

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori

ARCHITETTURA E COSTRUZIONI CIVILI

CONTRIBUTO ALLO STUDIO DELLE VOLTINE
E DELLE VOLTE SOPRA FERRI A I.

(V. Tavola I)

Coloro che fin qui si occuparono di descrivere le costruzioni dei solai sopra ferri a I in generale si diffusero a commentare una numerosa serie di sistemi in parte da noi non applicabili, perchè non adatti ai nostri materiali, in parte caduti in disuso anche dove furono applicati; ed invece sorvolarono sopra le particolarità delle forme e delle strutture che più si adattano ai nostri materiali.

Come contributo a chi vorrà colmare questa lacuna, offro la descrizione di alcune volte sopra ferri a I da me eseguite, le quali presentano qualche novità e qualche utile partito.

Nello stesso tempo mi sia permesso di fare precedere una rapida rassegna dei vari sistemi di solai con ferri a I e materiale murario comunemente in uso.

Se questa rassegna non presenterà nulla di nuovo, mi darà campo di fare talune osservazioni e qualche confronto di spesa, che spiegheranno come sia arrivato alle disposizioni che in seguito saranno descritte.

PARTE I.

1. — Cronologicamente il primo tipo di soffitto con ferri a I e materiale ceramico da noi in uso è quello in cui si impiegarono le volticelle a botte eseguite con mattoni pieni ed in seguito con mattoni forati (fig. 1).

Questo tipo è una semplice variante di quello che da tempo immemorabile trovavasi usato assai, specialmente in Piemonte, per coprire più di spesso stalle, cantine, ed anche per abitazioni di campagna, e consistente in volticelle a botte impostate sopra travi di rovere o di pioppo (fig. 2).

La costruzione rappresentata colla figura 1 ha il grave difetto di essere poco gradevole all'occhio, e poco adatta a venire convenientemente decorata, perchè il soffitto taglia due pareti dell'ambiente secondo una linea ondeggiata, di cattivo effetto, e perchè la suola dei ferri a I resta visibile all'esterno ed esposta all'ossidazione; e dove si è voluto coprirli con intonaco di calce, la sua presenza non tardò a manifestarsi con macchie nel soffitto.

Ad ovviare a questo inconveniente si è usato prima un mattone d'imposta (fig. 3) imitante la forma dell'imposta delle volterrane, ed ora più efficacemente si usano varie forme di mattoni a dente, detti *copriferri* (fig. 4).

Per rimediare all'altro difetto si è suggerito e praticato di eseguire le voltine a botte con teste di padiglione. Ma questo partito parmi non produca molto effetto se non si tratta di ambienti alti e di ferri a I pure alti e posti a considerevole distanza da asse ad asse (m. 1,50 e m. 2,50). In caso contrario la monta assai depressa delle voltine, ed il nessun distacco netto fra le medesime, recano all'occhio incertezza nell'affermare lo scomparto ed il motivo della decorazione.

2. — Vengono in ordine cronologico i soffitti con *volterrane*, dette anche *pignatte* (fig. 5). Questa forma di costruzione è stata importata dalla Francia, e più specialmente dai dintorni di Marsiglia, ove le volterrane (*briques à planchers*) si usano da circa quarant'anni.

In Italia si fabbricano da oltre quindici anni; e questo materiale, che ha il merito di una grande semplicità, ha dato largo impulso alla costruzione dei solai piani eseguiti con ferri a I.

Come è notorio, le piattabande, quali generalmente ora si fabbricano, hanno sempre lo stesso interesse, che solitamente è di m. 0,80, e bastano tre pezzi identici per chiudere la voltina in piano. La smussatura che ciascun pezzo presenta non solo permette al mattone di avere un appoggio sul ferro, ma permette anche di nascondere il ferro stesso coll'arriciatura, perchè l'*intrados* del soffitto è più basso di 1 o 2 centimetri della suola inferiore del ferro.

Le fornaci solitamente hanno un assortimento più o meno completo di volterrane per formare piattabande di altezza varia fra m. 0,10 e m. 0,16, da usarsi con ferri a I di altezza corrispondente.

Nel fare il riparto dei ferri si è di solito obbligati ad avere una campata minore di m. 0,80, la quale si costituisce con una sola o con due volterrane riempiendo di mattoni il cuneo fra le medesime. Ma per risparmiare un ferro a I può anche essere conveniente eseguire una o due campate un po' più larghe di m. 0,80, interponendo fra due volterrane uno o due mattoni ordinari scelti di spessore opportuno. Naturalmente converrà, in questo caso, porre mente che questa campata più grande corrisponda a due ferri i quali (fig. 6) cadano con ambedue gli appoggi sui maschi A dei muri, e non in corrispondenza a porte o finestre B. Così si avrà in quei due ferri, corrispondente ad un maggior peso da portare, una maggiore resistenza che negli altri, potendosi ivi supporre con fondamento che i ferri stessi siano incastrati. Converrà anche procurare che la campata o le campate più grandi siano preferibilmente verso la metà dell'ambiente superiore al soffitto, perchè, almeno trattandosi di camere di abitazione, ivi in generale viene a gravitare un peso minore.

3. — Seguendo a fare brevemente cenno delle diverse orditure di materiale ceramico applicate ai ferri a I si arriva per graduali variazioni ai vari tipi di volticelle coll'intradosso in piano, attualmente in uso.

Questi, anzichè d'importazione francese, pare siano di origine italiana; ed il sig. Teodosio Botacchi di Novara pare sia stato il primo ad ideare questa struttura (1).

La figura 7 fa vedere una piattabanda Botacchi quale oggi è fabbricata. I modelli che lo stabilimento Botacchi mette in vendita si adattano gradualmente a qualsivoglia interesse dei ferri a I, fino a m. 1,50 circa. Questo fatto è ottenuto mediante un assortimento completo di serraglie 6, che si fanno di varia grandezza, piene o forate, e col sopprimere i rombi 5 oppure i rombi 4 e 5, o coll'aggiungere altri due rombi fra questi 5 e la serraglia.

Le piattabande fabbricate assai più tardi a Cremona con materia di ottima qualità dalla Ditta Lucchini e dalla Società ceramica Ferrari, già Ditta Fratelli Ferrari, non differiscono da quelle Botacchi molto più di quanto è indicato dalla diversa qualità della materia prima (fig. 8).

Nota soltanto che il mattone copriferro ha dimensioni più convenienti di quello Botacchi, il quale è troppo pesante ed ha forma tale che quando è applicato contro il ferro a I tende a cadere, mentre l'altro aderisce assai bene senza bisogno di essere sostenuto. I tipi di Cremona sono descritti nell'*Ingegneria Civile*, anno 1891, pag. 168, e sono applicabili per i

(1) Vedi *Ingegneria Civile*, anno 1891, pag. 168-69.

seguenti interassi dei ferri: m. 0,75, 0,80, 0,90, 0,95, 1,00, 1,12, 1,20, 1,26, 1,33.

Per dimensioni intermedie conviene aiutarsi ricorrendo a mattoni ordinari.

Le fornaci Villanova di Strambino, Bosq di Trofarello, e molte altre fabbricano piattabande di tipi analoghi a quelli della figura 9. Qui non vi è un mattone d'imposta di piccole dimensioni, ma il primo mattone presenta l'appendice destinata a coprire la suola del ferro. I pratici sanno che questa disposizione non è preferibile alle precedenti.

Tralascio di descrivere il modo di esecuzione di tutti questi tipi di volticelle perchè è universalmente noto.

4. — Alcun tempo dopo l'introduzione delle voltine in piano eseguite con mattoni forati speciali, si incominciò ad ottenere lo stesso intento, di avere cioè l'intradosso piano, per mezzo di mattoni usuali pieni o forati.

Può parere strano che si siano usati prima mattoni speciali e poi mattoni ordinari per raggiungere lo stesso scopo: ma ciò non è meno vero; ed ha riscontro col fatto che quasi ovunque si introdusse nelle città l'uso delle tramvie con trazione a cavalli, solo dopo che era nota la trazione a vapore su guide di ferro.

La struttura in discorso è rappresentata dalla fig. 10.

Per comporla si dispongono anzitutto in opera i mattoni d'imposta, i quali col semplice mezzo della malta aderiscono bene ai ferri a I: quindi, incominciando da una parete si procede eseguendo senza armatura i diversi anelli della piattabanda, fatti ciascuno disponendo i mattoni col lato più lungo nel senso della corda. Per un interasse dei ferri di m. 1,20 è bastevole una monta di 3 centimetri, che l'occhio quasi non avverte, e che sparisce coll'arricciatura.

Per eseguire questa struttura, alla quale presto si abilita qualunque discreto muratore, bisogna porre mente ad alcune pratiche, che non sono senonchè un caso particolare di quelle che conviene osservare per la costruzione delle volte senza armatura (1).

Bisogna fare uso di malta di calce *un po' grassa, un po' molle* e passata allo staccio *molto fino*. I mattoni possono essere indifferentemente pieni o forati, ma debbono essere *asciutti*. Nel porre in opera ciascun filare si debbono disporre i mattoni leggermente inclinati all'indietro (fig. 10) e anche la linea di giunto *a b* deve essere leggermente concava dalla parte del muratore. La concavità di questa curva e l'inclinazione della superficie di giunto sono tanto minori quanto più il muratore è solito a questa costruzione e quanto più il mattone è di poco spessore rispetto alla sua altezza e di poco peso rispetto al suo volume, e quanto più il mattone è adesivo. Quest'ultima qualità può provarsi applicando le labbra al medesimo: essa varia secondo la natura della terra, la lavorazione della pasta e la cottura. L'adesione che qui si richiede sparisce quasi completamente se il mattone è saturo di umidità: la striatura delle faccie del mattone aumenta in modo poco sensibile questa facoltà adesiva. Per una piattabanda di m. 1,20, con un discreto muratore, la concavità sarà di 2 o 3 centimetri, e l'inclinazione di 1 o 2 centimetri su 10 o 12 di altezza, anche facendo uso di mattoni ordinari pieni (260×125×60). Un muratore meno abile farà più inclinata la superficie di giunto fra i vari filari e più curva la linea di giunto fra i medesimi, ma ciò non pregiudicherà la buona riuscita del lavoro.

L'accorgimento dell'operaio sta nel porre in opera il mattone comprimendolo forte contro il filare precedente e contemporaneamente facendolo scorrere alcun poco sulla super-

(1) È strano che intorno a questo argomento non esiste, che io sappia, un solo commentatore italiano, quantunque, specialmente nell'alta Italia, sia tradizionale l'uso di eseguire volte senz'armatura, specialmente col gesso. Se ne parla in una memoria del Moller « Beiträge zur lehre von den konstruktionen » accennata dal Breymann, ma che io non ho potuto trovare.

L'argomento è interessante e meriterebbe di essere svolto, anche per fare sparire qualche pregiudizio, e per provare che in qualche caso con questo sistema si accoppia ad una notevole economia una maggiore solidità.

ficie di giunto, per obbligare la calce un po' molle a sprizzare fuori, cacciando l'aria interposta. La manovra deve essere fatta tutta d'un colpo, ed in seguito il mattone non si può più molestare, del resto cadrebbe. Se non è riescito bene a posto, bisogna rimuoverlo, pulirlo molto energicamente colla cazzuola, perchè la malta ha già cominciato ad inumidirlo, spalmarlo nuovamente di calce molle, e ricollocarlo in opera.

