono portate le intensità calorifiche nelle varie parti di questo. Le estremità di queste *ordinate* furono congiunte con una curva A B C E; la parte bianca dell'area chiusa da questa curva è la radiazione luminosa; la tratteggiata è la radiazione oscura. Come vedete, l'intensità della radiazione luminosa non è che circa un ottavo di quella dell'oscura.

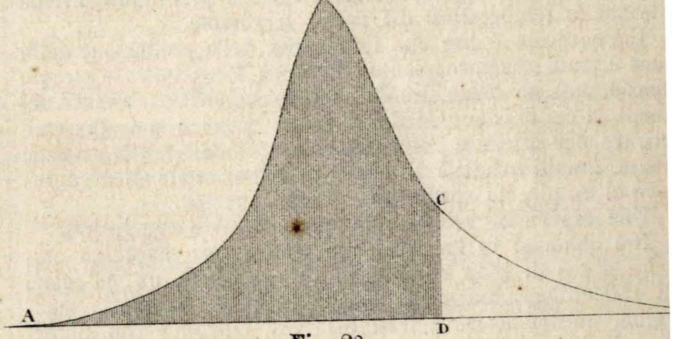


Fig. 28.

Come la radiazione non si limita da una parte al rosso, cupo, così non si limita dall'altra all'estremo violetto. Per un tratto più lungo dello spettro luminoso si troverebbero da questa parte radiazioni invisibili, inattive sulla pila termoelettrica, ma capaci di manifestarsi con azioni chimiche; ricevendo lo spettro su di una piastra fotografica, si troverebbe questo prolungato e vivamente disegnato molto al di là del violetto.

Tutte queste radiazioni dall' estrema radiazione oscura *ultra-rossa* all' estrema radiazione invisibile *ultra-violetta*, differiscono le une dalle altre per un solo elemento, ed è che esse corrispondono a vibrazioni di diversa durata: le vibrazioni oscure dell'estremo ultra-rosso sono quelle che si fanno in minor numero nell'unità di tempo, quelle che hanno la maggiore durata; sono più rapide, hanno durate minori quelle che si hanno in vicinanza del rosso; le radiazioni visibili rosse son più rapide ancora, più rapide ancora sono le gialle, rapidissime le violette e finalmente più rapide di tutte le ultra-violette invisibili. Queste non sono congetture, le vibrazioni luminose furono contate. In questo spettro prolungato da una parte e dall'altra dai due tratti invisibili, le diverse radiazioni non differiscono nella sostanza da una serie di note musicali di altezza diversa: le radiazioni oscure verso il rosso sono le note più basse, le oscure ultra-violette sono le più acute.

La luce, rappresentata dalla parte mediana dello spettro, è calore, calore che impressiona l'occhio, il solo che faccia ciò non per altro che per la conformazione dell'occhio.

Se, fedeli alla odierna teoria meccanica, diciamo calore l'energia dei moti vibratorii producenti la radiazione, dobbiamo dire: tutta la radiazione è calore, solamente è in parte calore visibile, in parte calore invisibile.

Quando un corpo va scaldandosi gradatamente, esso comincia ad emettere calore oscuro. Finchè la temperatura è inferiore a circa 500° tutta la radiazione che si ha è una parte della porzione tratteggiata **A B C D** della figura ora disegnata. Al di là di circa 500° la radiazione oscura continua, ma ad essa comincia a sovrapporsi la luminosa; poi questa si fa via via più intensa, rappresenta frazioni crescenti della radiazione totale, finchè raggiunta l'elevatissima temperatura dell'arco voltaico, essa sta alla totale radiazione come l'area in bianco **D C E** sta all'area totale della nostra figura.

Questa osservazione è per noi importantissima e ad arrivare ad essa mirò tutto il mio discorso. Noi vogliamo occuparci della illuminazione, noi vogliamo studiare le condizioni economiche della produzione industriale della luce; ebbene noi abbiamo fatto già un grande passo verso la nostra meta. Infatti noi sappiamo:

1° Che ciò che noi dobbiamo spendere per produrre luce, ossia il lavoro meccanico, od il calore equivalente ad esso, od una quantità equivalente ad altra energia, *non si potrà trasformare tutto in luce;* l'energia spesa è proporzionale alla intensità della radiazione complessiva, e di questa una minima parte è effetto utile, è luce.

2° Almeno fino ad un limite di temperatura molto elevato, la radiazione luminosa ottenuta è una frazione della radiazione totale tanto più grande quanto più è elevata la temperatura del corpo radiante. Quindi il coefficiente di rendimento in luce, ossia il rapporto tra l'energia luminosa ottenuta e l'energia spesa, è tanto maggiore quanto più si tiene elevata la temperatura del corpo irradiante.