Il ponte di servizio per eseguire le volticelle in questo modo deve essere circa m. 1,65 sotto i ferri a I: e questo ponte serve poi anche per l'arricciatura.

Nella fig. 10 trovasi disegnato il mattone d'imposta con quella forma colla quale si trova generalmente nelle fornaci, e che obbliga l'operaio a tagliare il mattone contiguo A, come è indicato nella figura. Orbene, usando, come è di regola, i mattoni forati, questa necessità porta un considerevole consumo di mattoni, perchè si sa che i forati, specialmente quelli di materia migliore e di buona cottura, non si lasciano facilmente tagliare colla cazzuola o col martello senza spezzarsi. Per forti provviste può convenire di tirare dalla fornace questi mattoni foggianti coll'acconcio taglio obliquo. Del resto si può evitare l'inconveniente in modo più semplice facendo costruire i mattoni di imposta con un'inclinazione della faccia contigua al mattone A molto minore di quella che solitamente si usa.

Eseguito le piattabande con questo sistema, la corda di m. 1,20 deve considerarsi come limite massimo, per non essere obbligati ad uno spreco di malta nel ridurre in piano la sottostante arricciatura.

Rimanendo in questo limite si ha una struttura solidissima, di facile costruzione e, come vedremo a suo tempo, anche economica. Si ha inoltre il vantaggio di non dovere ricorrere a mattoni speciali, oltre quelli d'imposta; e in fine il sistema è indicato particolarmente per coprire ambienti non rettangoli o comunque irregolari, perchè la voltina può senza inconvenienti impostarsi fra due ferri a I anche non paralleli.

5. — Se non si esige di avere la faccia inferiore del soffitto assolutamente piana, ai precedenti tipi di solai si può aggiungere anche il seguente (fig. 11) che ha il vantaggio di essere, come vedremo, assai più economico di tutti i precedenti.

I mattoni d'imposta sono notevolmente più alti di quelli che d'ordinario si trovano nelle fornaci. Quelli della fig. 11 li feci costruire dalla ditta C. Palli e Figli di Voghera, ed hanno una altezza di mm. 170, e l'inclinazione della faccia non in contatto coi ferri a I è assai minore che nei soliti tipi di mattoni copriferro.

Fra i mattoni d'imposta si dispongono le voltine eseguite con mattoni forati ordinari ed impostate quanto più è possibile in alto.

Delle due voltine rappresentate colla fig. 11 la prima è fatta con grossi mattoni a due fori, disposti da quarto o in foglio, delle dimensioni 160×80×260. La seconda è composta con mattoni a quattro fori 80×80×210. I primi sono della fornace Botacchi di Novara, pesano chg. 2,8 caduno, e costano L. 33 per mille in cantiere a Mortara (L. 25,20 in fornace a Novara): i secondi sono della fornace C. Palli e Figli, pesano chg. 1,2 caduno, e costano L. 24 per mille in cantiere a Mortara (L. 21,50 sul vagono a Bressana Botterone).

Queste volticelle a botte possono essere eseguite colle teste di padiglione, o anche possono essere ridotte a questa forma per mezzo dell'intonaco.

Non sono di effetto sgradevole (fig. 13); che anzi facendo uso di accorgimenti speciali, di cui diremo fra breve, sono assai più decorative che i soliti soffitti piani, i quali, se hanno dimensioni un po' considerevoli, producono all'occhio l'illusione di essere verso il centro più bassi che verso le pareti.

Quando o si hanno ferri a I di altezza limitata, o si vuole per qualunque causa dare alle voltine una monta piccolissima — da ridursi eventualmente nulla coll'intonaco — è più conveniente collocare senza armature i mattoni colla lunghezza nel senso della corda (Fig. 12) ottenendo così una disposizione come quella illustrata colla fig. 10, e precedentemente descritta.

Questo modo di costruire è particolarmente vantaggioso

perchè con voltine a botte di monta limitatissima è possibile dare ai ferri a Γ un interesse molto più considerevole che coi soliti modelli di solai aventi l'intradosso in un solo piano, senza oltrepassare coll'estradosso delle voltine l'altezza dei ferri a Γ , e perchè in tal modo il peso proprio dell'impalcatura si mantiene entro limiti moderati anche facendo uso di ferri molto alti.

Le fig. 14 e 15 segnano due voltine eseguite in questo modo.

6. — Quantunque non sia qui mio scopo entrare nell'argomento generale della costruzione delle volte senza armatura, trovo necessario tracciare brevemente col sussidio della fig. 15 il modo d'esecuzione di quelle a botte sopra ferri a Γ .

Collocati a sito i mattoni d'imposta si segna sui muri di testa A B l'arco direttore della botte, e con cordicelle ben tese, fissate a chiodi posti in punti della detta curva direttrice, si segnano alcune generatrici della botte: per es. la generatrice di chiave g_1 , oppure le due generatrici g_2 e g_3 a ciascun terzo dell'arco. Le linee d'imposta i_1 , i_2 si possono segnare con carbone sui mattoni d'imposta. Non conviene collocare molte di queste cordicelle, perchè imbarazzano la manovra dell'operaio, il quale deve avere il ponte di servizio ad un'altezza da toccare quasi col capo la generatrice di chiave.

Il muratore non dovrà dimenticare di fare scorrere, man mano che lavora, un regolo di legno sopra i ferri a Γ ; e con tal mezzo, traguardando, potrà accertarsi in ogni momento se anche la curvatura all'estradosso di ogni anello è regolare, e se è tale che, ad assetto definitivo, la linea di chiave dell'estradosso medesimo non sopravanzi sul piano superiore dei ferri a Γ .

Collocate queste guide, il lavoro procede nell'identico modo che si disse a proposito della fig. 10.

Ma col crescere della corda delle volticelle diventa necessario avere riguardo ad un'altra circostanza: quando, durante la costruzione, ad un anello ab di mattoni si aggiunge l'anello successivo $a_1 b_1$, quest'ultimo si sostiene totalmente, finchè non è chiuso, ed in parte anche dopo la chiusura, in virtù dell'aderenza che si sviluppa nella superficie di giunto fra i due anelli contigui. Così il precedente anello ab viene ad essere soggetto ad uno sforzo verticale, che cresce man mano che il lavoro progredisce e che nuovi anelli si aggiungono. Questo sforzo deforma successivamente l'anello ab serrandone i giunti che sono ancora molli, e facendo perdere al medesimo qualche centimetro di monta.

Per tenere conto di questa circostanza bisogna dare agli anelli, mentre si fanno, qualche centimetro di monta di più di quella che debbono avere definitivamente.

In tal modo, mentre il lavoro progredisce, la linea di chiave, invece di essere rettilinea, presenta un tratto terminale curvo segnato in mn , che si estende dall'ultimo anello costruito n fino a quello m per il quale il peso dell'anello n si fa ancora sensibilmente sentire.

Questa deformazione successiva delle volte è assai vantaggiosa, perchè permette ai mattoni di disporsi quasi liberamente secondo il migliore assetto di equilibrio stabile. Nelle volte con armatura, anche disarmando subito, un tale assetto è assai più impedito.

Ma non cessano qui i vantaggi del sistema: il numero dei giunti trasversali di ogni anello ridotto circa ad un terzo, e lo spessore sottilissimo delle connessioni contribuiscono a dare saldezza alla costruzione.

A proposito dello spessore delle connessioni, ho sperimentato che di solito esso varia fra 3 e 6 millimetri. Se l'operaio volesse lavorare con connessioni più grandi, o se non comprimesse energicamente i mattoni di un anello contro quello dell'anello precedente, vedrebbe inesorabilmente gli anelli cadere ai suoi piedi, appena formati.

Per effetto di questa immanicabile perfezione di lavoro e del limitato numero dei giunti, si può dare alla monta delle volticelle un valore assai limitato, come mostrano le fig. 10, 12, 14, 15.

Finalmente questa struttura fa portare in parte la spinta della botte anche dai muri di testa (fig. 15), per effetto dell'inclinazione del piano di giunto fra i successivi anelli. Tut-

tavia questa spinta sui muri di testa è sempre limitatissima. Sotto il punto di vista dell'economia, con questo sistema si risparmia l'armatura e la posa della medesima.

Quanto al costo della mano d'opera per la sola formazione del volto, ecco alcuni dati sperimentali:

Volte a botte di m. 3,45 di corda e di m. 0,30 di monta, si eseguono con pistolotti pieni $60 \times 100 \times 250$ in ragione di mq. 16,50 per giornata di muratore col servizio relativo;

Volte a botte di m. 3,75 di corda e di m. 0,35 di monta, si eseguono con forati $80 \times 80 \times 210$ in ragione di mq. 8,20 per giornata di muratore col servizio.

Le differenze si spiegano osservando che i mattoni pieni foggianti a mano aderiscono molto meglio di quelli forati, fatti al laminatoio, e più specialmente osservando che la sezione del mattone 80×80 non è indicata per questi lavori, giacchè a parità di peso il momento della coppia che tende a far cadere un mattone di questa forma è maggiore che in un mattone di poco spessore e di considerevole altezza, e al contrario l'aderenza cresce col crescere della superficie a contatto. Fra tutti i mattoni, pieni o vuoti, i muratori preferiscono i forati leggeri con sezione circa di 50×110 .

Tuttavia anche le volte a botte senza armatura non sono la panacea universale: non sono consigliabili quando si oltrepassa la corda di m. 4, e quando la monta non è piccola.

Col crescere della monta si manifestano parecchi inconvenienti: anzitutto (fig. 16) i mattoni non assecondano bene la curva del volto, dovendo essa materialmente comporsi con una spezzata coi lati lunghi quanto la lunghezza del mattone (mm. 200 e 270 circa). Inoltre al crescere della monta e conseguentemente anche dell'angolo α di due linee di giunto consecutive, si rende sempre più manifesto il bisogno di avere mattoni i quali abbiano la faccia $abcd$ non rettangola, come si trova comunemente, ma trapezia. Ma poichè non è nè comodo, nè conveniente tagliare col martello e colla cazzuola i mattoni colla faccia $abcd$ a forma di cuneo, e neppure si suole procurarsi dalle fornaci i mattoni cotti col taglio sbieco, così avviene che si continuano ad usare mattoni rettangoli, e in tal modo i contatti dei vari mattoni successivi dei singoli anelli tendono a farsi solo nei punti prossimi all'intradosso.

Per questo motivo, gli anelli tendono ad aprirsi all'estradosso in corrispondenza ai terzi dell'arco, come indica la freccia nella fig. 16. Questa tendenza, a parità di rapporto fra la corda e la saetta, si manifesta tanto più quanto è maggiore la corda e quanto più è pesante il tipo di mattone impiegato.

Fino ad un certo limite si può impedire la rottura della volta rinfiancandola man mano che il lavoro progredisce, cioè appena finiti tre, quattro o cinque anelli, quando si vede che essi cominciano a deformarsi sotto lo sforzo dei successivi.

7. — Invece della semplice volta a botte è ovvio comprendere che spesso converrà costruire quella a botte con teste di padiglione, che sono richieste specialmente dalle esigenze dell'estetica.

La fig. 17 rappresenta una voltina colle quattro linee d'imposta nello stesso piano orizzontale, composta di una parte intermedia a botte, e di due parti mn contigue ai muri di fronte che hanno la forma di due mezza volte a conca con monta assai ribassata. Le parti mn si fecero sopra manto, il resto si eseguì senza armatura.