Ciò equivale a dire che l'economia della produzione della luce è tanto maggiore quanto più calore si concentra in piccolo spazio, quanto meno grandi sono le superficie radianti dei corpi in cui il calore si distribuisce. Scopo a cui dovremo mirare per ottenere colla massima economia, colla minima spesa, grandi quantità di luce è di trovar modo di accumulare in un piccolo spazio una grande energia.

Una esperienza confermerà queste nostre conclusioni.

Noi abbiamo in un locale qui vicino una macchina motrice a gas di *Otto* e *Langen:* essa produce un po' meno di 150 chilogrammetri al minuto secondo. Da questa macchina, questo lavoro è trasmesso con cingoli e con puleggie all'albero di una macchina che studieremo in un'altra sera, ma che possiamo adoperare fin d'ora: è una macchina dinamo-elettrica, atta a trasformare l'energia meccanica, con cui la si tiene in movimento, in energia elettrica: essa ci dà una corrente elettrica, la quale producendoci calore, od azioni meccaniche o scomposizioni chimiche, od altro, può restituirci una parte della energia spesa. Non tutta però, una parte soltanto; in primo luogo, dei 150 chilogrammetri forse 50 si perdono per istrada, nelle trasmissioni, ove pegli attriti si trasformano in calore; dei 100 che rimangono sull'albero della macchina dinamo-elettrica, la massima parte si trasforma in energia elettrica, ma una porzione di questa si trasforma di nuovo in calore, e scalda tutti i fili per cui passa, compresi quelli, che vediamo qui avvolti in grandi rocchetti nella macchina stessa; rimane perciò disponibile per produrre l'effetto che noi vogliamo, ossia una radiazione luminosa di calore, soltanto una frazione della energia elettrica. Noi impareremo a valutare meglio questa frazione nel seguito delle nostre conferenze, per ora ammettiamo pure che tutti i 100 chilogrammetri possano utilizzarsi nel produrre la radiazione. Io dico, che questi 100 chilogrammetri per minuto secondo produrranno una quantità di luce tanto maggiore quanto più piccolo sarà lo spazio in cui noi concentreremo il calore ad essi equivalente. Voi vedete qui due spirali di platino. Esse sono fatte ciascheduna con un metro di filo di $1^{mm},5$ di diametro. Io le pongo entrambe nel circuito: vedete l'effetto: diventano incandescenti, mandano una luce rossa. Vi prego di tenere impresso nella vostra memoria per qualche minuto l'effetto di illuminazione che, prese insieme, le due spirali producono. Adesso io con un commutatore toglierò una delle spirali dal circuito, e farò che tutta l'energia, che prima si distribuiva fra le due, si concentri su di una sola; se le nostre previsioni sono esatte, noi dovremo vedere *questa sola mandare più luce di quello che facessero prima le due prese insieme.* Come vedete, l'esperimento conferma in modo netto la conseguenza del nostro ragionamento.

Possiamo verificare il fatto con una prova anche più decisiva. Io tolgo dal circuito della corrente entrambe le spirali, e sostituisco loro due punte di carbone affacciate, come quelle di cui ci siamo serviti poco fa per produrre lo spettro. Così io concentro in un piccolo spazio, che a voi di lontano parrà un punto solo, quella energia che or ora era distribuita sullo spirale incandescente. Come vedete, noi otteniamo così una intensità luminosa così grande da non essere in nessun modo paragonabile con quella di prima.

Osservate una cosa: l'energia qui accumulata su queste punte di carbone è forse molto minore di 100 chilogrammetri al minuto secondo: forse non è che la metà od un terzo di essa. Ebbene 100 chilogrammetri al minuto secondo corrispondono a 360000 chilogrammetri all'ora, ossia a $\frac{360000}{425}$ calorie all'ora, ossia a 848 calorie all'ora. È questa la quantità di calore prodotta da circa otto candele steariche, ossia, ad un dipresso da uno dei becchi di gas che illuminano questa scuola. Ora vedete che la quantità di luce data dall'arco voltaico è enorme a fronte di quella somministrata da un becco. Perchè? perchè nel becco a gas il calore della combustione si distribuisce su di una grande massa, su tutta la massa dei prodotti della combustione.

Su queste considerazioni dovremo tornare e fermarci con maggiori particolari quando cercheremo di indovinare quale sia l'avvenire probabile della luce elettrica. Per ora riteniamo il fatto, e ricordiamo che per produrre molta luce con poca spesa noi dovremo procurare di accumulare molta energia in piccolo spazio.

Nella seguente conferenza vedremo come per mezzo delle correnti elettriche questo si possa effettivamente ottenere.