Colla disposizione che appare dalla fig. 17 si evita di eseguire le teste di padiglione nel modo solito, il quale ha il difetto di esigere molti mattoni accorciati (fig. 18) e di non raccordarsi bene colla parte a botte eseguita, disponendo i mattoni colla maggiore dimensione secondo la corda dell'arco.

La stessa voltina, eseguita con metodo e con forma alquanto diversa dà luogo ad un soffitto (fig. 19) il quale è di effetto assai gradevole e permette un interesse dei ferri a Γ grande quanto si vuole. Questo tipo può trovare applicazione specialmente nei padiglioni per ospedali, e appunto per questo scopo, cioè per riguardi igienici, si è anche dato alle cornici un profilo senza spigoli rientranti.

I soffitti disegnati nelle fig. 20 e 21 sono specialmente adatti per camere d'abitazione, e permettono una ricca de-

corazione: ma non consentono di dare ai ferri a Γ un'interasse molto maggiore di m. 1,20, per poter eseguire in piano le parti all'ingiro delle pareti.

Per eseguire questa forma di soffitto non è necessario fare uso di ferri sussidiari interposti fra i ferri a Γ . Le parti in piano all'ingiro delle pareti e le murature che non corrispondono ai ferri a Γ si possono eseguire tanto con mattoni speciali per piattabanda, quanto coi soliti mattoni forati; ma è importante che l'intera ossatura corrisponda alla forma che deve avere dopo l'intonaco.

8. — Prima di chiudere questa rapida rassegna, cito un'ultima forma di soffitto eseguito con ferri a Γ e materiale ceramico, rappresentata dalla fig. 22.

Questo sistema che all'estero, e specialmente in Franeia ha avuto applicazione già da una ventina di anni, è stato recentemente introdotto anche da noi. Abbiamo numerose fornaci (Botacchi, Ferrari, Lucchini, Palli) che fabbricano, specialmente per l'esportazione, i tavelloni a taglio retto e sbieco della larghezza costante di mm. 200 e di altezza varia di 60, 75 e 100 mm. La lunghezza più usata è fra i mm. 700 e 800; ma si fanno di qualunque lunghezza fino ad un metro circa. Con cinque tavelloni si compone fra due ferri un metro lineare di soffitto.

Usando, come si suole tavelloni di 75 mm. di altezza, il solo materiale ceramico (mattoni d'imposta e tavelloni) pesa Chg. 50 per mq. e costa nelle fornaci L. 1,30 circa pure per mq.

Questa orditura, la quale è una amplificazione del tipo degli antichi soffitti con travetti e pianelle, tanto usati in Piemonte, specialmente per stalle, mette in giuoco una proprietà della terra cotta, alla quale essa pare poco indicata; cioè la resistenza alla flessione. Tuttavia l'eccellente qualità della materia ha reso possibile usare questa disposizione anche nei solai soggetti a carichi ordinari.

Del resto questa stessa costruzione serve particolarmente bene per sostituire i rivestimenti di cannicci con intonaco di malta bastarda (*plafoni*), al quale scopo si adattano anche le piattabande sottili (fig. 23) che si fabbricano in qualche stabilimento, come, ad es., in quello Bosq di Trofarello: ma la costruzione è meno semplice della precedente (1).

PARTE II.

1. — A completare il quadro sovra esposto manca un confronto dei vari sistemi sotto il punto di vista della spesa.

Per arrivare a questo scopo ho confrontato anzitutto i vari tipi di piattabande che si possono costruire con materiali usciti da uno stesso stabilimento, e quindi fabbricati nelle medesime condizioni commerciali. Ho data la preferenza ai materiali che si vendono a Cremona dalle due Ditte: Società Anonima Ferrari, e Giovanni Lucchini ora Galazzi, le quali offrono le stesse forme a prezzi quasi identici.

La tabella I si occupa della sola parte muraria, e prende in esame: a) le piattabande con mattoni copriferro (fig. 8), per le quali i dati non variano sensibilmente col variare della corda; b) i quattro numeri di piattabande con volterrane marsigliesi, che sono in vendita in quelle fornaci, e che hanno la corda costante di m. 0,80.

I prezzi si riferiscono a lavori eseguiti a Mortara; ma è sempre facile fare le variazioni dipendenti dalla località.

La tabella II offre invece la portata ed il costo totale dei soffitti eseguiti colle piattabande contemplate nella tabella precedente. Ho costantemente supposto di eseguire con cia-

scuna delle dette strutture due serie di soffitti nelle identiche condizioni di stabilità, di carico, e di sovraccarico.

Il peso proprio totale si determinò sempre nello stesso modo, aggiungendo al peso del solo materiale murario: a) il peso della malta di calce occorrente tanto per l'orditura rustica del solaio quanto per l'intonaco della faccia inferiore, sommante, secondo i vari tipi, da chilog. 40 a 50 per metro quadrato; b) il peso del pavimento che si suppone sempre eseguito con ordinarie pianelle di cotto, pesanti col letto di calce, chilog. 50 per mq.; c) il peso del riempimento occorrente sotto il pavimento, più o meno alto secondo la varia altezza dei ferri e del materiale murario, e composto di materie leggere, scorie, alle quali si è attribuito il peso costante di quintali 10 per mc.; d) il peso del ferro a Γ .

La progressione dei ferri a Γ adottata è quella della tabella VI (*Profili normali tedeschi*) del catalogo della Burbacher Hütte. I ferri stessi vi sono sempre supposti liberamente appoggiati.

Ciascuna delle anzidette due serie di soffitti contempla un caso diverso: la prima suppone un sovraccarico di chilog. 100 per mq. e uno sforzo unitario K di resistenza del ferro di chilog. 12 per mm²; la seconda suppone un sovraccarico di chilog. 200 e uno sforzo K' di chilog. 9. Il primo caso si riferisce a solai leggeri ed un po' arditamente caricati, il secondo contempla impalcature più pesanti e nelle quali inoltre il ferro è meno affaticato. Nei casi, che di solito si presentano in pratica, si può scegliere fra questi due casi estremi.

Le colonne di questa tabella II che stabiliscono i costi totali dei soffitti, si sono calcolate aggiungendo al prezzo totale del solo materiale murario dato dalla tabella I la spesa per il riempimento di scorie, quando occorre, calcolato in base a L. 3 per mc., e la spesa per i ferri a Γ . A questi si stabilì il prezzo di L. 25 per quintale in opera, prezzo che è un po' esagerato, ma che vale a tenere conto della parte di ferro che sta sugli appoggi e della spesa per gli ancoraggi, la quale varia secondo la natura e la posizione dei muri, e della verniciatura con minio. Per calcolare il costo totale di un soffitto coprente un vano determinato si dovrebbe, dal prezzo risultante da questa tabella II, dedurre quello di un ferro a Γ , perchè solitamente i ferri sono eguali al numero delle voltine meno una. I risultati della tabella II sono compendati nei seguenti diagrammi dei prezzi.

Da questi e dai quadri precedenti si deduce:

a) A parità di ogni altra circostanza, la maggiore delle economie realizzabili sta nel costo dei materiali murari. Questa economia, nei casi contemplati, è compresa fra lire 1.70 e lire 1.20 per mq., e corrisponde al minore costo delle volterrane marsigliesi in confronto dei materiali con mattone copriferro.

b) Ma, a parità di costo del materiale e di ogni altra circostanza, il minore peso del materiale ceramico porta naturalmente esso pure un'economia, la quale, nei casi contemplati, varia fra L. 0,30 e L. 1,20 passando dalle piccole alle grandi portate del solaio, mentre i pesi del materiale ceramico stanno costantemente come 100 a 180 circa.

c) Finalmente aumentando la corda delle piattabande si ottiene ancora un'economia. Così, a parità di altre circostanze, la piattabanda di metri 1,200 di corda porta sopra quella di m. 0,750 un'economia che varia da L. 0,30 a lire 0,60 circa, passando dalle piccole alle grandi portate del soffitto, e dai piccoli ai grandi sovraccarichi.

Parrebbe a priori che questo vantaggio dovrebbe essere assai più sensibile; ma bisogna considerare che in corrispondenza all'utile che colle grandi corde si ha di usare i ferri a Γ con profili più alti, si verifica d'altra parte un danno per l'aumento del peso morto che ha il soffitto di maggior spessore. Così ad es., si vede che, negli esempi riportati, a parità di struttura laterizia e di portata del soffitto, alle corde di 750, di 1200 e di 1330 millimetri, corrispondono i ferri di millimetri 170, 210 e 220 di altezza. Abbiamo cioè, con ferri i cui pesi stanno come 20 : 28 : 31, una resistenza dei medesimi in ragione di 13 : 24 : 27. Ma corrispondente a questo vantaggio sta il danno che il peso morto per mq. dei relativi soffitti cresce gradatamente come i numeri 24, 27 e 28.

Le piattabande a grande corda presentano un altro piccolo

(1) In questo studio non mi occupo senonchè dei soffitti eseguiti con materiale ceramico, tralascio quindi di fare cenno dei numerosi tipi costruiti con gettata di cemento. Quantunque le applicazioni di questi tipi si vadano assai estendendo, non mi sembrano destinati a generalizzarsi come le costruzioni con materiale ceramico.

Il catalogo della Ditta Ing. S. Ghilardi e C^o di Milano può far vedere a quale grado di perfezione trovasi presso di noi questa industria. I soffitti piani, tipo Hennebique, nei quali al ferro a Γ è sostituito un monolite di calcestruzzo in cemento, armato con una piccola sbarra di ferro, fanno vedere quale straordinario partito si possa ricavare da un buon cemento.

vantaggio: è noto che la costruzione sarà tanto più solida a parità di sforzo subito dal ferro quanto più sarà grande il peso proprio della struttura, e conseguentemente saranno piccole le oscillazioni dello sforzo unitario prodotte dal sovraccarico.

Nei tre casi contemplati, con un sovraccarico di chilogrammi 200 per mq. queste oscillazioni sono rispettivamente

di 0,48, 0,43 e 0,41 dello sforzo totale, passando dalla corda di 750 mm. a quelle di 1200 e di 1330 mm.