SOCIETÀ D'INCORAGGIAMENTO PER LE ARTI E MESTIERI

Circolare di invito a proporre **Quesiti d'Idraulica,** *per i quali occorrano nuovi esperimenti.*

Il signor Ingegnere Giulio Marzorati, morto il giorno 27 dello scorso dicembre, legava con suo testamento olografo 5 aprile 1878, « lire mille di rendita italiana 5 0[0 alla Società d'In- » coraggiamento per le arti e mestieri. Tale rendita, egli diceva, » verrà accumulata ogni quinquennio, ed impiegata alla fine di » ogni periodo di cinque anni, in esperienze idrauliche, senza » che mai, per nessuna causa, possa venire intaccato il capitale. »

Il Consiglio direttore dei fondi della Società crede di interpretare ed adempiere nel miglior modo le generose intenzioni del testatore, rivolgendosi a tutti coloro che per studi particolari, o per debito d'uffizio, sono più direttamente chiamati ad applicare le discipline idrauliche, invitandoli a proporre quelle questioni, quei Quesiti d'Idraulica i quali, a loro parere, possono in modo più speciale fornire materia opportuna a degli studî esperimentali, intesi a far progredire una scienza ed una pratica, alle quali il nostro paese deve tanta parte delle floride condizioni del suo territorio, e nelle quali si illustrarono tanti italiani. Il Consiglio reputa necessario di provocare codesta larga informazione, dalla quale potrà poi avere lume e guida quella Commissione che verrà chiamata a tracciare il programma delle esperienze e degli studî che si dovranno intraprendere per i primi durante il primo quinquennio, il quale avrà principio col primo gennaio 1880 e si compirà col 31 dicembre 1884. Si avverte che, allo scopo di mantenere intatto il capitale, la somma disponibile al termine del 1° quinquennio, a cagione dell'ammortamento delle spese di successione, tassa di manomorta, ecc., non sarà che di lire 3604.

Le proposte dovranno essere presentate all'Ufficio di Presidenza della Società, Corso di Porta Romana, n. 10, non più tardi del 31 prossimo dicembre. Il Consiglio spera che, tanto per il numero quanto per l'indole delle proposte, il suo cómpito, e più ancora quello della Commissione che dovrà poi prenderle in esame, verranno grandemente agevolati; ed è persuasa che i cultori delle discipline idrauliche risponderanno all'invito con tanta maggior premura e diligenza, quanto più considereranno l'importanza e l'utilità scientifica e pratica che potranno avere, guardati nel loro complesso avvenire, gli studî che la generosità del compianto ingegnere Marzorati darà la possibilità di compiere con tanta larghezza di sussidî.

Voglia accogliere le più vive attestazioni di stima, ecc.

Milano, 10 aprile 1879. *La Presidenza.*

Scala di 1:100.

Fig. 1.

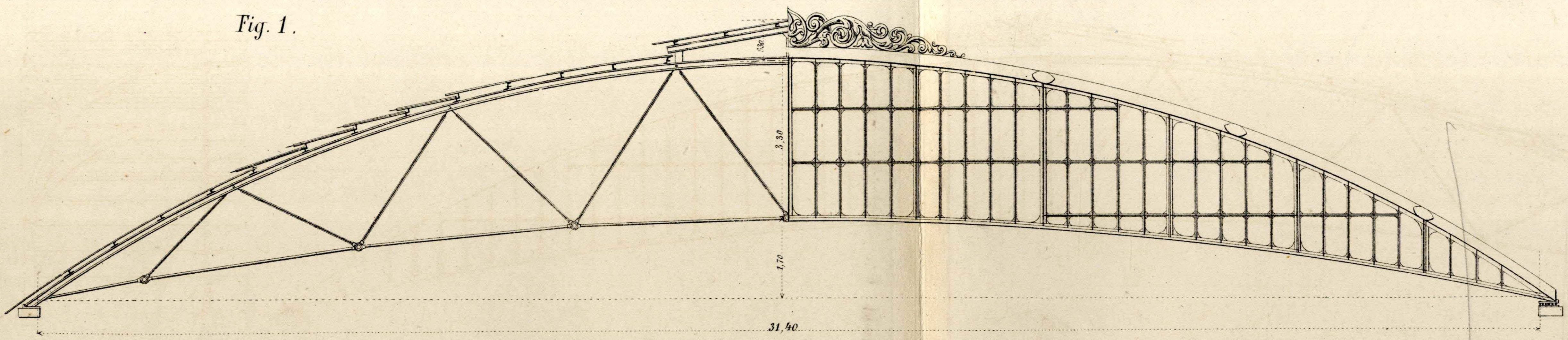


Fig. 2

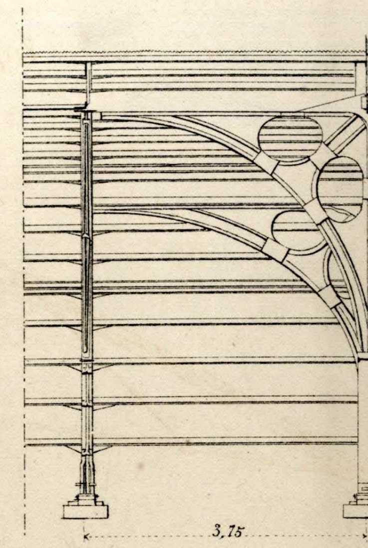


Fig. 3

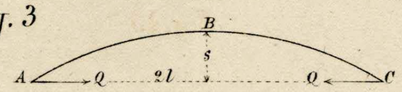


Fig. 4.

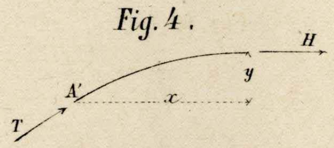


Fig. 5.

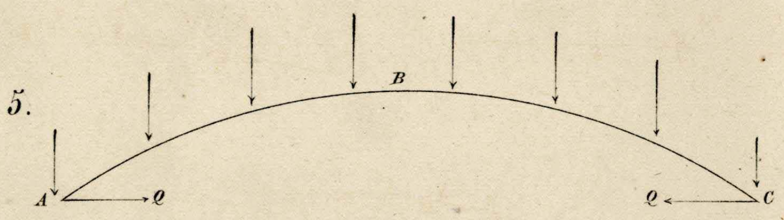


Fig. 6

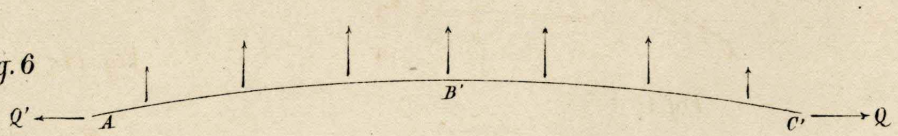


Fig. 7.

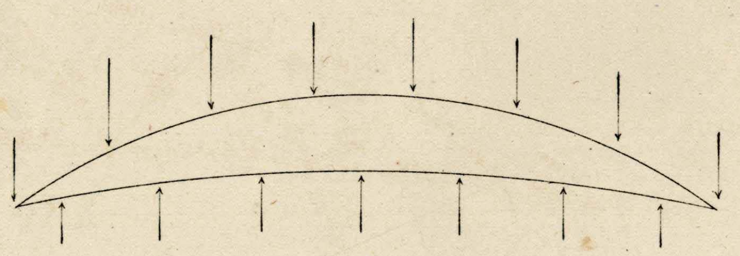
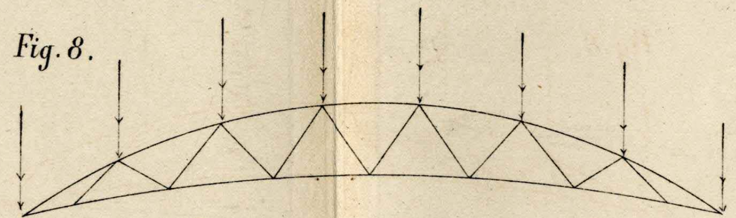


Fig. 8.



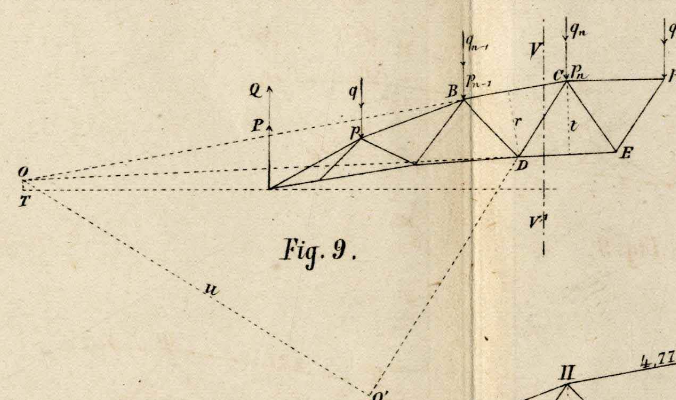
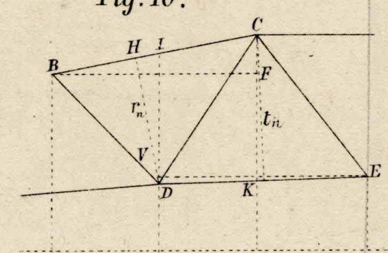


Fig. 9.

Fig. 10.