Si vede adunque che, sotto questo punto di vista, il vantaggio delle grandi corde non è molto significativo: come non è molto significativo il danno che si ha di occupare colle grandi corde un cubo un po' maggiore che colle piccole; stando sempre ai tre esempi precedenti, gli spessori dei sof-

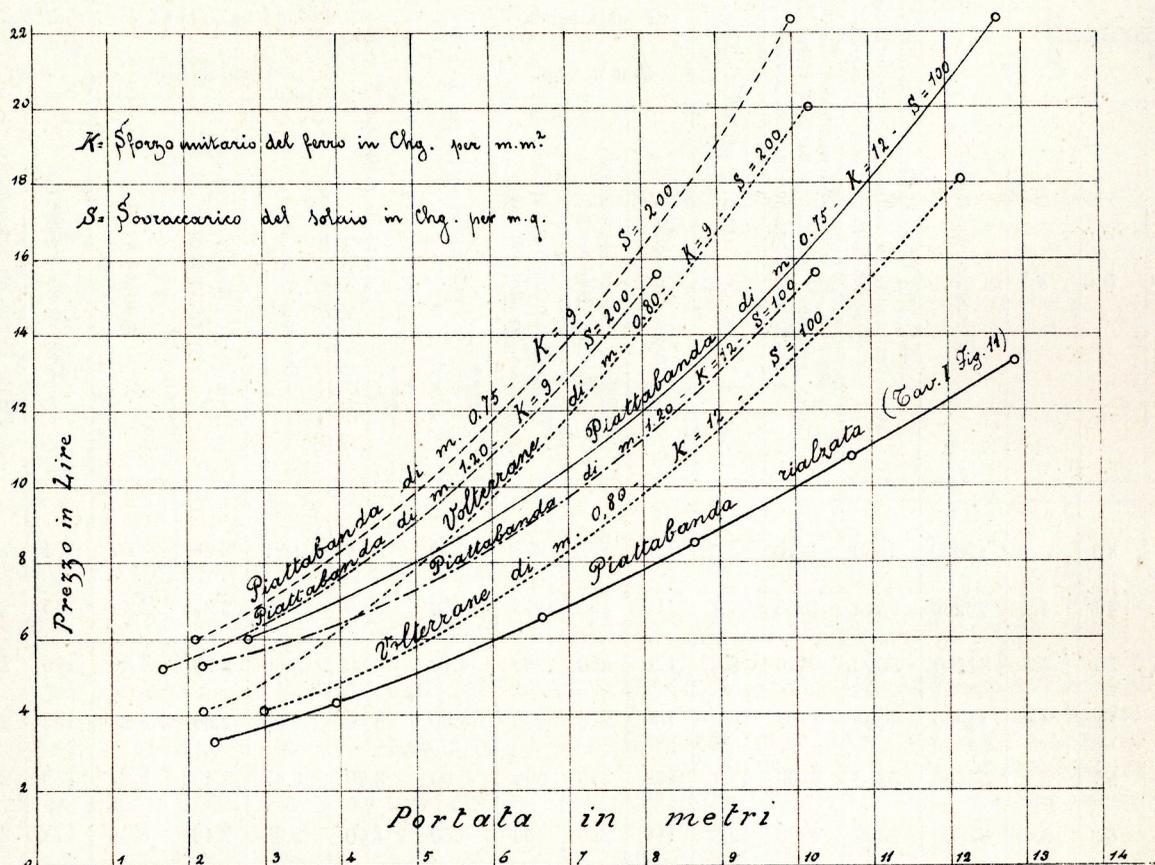


Fig. 1.

Diagrammi dei prezzi per mq. dei solai eseguiti con ferri a I e materiale ceramico di Cremona, espressi in funzione della portata.

TABELLA I. — Volume, peso e costo per mq. delle piattabande delle fornaci “ Società Anonima Ferrari e Giovanni Lucchini ”.

	Piattabanda con copri ferro	Piattabanda tipo marsigliese			
		0.10	0.12	0.14	0.16
Volume per mq. mc.	0.140	0.100	0.120	0.140	0.160
Peso del solo materiale ceramico per mq. chg.	da 88 a 82	52.5	57	60	64.5
Costo di un mq. di piattabanda, dovuto ai seguenti articoli:					
a) Materiale ceramico sul vagone a Cremona L.	2.00	1.05	1.20	1.28	1.35
b) Ferrovia Cremona-Mortara (lire 0.50 per quintale) »	0.43	0.26	0.28	0.30	0.32
c) Trasporto al cantiere (lire 0.10 per quintale) »	0.08	0.05	0.06	0.06	0.06
d) Dazio (lire 1.00 per mille capi) »	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
e) Perdite, rotture (circa il 5 0/0; per marsigliesi il 3 0/0) »	0.13	0.05	0.06	0.07	0.08
f) Malta di calce di Arona (calce di Arona lire 2.00 sul vagone a Mortara: 5 quintali danno un mc. di pasta) »	0.33	0.25	0.26	0.27	0.28
g) Mano d'opera »	0.55	0.30	0.30	0.30	0.30
h) Consumo d'utensili e spese accessorie (lire 10 0/0 circa) »	0.35	0.22	0.22	0.25	0.29
Costo totale L.	3.90	2.20	2.40	2.55	2.70

TABELLA II. — Peso, portata e costo di alcuni soffitti eseguiti con ferri a I,

Numero d'ordine dei ferri a I	Profilo dei ferri a I in mm.			Momento di resistenza $\frac{I}{\epsilon}$	Carico π in Chg. uniformemente distribuito sulla portata di un metro per uno sforzo del ferro, K = 12 Chg. per mm ² di sezione.	Carico π' in Chg. uniformemente distribuito sulla portata di un metro per uno sforzo del ferro, K' = 9 Chg. per mm ² di sezione.	Peso del ferro a I per ml. in Chg.	SOFFITTI CON VOLTERRANE MARSIGLIESI. Corda m. 0.80. - Altezza m. 0.10-0.12-0.14-0.16.						SOFFITTI CON PIATTABANDE A Corda m. 0.75						
	h	l	s					Per ml. di piattabanda			Portata in metri per K e P	Portata in metri per K' e P'	Per mq. di soffitto			Per ml. di piattabanda			Portata in metri per K e P	Portata in metri per K' e P'
								Peso in Chg.					Costo in Lire			Peso in Chg.				
								Proprio del soffitto	Totale P con un sovraccarico di Chg. 100 per mq.	Totale P' con un sovraccarico di Chg. 200 per mq.	$\sqrt{\frac{P}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{P'}{\pi'}}$	Del solo ferro a I	Della parte muraria completa col riempimento	TOTALE	Proprio del soffitto	Totale P con un sovraccarico di Chg. 100 per mq.	Totale P' con un sovraccarico di Chg. 200 per mq.	$\sqrt{\frac{P}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{P'}{\pi'}}$
8	80	42	3.9	19600	1880	1410	6.0	118	198	278	3.00	2.20	1.87	2.20	4.07	164	239	314	2.80	2.10
9	90	46	4.2	26200	2514	1886	7.1	119	199	279	3.60	2.60	2.22	2.20	4.42	165	240	315	3.20	2.50
10	100	50	4.5	34400	3302	2476	8.3	120	200	280	4.10	3.00	2.60	2.20	4.80	166	241	316	3.70	2.80
11	110	54	4.8	43800	4204	3152	9.6	130	210	290	4.50	3.30	3.00	2.23	5.23	168	243	318	4.20	3.20
12	120	58	5.1	55100	5288	3966	11.1	130	210	290	5.00	3.70	3.47	2.40	5.87	169	244	319	4.60	3.50
13	130	62	5.4	67800	6508	4880	12.6	140	220	300	5.50	4.00	3.95	2.43	6.38	171	246	321	5.10	3.90
14	140	66	5.7	82700	7938	5954	14.3	138	218	298	6.10	4.50	4.44	2.55	6.99	172	247	322	5.70	4.30
15	150	70	6.0	99000	9504	7128	16.0	148	228	308	6.50	4.80	5.00	2.58	7.58	174	249	324	6.20	4.70
16	160	74	6.3	118000	11328	8496	17.9	148	228	308	7.10	5.30	5.57	2.70	8.27	176	251	326	6.70	5.10
17	170	78	6.6	139000	13344	10008	19.8	158	238	318	7.50	5.60	6.17	2.73	8.90	185	260	335	7.20	5.50
18	180	82	6.9	162000	15552	11664	21.9	168	248	328	7.90	6.00	6.85	2.76	9.61	195	270	345	7.60	5.80
19	190	86	7.2	187000	17952	13464	24.0	178	258	338	8.30	6.30	7.50	2.79	10.29	204	279	354	8.00	6.20
20	200	90	7.5	216000	20736	15552	26.2	188	268	348	8.80	6.70	8.20	2.82	11.02	214	289	364	8.50	6.50
21	210	94	7.8	246000	23616	17712	28.5	199	279	359	9.20	7.00	8.90	2.85	11.75	224	299	374	8.90	6.90
22	220	98	8.1	281000	26972	20232	31.0	209	289	369	9.60	7.40	9.70	2.88	12.58	234	309	384	9.30	7.30
23	230	102	8.4	317000	30432	22824	33.5	220	300	380	10.00	7.70	10.47	2.91	13.38	244	319	394	9.80	7.60
24	240	106	8.7	357000	34272	25704	36.2	230	310	390	10.50	8.10	11.33	2.94	14.27	254	329	404	10.20	8.00
26	260	113	9.4	446000	42816	32212	41.9	252	332	412	11.30	8.80	13.10	3.00	16.10	275	350	425	11.00	8.70
28	280	119	10.1	547000	52512	39384	47.9	274	354	434	12.20	9.50	15.00	3.06	18.06	296	371	446	11.90	9.40
30	300	125	10.8	659000	63264	47448	54.1	296	376	456	13.00	10.20	16.90	3.12	20.02	317	392	467	12.70	10.00

e materiale ceramico delle fornaci « Società Anonima Ferrari e Giovanni Lucchini ».

MATTONE COPRIFERRO.			SOFFITTI CON PIATTABANDE A MATTONE COPRIFERRO. Corda m. 1.20.						SOFFITTI CON PIATTABANDE A MATTONE COPRIFERRO. Corda m. 1.33.						OSSERVAZIONI				
Per mq. di soffitto Costo in Lire			Per ml. di piattabanda Peso in Chg.			Per mq. di soffitto Costo in Lire			Per ml. di piattabanda Peso in Chg.			Per mq. di soffitto Costo in Lire							
Del solo ferro a I	Della parte muraria completa col riempimento	TOTALE	Totale P con un sovraccarico di Chg. 100 per mq.	Totale P' con un sovraccarico di Chg. 200 per mq.	$\sqrt{\frac{P}{a}}$	$\sqrt{\frac{P'}{a}}$	Del solo ferro a I	Della parte muraria completa col riempimento	TOTALE	Proprio del soffitto	Totale P con un sovraccarico di Chg. 100 per mq.	Totale P' con un sovraccarico di Chg. 200 per mq.	$\sqrt{\frac{P}{a}}$	$\sqrt{\frac{P'}{a}}$		Del solo ferro a I	Della parte muraria completa col riempimento	TOTALE	
2.00	3.96	5.96	247	367	487	2.20	1.70	1.25	3.96	5.21	273	406	539	2.10	1.60	1.12	3.96	5.08	Le volterrane marsigliesi sono di quattro tipi: quelle alte mm. 100 per i ferri a I N. 8, 9, 10 e 11; quelle alte mm. 120 per i ferri a I N. 12 e 13; quelle alte mm. 140 per i ferri N. 14 e 15; le altre alte mm. 160 per i ferri di altezza maggiore.
2.36	3.96	6.32	248	368	488	2.60	2.00	1.47	3.96	5.43	274	407	540	2.50	1.90	1.33	3.96	5.29	
2.76	3.96	6.72	249	369	489	3.00	2.20	1.72	3.96	5.68	275	408	541	2.80	2.10	1.56	3.96	5.52	
3.20	3.96	7.16	251	371	491	3.40	2.50	2.00	3.96	5.96	277	410	543	3.20	2.40	1.80	3.96	5.76	
3.70	3.96	7.66	252	372	492	3.70	2.80	2.30	3.96	6.26	278	411	544	3.50	2.70	2.08	3.96	6.04	
4.20	3.96	8.16	254	374	494	4.20	3.10	2.62	3.96	6.58	280	413	546	4.00	3.00	2.35	3.96	6.31	
4.76	3.96	8.72	255	375	495	4.60	3.50	3.00	3.96	6.96	281	414	547	4.40	3.40	2.68	3.96	6.64	
5.33	3.96	9.29	257	377	497	5.00	3.80	3.33	3.96	7.29	283	416	549	4.80	3.60	3.00	3.96	6.96	
5.96	3.96	9.92	259	379	499	5.40	4.10	3.72	3.96	7.68	285	418	551	5.20	3.90	3.36	3.96	7.32	
6.60	3.99	10.59	273	393	513	5.80	4.40	4.00	3.99	7.99	300	433	566	5.50	4.20	3.72	3.99	7.71	
7.30	4.02	11.32	287	407	527	6.20	4.70	4.55	4.02	8.57	316	449	582	5.90	4.50	4.10	4.02	8.12	
8.00	4.05	12.05	301	421	541	6.50	5.00	5.00	4.05	9.05	331	464	597	6.20	4.70	4.50	4.05	8.55	
8.73	4.08	12.81	315	435	555	6.90	5.30	5.45	4.08	9.53	346	479	612	6.50	5.00	4.90	4.08	8.98	
9.50	4.11	13.61	330	450	570	7.20	5.60	6.02	4.11	10.13	363	496	629	6.90	5.30	5.36	4.11	9.47	
10.33	4.14	14.47	344	464	584	7.60	5.90	6.45	4.14	10.59	378	511	644	7.20	5.60	5.82	4.14	9.96	
11.16	4.17	15.33	359	479	599	8.00	6.20	6.97	4.17	11.14	394	527	660	7.60	5.90	6.29	4.17	10.46	
12.06	4.20	16.26	373	493	613	8.30	6.50	7.55	4.20	11.75	409	542	675	7.90	6.20	6.76	4.20	10.96	
13.96	4.26	18.22	403	523	643	9.00	7.10	8.73	4.26	12.99	442	575	708	8.60	6.80	7.84	4.26	12.10	
15.96	4.32	20.28	433	553	673	9.70	7.70	9.97	4.32	14.29	475	608	741	9.30	7.30	8.99	4.32	13.31	
18.03	4.38	22.41	467	587	707	10.30	8.20	11.27	4.38	15.65	507	640	773	9.90	7.80	10.16	4.38	14.54	