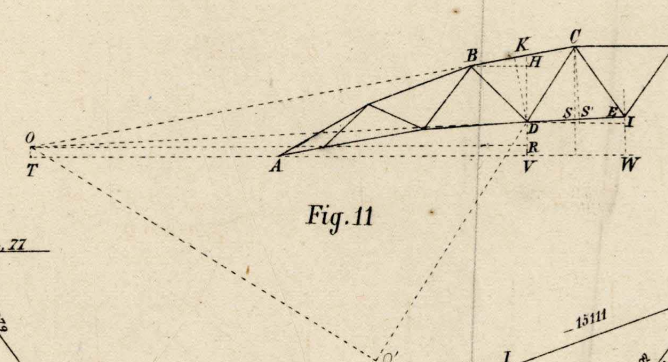


Fig. 11

Fig. 12.

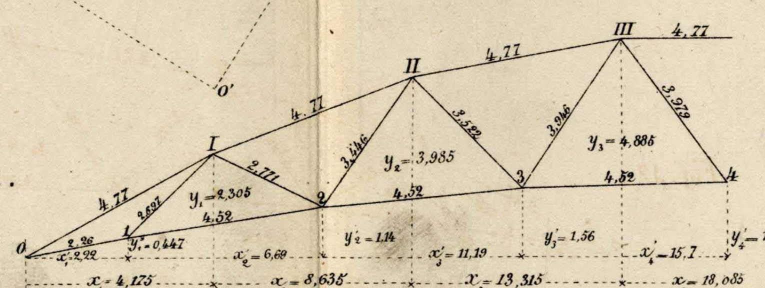


Fig. 13

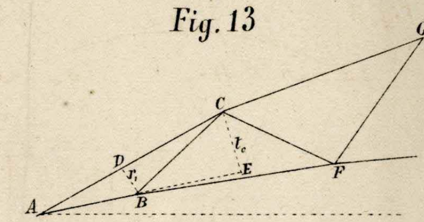
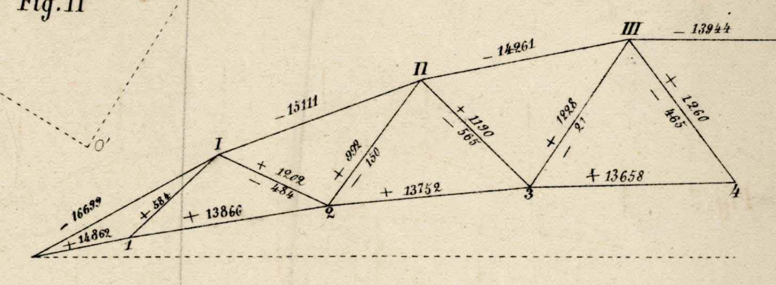
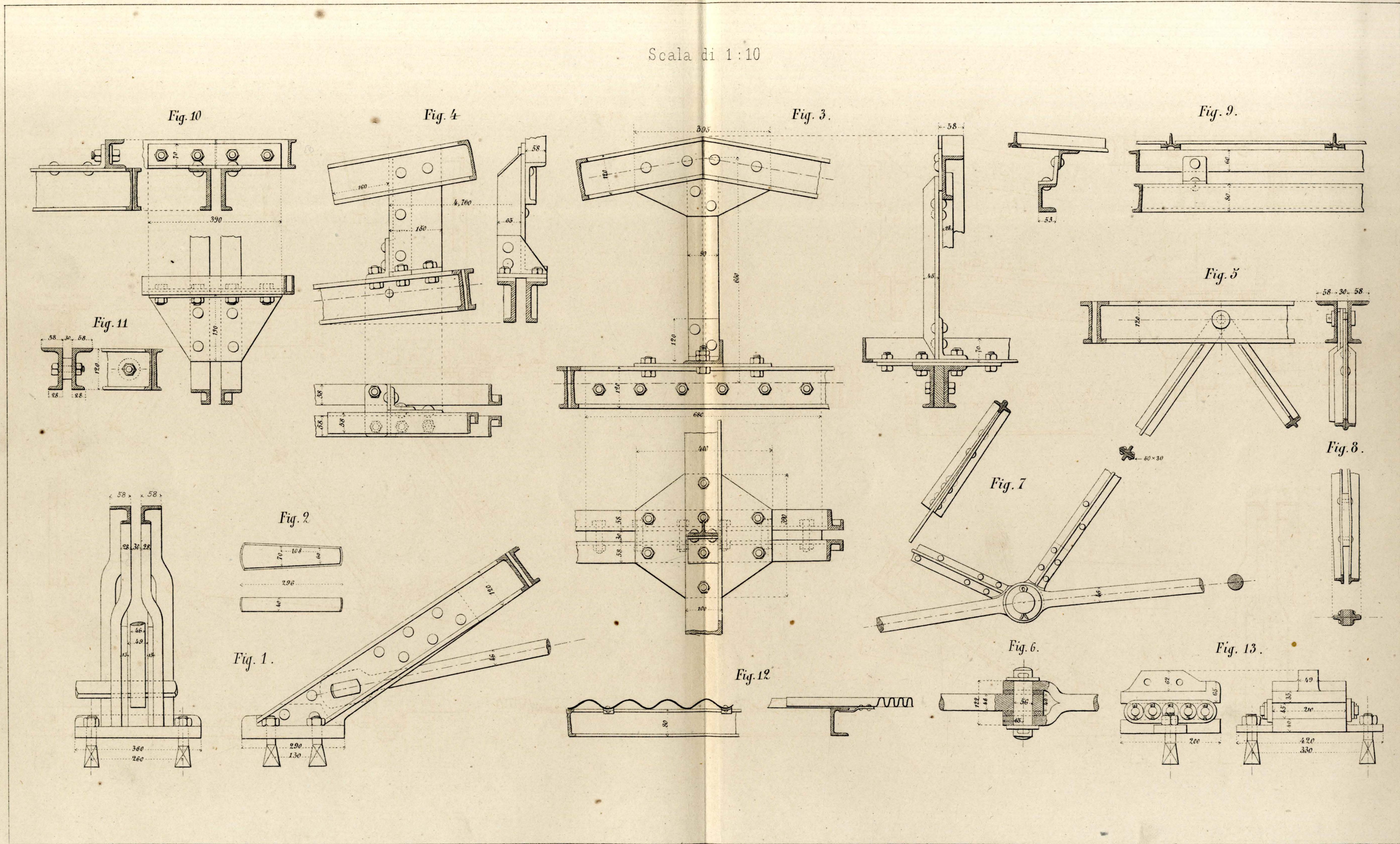