fitti, compreso il pavimento di pianelle, sono rispettivamente di mm. 220, 260 e 270.

2. — Tenendo presenti le osservazioni precedenti si scorge che sono realizzate tutte le condizioni favorevoli per ottenere una costruzione economica usando il tipo di solaio rappresentato colle sue varianti nelle figure 11, 12, 13, 14, 15, 17 e 19.

Per provare in modo concreto quanto questa economia sia considerevole, ho preparato il seguente prospetto, dove sono paragonate le costruzioni segnate colle figure 7, 8, 9, 10 e 11, le quali tutte rappresentano piattabande colla corda di m. 1.20 portate dallo stesso ferro a I n. 22 dei citati profili normali tedeschi:

$$\text{Peso chg. 31 per ml.} \quad \frac{1}{2} = 281000 \text{ in mm.}$$

Numerazione	Piattabande colla corda di m. 1.20 Indicazione delle figure e del tipo del materiale laterizio	PER METRO LINEARE DI PIATTABANDA					Costo totale del solaio per mq.	Portata in metri per K = cg. 12 per mq.
		Peso in chilogr. del solo materiale laterizio	Costo in lire			Costo a I a lire 25 per quintale		
			totale compreso un sovraccarico di chg. 100 per mq.	della piattabanda completa in opera	del riempimento a lire 3 per mc.			
1	Fig. 8 — Ferrari-Lucchini	98	464	4.70	0.29	7.75	10.60	7.60
2	» 7 — Botacchi	120	509	2.65	0.32	7.75	8.95	7.30
3	» 9 — Tipo alto	83	490	3.15	0.44	7.75	9.45	7.40
4	» 9 — Tipo basso	142	459	4.45	0.11	7.75	10.25	7.70
5	» 10 — Mattoni forati	90	506	2.80	0.42	7.75	9.15	7.30
6	» 10 — Mattoni pieni	230	634	2.90	0.32	7.75	9.15	6.50
7	» 11 — Mattoni 8 × 16 × 26	96	371	2.15	0.07	7.75	8.30	8.50
8	» 11 — Mattoni 8 × 8 × 21	83	358	2.40	0.07	7.75	8.50	8.70

Il prospetto fa vedere che coi tipi N. 7 e 8 si raggiunge la massima portata colla minima spesa: a parità di portata l'economia che si realizza a confronto degli altri sistemi varia all'incirca fra il 15 ed il 40 0/0. Nella tabella dei precedenti diagrammi ho aggiunto quello che si riferisce al tipo N. 8 (fig. 11). Ivi si vede che l'economia di questo sistema si va facendo rapidamente più considerevole al crescere della portata. Ciò dipende dal fatto che le grandi portate, come pure i grandi sovraccarichi esigono naturalmente ferri a I di altezza maggiore. Orbene, mentre colla piattabanda Ferrari, per es., di m. 1.20 di corda, passando dal ferro a I di 160 millimetri di altezza a quello di 300 mm. il peso proprio del soffitto per m. l. di piattabanda varia da chg. 259 a chg. 467, nel tipo della fig. 11 questo stesso peso varia da chg. 225 a chg. 261: cioè il risparmio in peso cresce dal 13 al 44 0/0.

Vengono in ordine di costo a parità di portata i tipi N. 2 e 5. Il tipo N. 2 dovuto al Botacchi, si distingue per il tenuissimo costo del materiale, che si dà in fornace a L. 1,00 per mq. Il tipo N. 5, formato con mattoni ordinari forati, è fra i più economici soffitti piani.

Seguono, in ordine di economia, i tipi N. 3 e 4; ed il più costoso sistema è quello in cui si usano i mattoni pieni (N. 6), il quale tuttavia trova ancora qualche applicazione e viene a costare assai poco più del tipo N. 1.

È rimarchevole che il confronto è stato istituito adottando la corda comune di m. 1,20 per tutte le voltine: infatti per le voltine in piano non si suole eccedere di molto quella misura. Ma colle voltine a botte con teste di padiglione (fig. 11) si può senza inconvenienti andare a corde > 2,50 (fig. 14), pur conservando il peso del riempimento entro limiti moderati. In questo caso l'economia diventa ancora maggiore.

Se invece si useranno per motivo di decorazione, i partiti delle fig. 20 e 21, l'economia sarà in parte scemata, potendo questi soffitti immaginarsi composti di due parti: l'una con voltine rialzate e l'altra col solito sistema in piano.

In questo caso è degno di nota anche l'aumento sensibile di resistenza prodotto dalle forme di questi solai: — Quantunque nel calcolo dei soffitti si suole tenere conto della sola resistenza del ferro a I, pure è ammesso che al piegarsi del trave in ferro anche il materiale murario di riempimento è sollecitato a sforzi di flessione che contribuiscono validamente a diminuire il lavoro del trave. Questo benefico effetto del materiale laterizio è assai più sensibile quando la disposizione del medesimo è quella che appare nelle sezioni MN e PQ della fig. 20. Quando il soffitto ha fatto buona presa,

la forma del medesimo fa sì che esso funzioni come una vera volta di getto della quale le linee *abca'b'c'* rappresentano le curve delle pressioni. I ferri a I funzionerebbero così come tiranti.

3. — Come conseguenza di quanto siamo venuti fin qui esponendo si deve concludere che in generale ai soffitti piani si può con rimarchevole economia e con vantaggio dal lato dell'estetica sostituire o uno dei tipi di solai con cassette (fig. 20 e 21) o uno dei tipi di voltine a botte con teste di padiglione (fig. 13 e 14).

Naturalmente questa sostituzione può diventare inopportuna quando il soffitto deve essere tagliato da tramezzi che scompartiscono l'ambiente coperto dal solaio medesimo.

In questo caso, dovendosi eseguire i solai in piano, converrà dare la preferenza a quelli con mattoni comuni forati (fig. 10) coi quali si compone un'orditura robusta senza eccezioni ed economica in confronto al prezzo col quale solitamente si vendono i mattoni speciali per piattabande.

(Continua)

Ing. E. GREGOTTI.

IDRAULICA PRATICA

SULLA CALCOLAZIONE DELLE TURBINE.

Data una caduta d'acqua si tratta di utilizzarla mediante una turbina.

Questo problema è certo uno dei più interessanti dell'idraulica pratica moderna, ma è anche uno dei più indeterminati per il gran numero di elementi arbitrari che esso presenta. I procedimenti di calcolo che comunemente si suggeriscono sono essi pure assai incerti a causa di queste indeterminazioni e difficilmente lasciano intravedere l'influenza dei vari elementi sui risultati finali. Ciò dipende anche dal fatto che in generale non si considera che il problema si presenta indeterminato sotto due punti di vista: nel tracciamento cioè delle palette e nel calcolo delle dimensioni della ruota; e giova moltissimo ad un razionale procedimento il fare questa considerazione, perchè il tracciato delle palette si può eseguire indipendentemente dalle dimensioni della ruota. Noi ci proponiamo quindi di analizzare la natura di questa indeterminazione, presentando sotto una nuova forma una relazione generale per le turbine; di più mostreremo

come si possa razionalmente ridurre l'indeterminazione stessa del problema.

Le formole si riferiscono essenzialmente ad una turbina da progettarsi.

I.

Servono di base al calcolo di una qualunque turbina i seguenti principii:

1° Entrata senz'urto nella ruota mobile;

2° Palette a curvatura continua;

3° Uscita dell'acqua normale al piano di rotazione.

I due primi principii mirano ad eliminare le perdite dovute agli urti; il terzo a trasformare più completamente possibile la forza viva dell'acqua in lavoro. Quest'ultima condizione, introdotta solo recentemente nella teoria delle turbine, ma enunciata già fin dal 1857 dal prof. Wiebe, è oggi generalmente adottata per il movimento di efflusso dalla ruota; il principio del Poncelet (1838) della velocità nulla all'uscita, sebbene teoricamente più esatto, include impossibilità costruttive ed è abbandonato.

Le tre accennate condizioni fondamentali non si riferiscono per nulla alle dimensioni della ruota; esse servono quindi solo al tracciamento delle palette. Noi vedremo tuttavia che esse non sono sufficienti a determinarlo, poichè due elementi resteranno sempre arbitrari.

Per il calcolo della ruota noi non abbiamo alcuna relazione speciale; esiste solo una dipendenza tra le sue dimensioni e il volume d'acqua che deve esser smaltito. Quest'unica dipendenza però non è sufficiente e ne occorre una seconda a determinarla completamente. Noi la troveremo introducendo il principio dell'economia dell'impianto.

II.

Turbine assiali.

Per rendere omogenea la calcolazione, in luogo di considerare i carichi, introdurremo le velocità relative; così, ad es., se h è un carico e c una velocità per la relazione:

$$h = \frac{c^2}{2g}$$

diremo c velocità del carico h , oppure h carico della velocità c .

Con questa posizione evidentemente, in luogo di sommare dei carichi, noi dovremo comporre delle velocità ortogonali. Prenderemo le unità metro: chg., minuto secondo.