Fig. 14.



Torino _ Tip. Lit. Camilla e Bertolero.

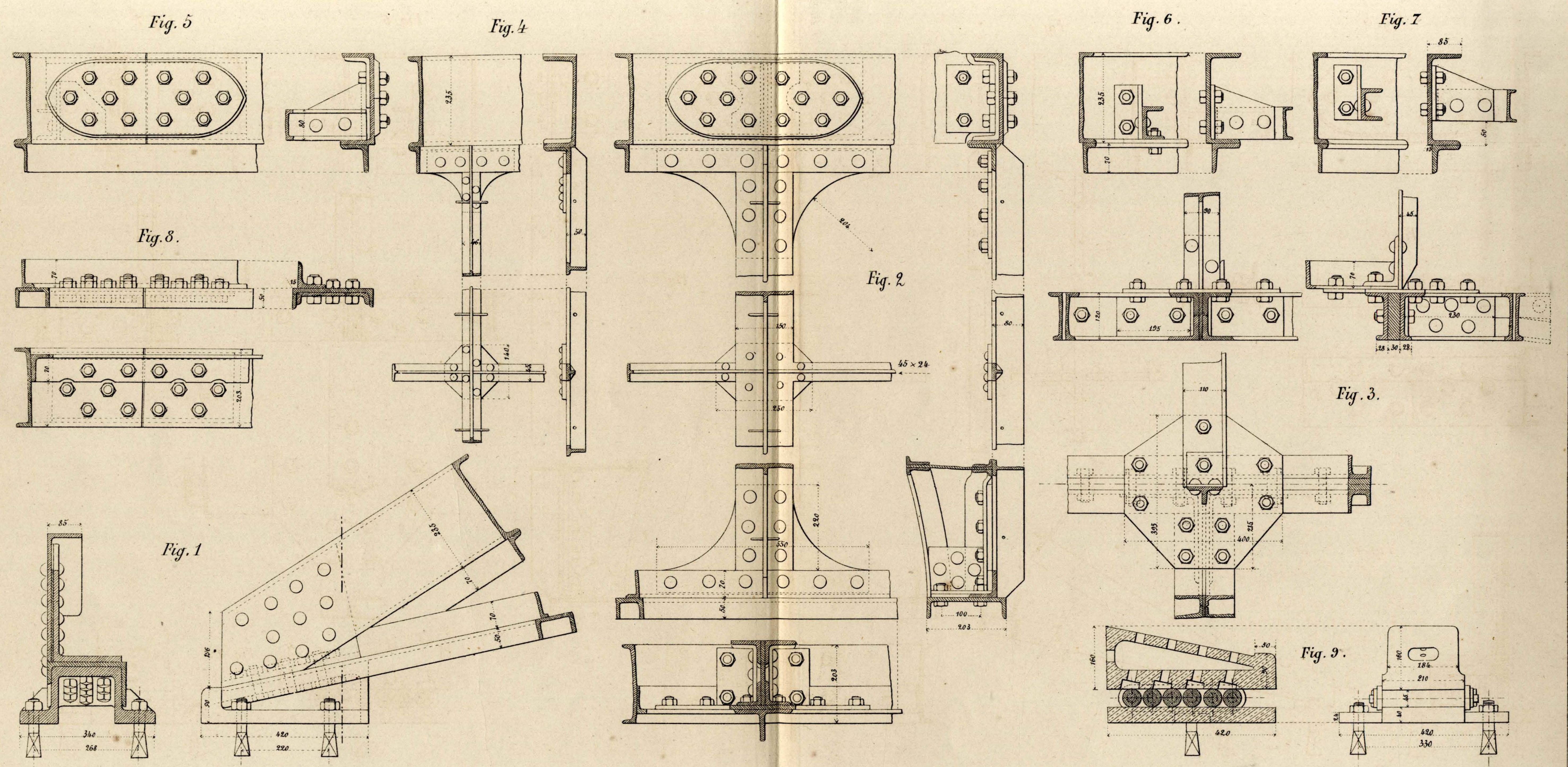
PROGETTO DI TETTOJA PER LA NUOVA STAZIONE D'ANCONA (Tav. 1ª)



 Torino Tip. Lit. Camilla e Bertolero.

PROGETTO DI TETTOJA PER LA NUOVA STAZIONE D'ANCONA (Tav. 2.ª)

Scala di 1 : 10



Torino. Tip. Lit. Camilla e Bertolero.

PROGETTO DI TETTOJA PER LA NUOVA STAZIONE D' ANCONA (Tav. III.ª)

Fig. 2.

Piano terreno

Scala di m. 0,0025 p.m.

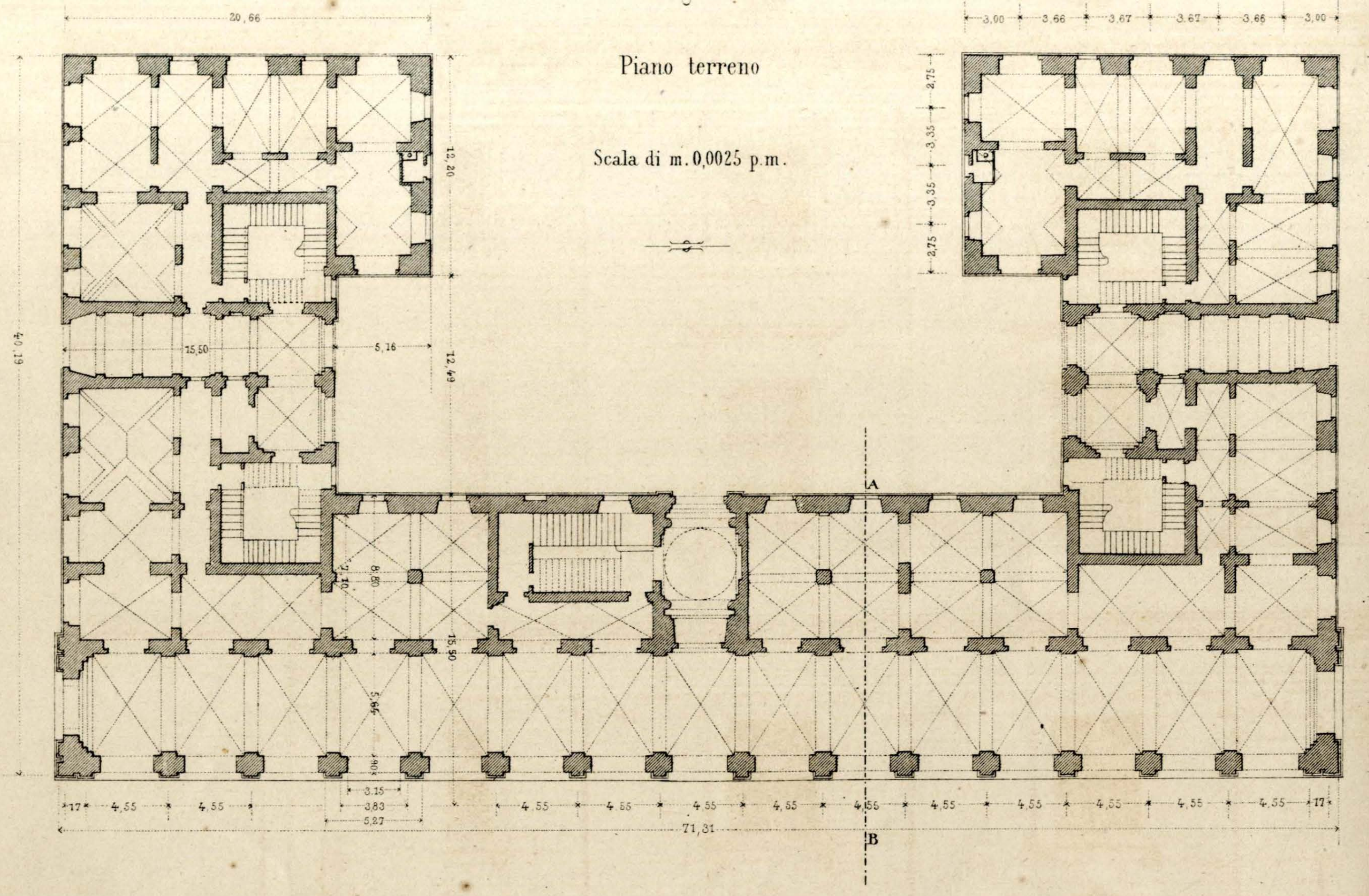


Fig. 3.