A) *Tracciamento delle palette.* — Gli elementi che entrano nel tracciamento delle palette sono i seguenti:

c_t = velocità corrispondente alla caduta totale che si suppone data;

c_u = velocità della caduta utile, la quale, se si prescinde dagli attriti dell'acqua, come faremo per ora, non è altro che quella della differenza tra il carico totale e il carico corrispondente alla velocità con cui l'acqua abbandona la ruota mobile;

c_p = velocità della caduta di reazione; in questa caduta è compresa anche l'altezza della ruota mobile;

c_1 = velocità assoluta all'entrata nella ruota mobile;

c_2 = velocità assoluta all'uscita dalla ruota mobile;

w_1 = velocità relativa all'entrata nella ruota mobile;

w_2 = velocità relativa all'uscita;

v = velocità periferica della ruota.

Notiamo che se si tratta di turbine d'azione, per caduta totale s'intenderà sempre la caduta tra il livello superiore dell'acqua e il livello inferiore della ruota. Noi supporremo in quel che segue che la superficie di afflusso alla ruota mobile sia eguale alla superficie di efflusso, con che, in base al terzo principio fondamentale, noi verremo ad ammettere che la velocità normale d'ingresso sia uguale a c_2 .

Cerchiamo ora le relazioni che legano le sette incognite relative al tracciamento delle palette. Per trovarle nel modo il più spedito ed il più chiaro immaginiamo che per il mo-

mento siano note le quantità $c_2 c_p v$. Una prima relazione lega le quantità $c_t c_2 c_u$:

$$(1) \quad c_t^2 = c_u^2 + c_2^2$$

e ci dà, essendo note c_t e c_2 , il valore di c_u di cui interessa solo la grandezza.

Una seconda relazione lega $c_t c_p c_1$:

$$(2) \quad c_t^2 = c_p^2 + c_1^2$$

Questa relazione evidentemente mostra in qual modo viene utilizzata la caduta totale, poichè in essa c_p è la velocità del carico di reazione; c_1 è la velocità del carico di azione. Da questa, noti c_t e c_p , potremo ricavare c_1 in grandezza. La direzione di c_1 , elemento fondamentale per il tracciato delle direttrici, resta con ciò determinata; infatti, in base alla supposizione fatta dell'eguaglianza delle superficie e al terzo principio fondamentale, noi abbiamo che c_2 è la proiezione di c_1 sopra la perpendicolare al piano della ruota; essendo noto c_2 , resterà stabilita l'inclinazione di c_1 (fig. 2).

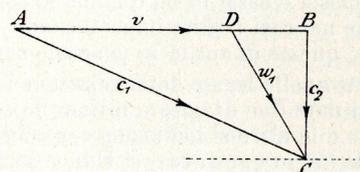


Fig. 2.

Una terza relazione lega $c_1 v w_1$, ed essa non è che l'interpretazione del primo principio dell'entrata senz'urto.

Perchè non avvengano urti all'introduzione è necessario che la tangente al primo elemento di paletta mobile abbia la direzione della velocità relativa w_1 dell'acqua in quel punto. Basterà costruire quindi il solito parallelogrammo con $c_1 v w_1$. Poichè c_1 è stato calcolato precedentemente e v è noto in grandezza e direzione, il parallelogrammo definisce completamente w_1 pure in grandezza e direzione.

Una quarta relazione lega infine $c_2 v w_2$:

$$(3) \quad w_2^2 = v^2 + c_2^2$$

essa risulta direttamente dal terzo principio dell'uscita normale, e determina w_2 in grandezza e direzione, perchè son noti completamente v e c_2 .

Come si vede, immaginando note le tre quantità $c_p c_2 v$, le altre quattro risultano completamente determinate nel modo il più semplice e spedito. Ora le $c_p c_2 v$ costituiscono gli elementi più importanti di una turbina perchè determinano specialmente il suo modo di funzionare. Esse non sono indipendenti l'una dall'altra, ma sono legate da una relazione importante che è fondamentale per l'analisi delle turbine ad azione o reazione. Si tratta ora di stabilirla.

Per il significato del c_p noi abbiamo:

$$(a) \quad c_p^2 = w_2^2 - w_1^2$$

e dalla (3):

$$(b) \quad c_p^2 = v^2 + c_2^2 - w_1^2 = v^2 - (w_1^2 - c_2^2)$$

Ora dalla figura (2) risulta subito:

$$w_1^2 - c_2^2 = \overline{DB}^2$$

quindi la (b) diventa:

$$(c) \quad c_p^2 = v^2 - \overline{DB}^2$$

Ma la fig. 2 ci dà ancora:

$$(d) \quad c_1^2 = (v + \overline{DB})^2 + c_2^2$$

Eliminando tra queste due ultime relazioni la quantità \overline{DB} , avremo:

$$(e) \quad c_1^2 = (v + \sqrt{v^2 - c_p^2})^2 + c_2^2$$

e sostituendo nella (e) il valore di (c_1) ricavato dalla (2), avremo:

$$c_t^2 - c_p^2 = [v + \sqrt{v^2 - c_p^2}]^2 + c_2^2$$

ossia sviluppando e riducendo:

$$(4) \quad c_t^2 - c_p^2 - 2v^2 = 2v\sqrt{v^2 - c_p^2}$$

Questa è la relazione cercata tra v , c_2 , c_p . Prima però di discuterla, esaminiamo il processo tenuto in queste ricerche. Poichè la (4), note due qualunque delle quantità c_p , c_2 , v , ci determina la terza, noi possiamo concludere che per il tracciamento delle palette si hanno sempre relazioni sufficienti per determinare cinque delle sette incognite che si presentano. Le altre due rimangono arbitrarie, ma fissate che sieno, il tracciamento delle palette resta completamente determinato. Non è però a credere che si possano scegliere arbitrariamente due qualunque delle sette incognite; vi sono due casi in cui questo è impossibile, ed evidentemente essi corrispondono alle formole (1), (2). Infatti se noi prendessimo arbitrariamente (c_u , c_2) oppure (c_p , c_1), cadremmo certamente in contraddizione con quelle formole nelle quali c_t , come abbiamo già detto, è noto. In ogni altro caso però, date due delle incognite, tutte le altre restano completamente definite.

Si presenta qui spontanea una domanda: quali delle incognite sarà più opportuno ritenere come arbitrarie nella pratica? La risposta è assai ovvia quando si considerino quelle quantità che nei casi pratici importa siano contenute entro certi limiti; queste quantità in generale sono le c_p , c_2 , v , cioè precisamente quelle legate dalla relazione (4). Se si considerano quindi date due di queste ultime, la (4) determina subito la terza e le altre si deducono con somma facilità. Notiamo che la (4) in questi casi si riduce sempre ad un'equazione semplice di secondo grado.

Si ha così un procedimento assai più facile e più razionale di calcolazione di quello comunemente suggerito col fissare arbitrariamente le inclinazioni delle direttrici e delle palette. Queste inclinazioni non sono certo elementi così essenziali per una turbina, quanto lo sono invece il grado di reazione, la velocità periferica od altro.

Facciamo infine un'osservazione: nel calcolare il tracciato delle palette noi non abbiamo toccato per nulla delle dimensioni della ruota; l'unica supposizione che abbiamo fatta è stata quella sul rapporto tra le superficie di efflusso e di afflusso della ruota mobile, che noi abbiamo fatto uguale all'unità. I risultati però non sarebbero per nulla cambiati nella sostanza, anche se si fosse fatto quel rapporto uguale ad un numero qualunque. Nel valore di c_p noi abbiamo detto che stava inclusa anche l'altezza della ruota; questo elemento però non porta alcuna relazione colle dimensioni della turbina, perchè il tracciato delle palette dipende solo dal valore totale di c_p e non già dall'altezza della ruota.

A rendere più manifeste le relazioni tra le varie incognite del problema, riportiamo qui il diagramma dell'Herrmann (1), il quale risolve in un modo elegantissimo i problemi accennati per via grafica (fig. 3):

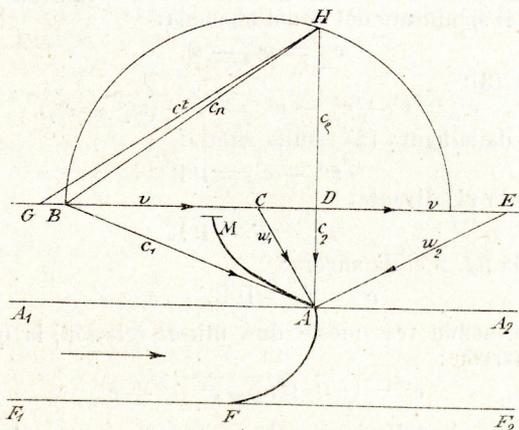


Fig. 3.

(1) GUSTAV HERRMANN, *Die graphische Theorie der Turbinen und Kreiselpumpen*, 1887.

A_1 , A_2 , F_1 , F_2 rappresentano il solito sviluppo del cilindro di raggio medio; AM è una direttrice; AF una palette mobile.

Se $DA = c_2$, $BA = c_1$, $BC = DE = v$ facendo centro in C e con raggio $= v$ descrivendo un semicerchio, questo darà in DH (prolungamento di c_2) il valore di c_p ; in BH il valore di c_u ; e avremo ancora $AE = w_2$ e $GH = c_t$ se $GD = AB$. La tangente in F sarà evidentemente parallela ad AE .

Ed ora riprendiamo la nostra relazione fondamentale:

$$(4) \quad c_t^2 - c_2^2 - 2v^2 = 2v\sqrt{v^2 - c_p^2}$$

Supponiamo di considerare in questa equazione $c_2 = \text{costante}$: allora per la relazione (1) sarà pure $c_u = \text{costante}$, e potremo scrivere:

$$c_u^2 - 2v^2 = 2v\sqrt{v^2 - c_p^2}$$

elevando al quadrato e riducendo, risulta:

$$c_u^4 = 4v^2(c_u^2 - c_p^2)$$

poniamo $c_u^2 - c_p^2 = y^2$; allora la relazione potrà esser posta sotto la forma:

$$v^2 y^2 = \text{cost}$$

ossia:

$$(5) \quad v y = \text{cost}$$

equazione che rappresenta un'iperbole riferita ai suoi asintoti ortogonali. Vediamo il significato di y ; noi abbiamo:

$$c_u^2 - c_p^2 = y^2;$$

ora, ricavando i valori di c_u , c_p dalle (1), (2) e sostituendoli, risulta:

$$y^2 = c_1^2 - c_2^2$$

la quale ci dice (fig. 2) che y non è altro che la proiezione di c_1 nella direzione di v . Di qui il teorema:

I. *Il prodotto della velocità periferica per la proiezione su di essa della velocità di introduzione è costante per tutte le turbine utilizzanti la medesima caduta.*

Ma dalla (5) noi possiamo dedurre un altro importante teorema:

Per la posizione fatta ed essendo $c_u > c_p$, si vede che y diminuisce al crescere di c_p ; viceversa esso avrà il suo valore massimo quando c_p sarà nullo; ma al massimo di y corrisponde per la (5) il minimo di v , quindi il teorema:

II. *Fra tutte le turbine utilizzanti la medesima caduta, la turbina d'azione ha la minima velocità periferica.*

Supponiamo ora di considerare nella (4) $c_p = 0$; con ciò ci porremo nel caso di una turbina d'azione. L'equazione diventa allora:

$$(c_t^2 - c_2^2 - 2v^2)^2 = 4v^4$$

ossia:

$$(c_u^2 - 2v^2)^2 = 4v^4$$

da cui:

$$c_u^2 = 4v^2$$

e in fine:

$$(6) \quad c_u = 2v$$

da cui il teorema:

III. *In una turbina d'azione la velocità del carico utile è doppia della periferica.*

Questi sono i tre teoremi fondamentali della teoria delle turbine assiali, e come si vede, noi abbiamo potuto dedurli da una sola equazione mediante considerazioni semplicissime.