Primo piano

Scala di m. 0,0025 p. m.°

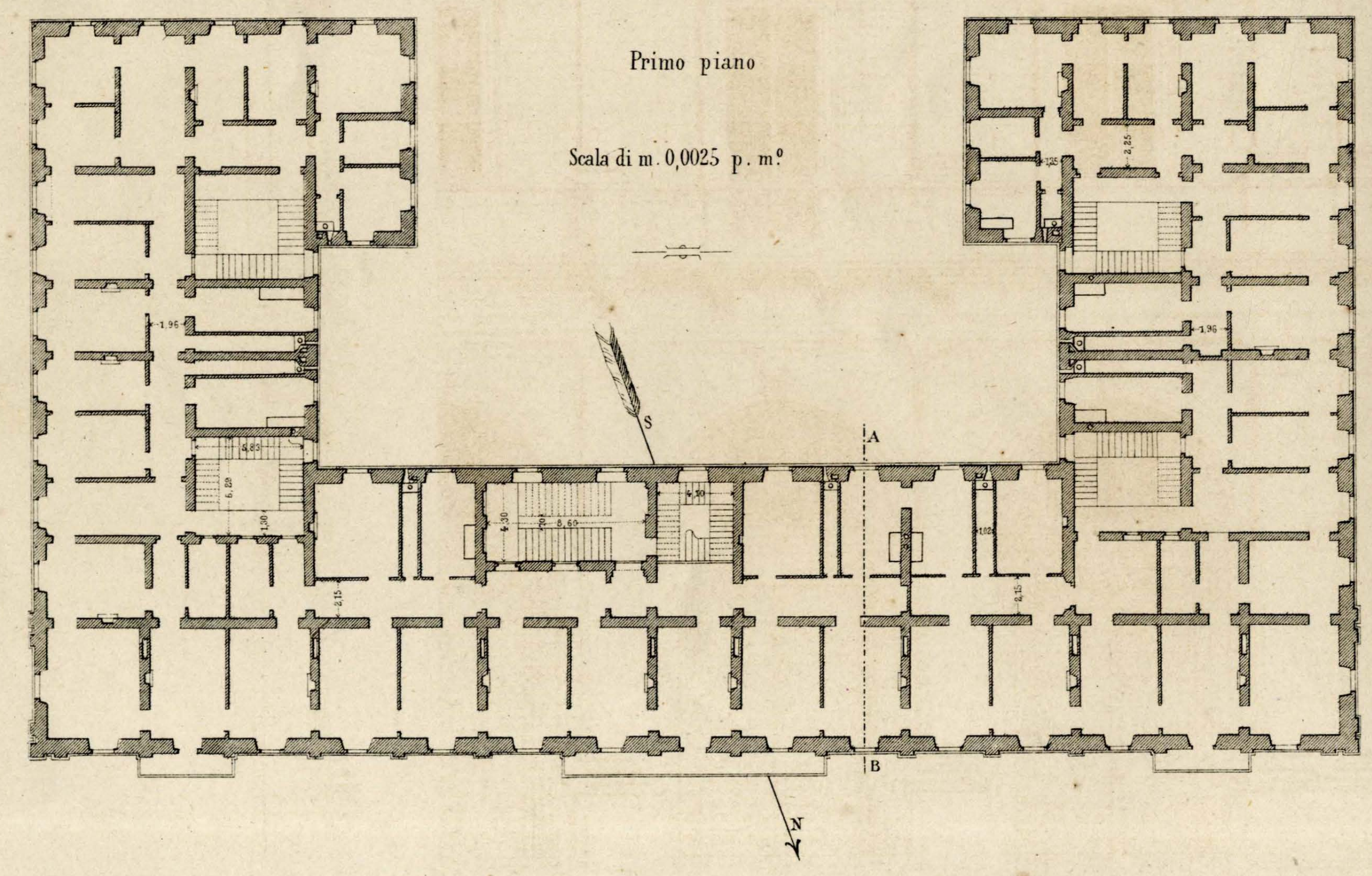


Fig. 1.ª - Saggio di facciata - Scala di m. 0,01 p. m.°

Torino. Tip. Lit. Camilla e Bertolero.

CASA DELL' IMPRESA DELL' ESQUILINO IN ROMA