Altre conseguenze si potrebbero ricavare dalla (4); ma a noi basta averne mostrata l'importanza. Vedremo un altro significato della (6) nelle turbine radiali.

B) *Dimensioni della turbina.* — Eseguito il tracciato delle palette, si tratta di determinare la grandezza della ruota. Il problema, come abbiamo già accennato in principio, non è determinato. Infatti, nota la portata Q in mc. al 1° dell'acqua motrice e la velocità c_2 d'introduzione, se (b) è la larghezza

radiale della corona ed r il raggio medio della ruota, dovrà essere:

$$(7) \quad 2\pi r \cdot b = \frac{Q}{c_2},$$

ed in questa equazione compariscono le due incognite r , b . Prendiamo per ora a considerare il raggio r ed esaminiamo quali elementi della ruota son legati al raggio.

Intanto è chiaro che dal raggio dipende essenzialmente il peso G della turbina. Questo peso noi lo possiamo considerare come composto di due parti: di una parte che diremo P , indipendente da r (peso dell'acqua contenuto nella ruota, spinta dell'acqua per turbina immersa, spinta assiale dell'ingranaggio conico motore); questa parte dipende essenzialmente dalla grandezza Q e dalla caduta che si suppongono note; e di una seconda parte che si riferisce al peso proprio della turbina e che noi riterremo dipendente dal quadrato del suo raggio, considerando che l'altezza della ruota è indipendente da r . Porremo quindi:

$$a) \quad G = P + k r^2,$$

essendo k una costante opportuna.

Se questa supposizione non soddisfacesse in qualche caso pratico, basterebbe nelle formole successive sostituire, in luogo della nostra espressione, quella funzione di r che più si presenta opportuna.

In secondo luogo dipende dal raggio il lavoro d'attrito sul perno di base, perchè questo è una funzione del peso della ruota. Infatti, se r_0 è il raggio del perno, ω la velocità angolare, il lavoro d'attrito, com'è noto, si può esprimere colla:

$$k_1 G \omega r_0,$$

essendo k_1 un coefficiente opportuno. Ora si ha:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

e dalle formole costruttive dei perni di base:

$$r = k_2 \sqrt{G},$$

k_2 coefficiente costante.

Sostituendo e ricordando che v è dato dal tracciato delle palette, si ha per il lavoro d'attrito sul perno un'espressione della forma:

$$L = \frac{l(P + k r^2) \sqrt{P + k r^2}}{r},$$

ossia:

$$(b) \quad L = \frac{l}{r} \sqrt{(P + k r^2)^3},$$

essendo l una costante.

L'espressione (b) ci può rappresentare anche la spesa dovuta a questo lavoro passivo, scegliendo convenientemente il coefficiente l .

Dipende ancora dal raggio una perdita importante che si verifica nelle turbine a reazione, dovuta all'acqua che in causa della pressione esistente sfugge attraverso il gioco tra la ruota fissa e mobile. Quest'acqua è totalmente perduta per la turbina; ora, la quantità che sfugge, dipende dalla velocità di pressione c_p (s'intende quella parte di c_p che si trova all'introduzione) e dall'apertura di fuga, la quale ultima evidentemente è proporzionale al raggio r . Poichè c_p è noto dal tracciato delle palette, questa perdita d'acqua noi potremo esprimerla con:

$$(c) \quad L_1 = m r,$$

essendo m un coefficiente opportuno.

La spesa in forza dovuta a questa perdita, se H è la caduta data, sarebbe $= k_3 m r \cdot H$, essendo k_3 il costo del chilogramma. L'espressione (c) ci può quindi rappresentare anche questa spesa, purchè m abbia il suo conveniente valore.

Dal raggio r si può far dipendere anche la spesa d'impianto, elemento importantissimo per il progetto di una turbina, ma la natura della dipendenza non è certo la più palese. Mancano su questo punto dei dati sperimentali sicuri, sebbene in ciascun caso pratico la legge della dipendenza si possa stabilire approssimativamente con facilità. In mancanza

d'altro, noi faremo un'ipotesi: supporremo cioè che la spesa d'impianto consti di una parte indipendente dalla grandezza delle turbine e di un'altra proporzionale al peso della stessa. Con questa ipotesi e ricordando la nostra espressione del peso, noi potremo dare alla suindicata spesa la forma:

$$(d) \quad L_2 = K + n r^2,$$

essendo K , n due costanti.

Infine dipende dal raggio r una perdita assai notevole che è dovuta alla forma usuale delle palette. La natura della dipendenza è piuttosto complessa. Vediamo come si possa stabilire questa perdita in funzione di r .

Comunemente, per costruire la superficie delle palette, si procede nel seguente modo: si fissa il diagramma delle medesime, e determinato il profilo col metodo suindicato, s'immagina una retta perpendicolare all'asse della turbina, la quale si sposti parallelamente a se stessa, poggiando sempre sull'asse e sul profilo delle palette. La superficie rigata che così si genera, è quella in generale adottata per le palette delle turbine. Questa superficie, se è la più comoda per la pratica, non è certo la più razionale per un buon effetto, poichè include delle perdite dovute agli urti dell'acqua all'introduzione nella ruota mobile. Affluendo l'acqua dalla paletta direttrice con velocità determinata, ma con inclinazioni differenti nei vari suoi punti, evidentemente l'introduzione senz'urto non avverrà che per il solo filetto medio per il quale si suppone di aver tracciato il profilo.

In tutti gli altri punti si avrà un urto o dell'acqua contro la ruota, o della ruota contro l'acqua. Ad ovviare a questo inconveniente si sono ideate delle forme speciali di palette (palette Meissner, Reiche, Herrmann, Risdon, ecc.), ma tali forme, oltre al rimediare imperfettamente a queste perdite, sono anche poco sanzionate dalla pratica a motivo delle difficoltà di costruzione.

Noi quindi considereremo solo le palette a superficie rigata elicoidale.

Immaginiamo due palette consecutive del distributore e della ruota mobile. L'alzato rappresenta (fig. 4) i profili del

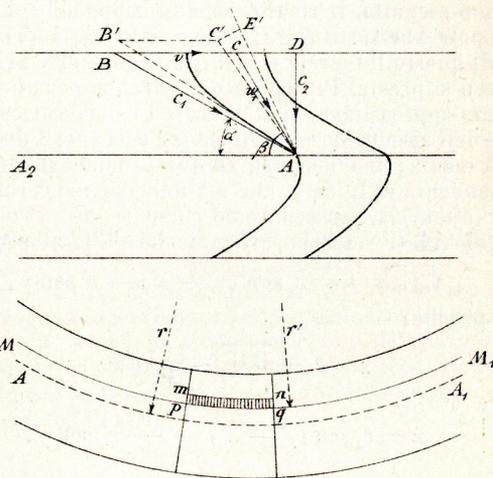


Fig. 4.

distributore e della ruota sulla superficie cilindrica che si proietta in AA_1 , cerchio descritto col raggio medio della turbina. Le inclinazioni delle palette su questa superficie sono rappresentate da α , β . Sopra un'altra superficie MM_1 , distante r' dall'asse, possano le direzioni delle tangenti ai rispettivi profili delle palette essere rappresentate da AB' , $A'E'$ e sia nella stessa posizione AC' la direzione e la grandezza della velocità relativa w' dell'acqua affluente (essa si trova costruendo il parallelogramma con c_1 costante ma deviato in AB' e colla $v' = B'C'$, velocità periferica alla distanza r').

Per l'urto della vena affluente contro la ruota, andrà perduta la $C'E'$ componente di $\overline{AC'}$, normale alla direzione AE' della paletta. Se facciamo $C'E' = u$ per ogni chilogramma

d'acqua andrà perduto il lavoro $\frac{u^2}{2g}$, e se si considera la sezione infinitesima $mnpq$, poichè in questa sezione, di altezza dr' e di lunghezza $\delta \cdot r'$ (essendo δ l'angolo costante compreso al centro tra due palette consecutive) passa un peso d'acqua al 1°:

$$= \sigma c_2' \delta r' dr',$$

dove σ è il peso specifico del liquido e c_2' la velocità normale nel punto considerato, il lavoro perduto al 1° nella sezione infinitesima sarà:

$$dL_3 = \sigma \delta c_2' r' \frac{u^2}{2g} dr',$$

ed integrando per tutta la larghezza b della corona:

$$(e) \quad L_3 = \frac{\sigma \delta}{2g} \int_{r-\frac{b}{2}}^{r+\frac{b}{2}} c_2'^2 u^2 r' dr',$$

dove però bisognerà badare solo al valore assoluto della quadratura.

Ora, dalla figura, se:

$$\widehat{C'AA_2} = \beta' \quad , \quad \widehat{E'AA_2} = \gamma' \quad , \quad \widehat{B'AA_2} = \alpha',$$

si ha:

$$u^2 = w_1'^2 \text{ sen } (\gamma' - \beta')$$

$$c_2'^2 = c_1 \text{ sen } \alpha'.$$

Inoltre, per la forma della superficie delle palette:

$$\frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha'} = \frac{r'}{r} \quad \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \beta'} = \frac{r'}{r}.$$

Il triangolo $B'AC'$ dà poi modo di esprimere β' in funzione di α' .

Con queste formole, tutti gli elementi che entrano nell'integrale (e) potranno esprimersi in funzione di r' , e ad integrazione eseguita, L_3 risulterebbe funzione del solo r , perchè a b si potrebbe sostituire il valore dato dalla (7). La forma però di questo integrale è così complessa, che praticamente esso non si presta. Più opportuno sarebbe per un valore abbastanza approssimato di L_3 , cercare i valori estremi delle ordinate dell'area rappresentata da (e), e da questi dedurre l'ordinata media; ma neppure in questo modo si rende chiara la dipendenza di L_3 da r , che è quello che noi cerchiamo.

Per ottenerla, procederemo come segue: Proiettiamo il triangolo $AB'C'$ sopra la perpendicolare $C'E'$ alla AE' . Si ha:

$$\overline{C'E'} = u = c_1 \text{ sen } (\gamma' - \alpha') - v' \text{ sen } \gamma',$$

ossia perchè:

$$v' = \overline{B'C'} = \frac{v}{r} r',$$

$$u = c_1 \text{ sen } (\gamma' - \alpha') - \frac{v}{r} r' \text{ sen } \gamma'.$$

Poniamo $\beta = 90^\circ$ nel tracciato delle palette. Allora:

$$\beta = \gamma' = 90^\circ,$$

e risulta:

$$u = c_1 \cos \alpha' - \frac{v}{r} r'.$$

Praticamente si può ritenere $c_1 \cos \alpha'$ poco differente da v (non lo si può però porre esattamente $= v$, come talora si afferma); ed allora:

$$u = \frac{v}{r} (r - r');$$

poniamo in quest'ultima espressione per r' il suo valore estremo $r - \frac{b}{2}$; si avrà:

$$u = \frac{v}{r} \frac{b}{2}.$$

Ma b per la (7) si deve ritenere inversamente proporzionale al raggio; scrivendo allora $b = \frac{c}{r}$, essendo c una costante ed osservando che per $r = r'$ u è nullo, come d'altra parte è evidente, risulta per il valore medio di u :

$$u_m = \frac{c}{4} \frac{v}{r^2},$$

e quindi una perdita per chilogramma:

$$\frac{u_m^2}{2g} = \frac{c^2 v^2}{2 \cdot 16 g} \frac{1}{r^4}.$$

Se poi q è la quantità d'acqua che al 1° passa attraverso una delle sezioni del distributore, e questa quantità si può determinare indipendentemente da r , si ottiene per L_3 una espressione della forma:

$$L_3 = q \frac{u_m^2}{2g} = \frac{c^2 v^2}{32 g} \frac{q}{r^4},$$

che noi in generale scriveremo:

$$(e') \quad L_3 = \frac{C}{r^4},$$

C essendo una costante.

Possiamo quindi ritenere che la perdita di lavoro dovuta alla forma delle palette a parità delle altre condizioni è inversamente proporzionale alla 4ª potenza del raggio.

La (e') è certo un'espressione approssimata di L_3 (l'espressione esatta sta scritta soltanto nella (e)); tuttavia essa ha una grande importanza e per la sua semplicità e per il suo significato, poichè ci mostra quanto rapidamente cresca la perdita L_3 (e quindi anche la spesa in forza, ritenendo C conveniente) quando si diminuisce il raggio della turbina (1).

Ora che abbiamo considerate le spese principali di lavoro o d'impianto, che sono connesse al raggio della turbina, esaminiamone la somma. Avremo:

$$(f) \quad \mathcal{L} = L + L_1 + L_2 + L_3 =$$

$$= \frac{l}{r} \sqrt{(P + k r^2)^2} + m r + k + n r^2 + \frac{C}{r^4}.$$

La funzione \mathcal{L} non contiene d'incognite che la r , e poichè essa ci rappresenta una perdita di lavoro, evidentemente noi otterremo un valore razionale del raggio se sceglieremo tra gli infiniti valori di r quello che rende minima questa perdita. L'equazione quindi che ci determina r è:

$$(8) \quad \frac{d\mathcal{L}}{dr} = 0,$$

cioè in ogni caso un'equazione numerica. La (7) e la (8) determinano completamente le dimensioni della ruota da progettarsi.

È qui utile osservare che ove non si volesse far uso della equazione (8) per il calcolo di r , dalla (f) si potrebbero ricavare altre equazioni più semplici e sempre opportune. Così, per esempio, si potrebbe determinare il valore di r , che rende minima soltanto la spesa $L_2 + L_3$, nel qual caso l'equazione di condizione sarebbe:

$$\frac{d(L_2 + L_3)}{dr} = 2 n r - \frac{4 C}{r^5} = 0,$$

da cui:

$$(8_1) \quad r = \sqrt[6]{\frac{z C}{n}}.$$

Notando che L_2, L_3 sono le perdite più notevoli, l'espressione (8₁) di r è assai opportuna.

(1) Un'altra perdita legata alla forma elicoidale delle palette si verifica all'uscita dell'acqua dalla ruota, ma si può prescindere da questa, perchè all'uscita le modificazioni sono di segno opposto e tendono a compensarsi.

Osservazione. — Nel modo indicato noi siamo giunti a determinare completamente gli elementi fondamentali di una turbina con metodo razionale e ben definito. Ritornando ora sul procedimento tenuto, possiamo affermare che nella calcolazione di una turbina assiale si presentano due soli elementi arbitrari e inerenti al tracciato delle palette; tutti gli altri si possono dedurre convenientemente da quelli. A rigore però di elementi arbitrari ne esistono più di due, come l'altezza della ruota (in senso assiale), il numero delle palette, ecc. Questi elementi sono anch'essi importanti, ma la loro arbitrarietà è naturale. Infatti essi non sono legati ad alcuna delle quantità che entrano nelle equazioni fondamentali e non possono quindi entrare nella calcolazione generale. L'unica loro influenza si rivela nelle resistenze d'attrito, ed è precisamente per ciò che anche questi elementi hanno la loro importanza pratica.

C) *Influenza degli attriti, strozzamenti, ecc.* — Nel procedimento da noi dato per la calcolazione di una turbina, abbiamo sempre fatta astrazione dagli attriti dell'acqua. Se si volessero introdurre senz'altro tutti questi nuovi elementi nella determinazione delle turbine, il problema, oltre a presentarsi estremamente complicato ed incerto, perderebbe anche il vantaggio di poter essere risolto separatamente per le palette e per la ruota propriamente detta, poichè le perdite per le resistenze dell'acqua sono legate tanto alla forma delle palette quanto alla grandezza della ruota. È bene considerare queste influenze a parte dopo aver eseguito la calcolazione per il movimento teorico dell'acqua, e noi vogliamo qui precisamente indicare il procedimento più adatto da seguirsi.

Immaginiamo di avere completamente determinata la nostra turbina col metodo precedente. Hanno mostrato il *Ludwig* e l'*Ancona* nei loro recenti lavori (1), che, data una turbina, la velocità colla quale essa è stata calcolata in generale, non è mai la più opportuna; si può sempre determinare un valore v_m di v , tale che il rendimento della turbina sia massimo. Questo valore v_m si trova introducendo nell'espressione del rendimento tutte le perdite dovute al movimento dell'acqua nella ruota espresse in funzione di v e determinando quindi il massimo di questa espressione. Poichè le perdite dipendono dai vari elementi della ruota, v_m si potrà ritenere espresso in funzione di questi, ed in particolare per noi in funzione del raggio della turbina. Porremo quindi:

$$(9) \quad v_m = f(r).$$

Se in luogo di calcolare r per mezzo delle (8) o (8₁), lo si fissasse arbitrariamente, la (9) [che noi però immaginammo dedotta, considerando tutte le perdite legate alla velocità v] completerebbe il calcolo della turbina, perchè infatti essa ci darebbe la velocità che per quel dato raggio corrisponde al massimo rendimento, avuto riguardo alle perdite per resistenza.

Ed in pratica infatti può giovare assai spesso di fissare a priori il raggio e far uso delle (9). In questo modo una turbina verrebbe ad essere pienamente determinata, anche avuto riguardo agli attriti, con tre elementi arbitrari.

Ma se si volesse conservare l'equazione (8), oppure la (8₁), la cosa cambierebbe d'aspetto. Infatti, in quelle equazioni comparisce implicitamente la velocità oltre al raggio. Basti ad esempio ricordare nella (8₁) il significato della costante C , che è dato dalla

$$C = \frac{c^2 q}{32g} v^2 \quad \text{V. formola (e')}$$

In questo caso noi dovremmo scrivere la (8) oppur la (8₁) sotto la forma

$$(10) \quad r = \phi(v_m)$$

ponendo $v = v_m$. Combinando colla (9)

$$v_m = f(r)$$

si ha un sistema di due equazioni, le quali sono sempre sufficienti a determinarci i valori di r e v_m , che le soddisfano entrambe.

In questo modo non si introduce nella calcolazione alcun nuovo elemento arbitrario. È bene però osservare che nella pratica il sistema delle due equazioni è piuttosto complesso; gioverà cercarne le soluzioni per tentativi.

III.

Turbine radiali.

c) *Tracciamento delle palette.* — Vediamo come i risultati ottenuti per le turbine assiali si debbano modificare per il caso di turbine radiali.

Tenendo le medesime notazioni e immaginando che l'altezza assiale delle ruote sia costante in tutti i suoi punti, si ha facilmente che in questo caso le velocità normali all'entrata ed all'uscita sono legate dalla relazione:

$$(11) \quad c'_2 = \frac{r_1 c_2}{r_2} = m c_2$$

dove r_1 è il raggio della periferia all'entrata e r_2 il raggio all'uscita, mentre c'_2 è la velocità normale all'entrata e c_2 la velocità normale d'uscita, che si deve ritenere uguale alla velocità assoluta per il 3° principio fondamentale delle turbine.

Per non dover ripetere considerazioni affatto analoghe per ruote ad introduzione esterna od interna, noi supporremo di dover calcolare una turbine ad introduzione interna.

Alle notazioni delle turbine assiali aggiungeremo gli elementi: $v_1 = v_2$, velocità periferiche all'interno ed all'esterno della ruota mobile.

Ecco i risultati che si ottengono, considerando per il momento noti $c_p v_1 c_2 m$:

L'equazione (1) delle turbine assiali:

$$(12) \quad c^2_t = c^2_u + c^2_2$$

resta inalterata anche per le turbine radiali, e così dicasi della (2):

$$(13) \quad c^2_t = c^2_p + c^2_1$$

badando poi che c_p in questo caso non ha alcuna relazione coll'altezza della ruota. La 3^a invece diventa:

$$(14) \quad w^2_2 = v^2_2 + c^2_2$$

perchè all'esterno noi abbiamo la velocità periferica v_2 che si può dedurre da v_1 , noto il rapporto m dei raggi.

Per l'entrata senz'urto 3 noi potremo ancora costruire il parallelogramma, ma osserviamo che in questo caso la velocità periferica è v_1 , e che la direzione di c_1 è determinata dalla sua proiezione c'_1 normale alla superficie d'introduzione. c'_1 si può esprimere in funzione di c_2 , noto il rapporto dei raggi, per mezzo della (11).

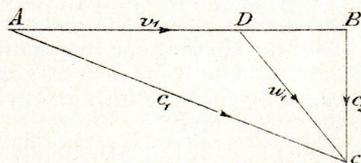


Fig. 5.

Per determinare infine l'equazione fondamentale, analizziamo bene il significato di c_p . A soddisfare il 3° principio dell'uscita normale dalla ruota, occorre che la velocità relativa w_1 sia portata al valore w_2 . Ora, per effettuare questa trasformazione occorre una certa azione sull'acqua, e quest'azione è data contemporaneamente dal carico di c_p e dalla forza centrifuga che si sviluppa nel movimento. Per azione soltanto della forza centrifuga, la forza viva del movimento relativo

(1) LUDWIG, *Allgemeine Theorie der Turbinen*, 1890.
ANCONA, *Sulla velocità del mass. rendim. delle turbine a reazione* (*Ingegneria Civile*, 1892).

aumenta per ogni chilogramma della quantità $\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$; noi potremo quindi scrivere:

$$w_2^2 - w_1^2 = c_p^2 + v_2^2 - v_1^2$$

togliendo il fattore comune $\frac{1}{2g}$.

Ma per la (14) si ha anche:

$$v_2^2 + c_2^2 - w_1^2 = c_p^2 + v_2^2 - v_1^2$$

ossia

$$(a) \quad c_2^2 + v_1^2 - w_1^2 = c_p^2$$

e ponendo $w_1^2 = c_2^2 + v_1^2$

$$(b) \quad w_0^2 - w_1^2 = c_p^2.$$

Ora, se si confronta l'equazione di $w_0^2 = c_2^2 + v_1^2$ colla (14), si palesa subito il significato di w_0 ; essa cioè rappresenta quella velocità relativa, alla quale deve essere elevata w_1 per il solo carico di reazione, senza il concorso della forza centrifuga (1).

Scrivendo la (a) sotto la forma:

$$(c) \quad v_1^2 - (w_1^2 - c_2^2) = c_p^2$$

poniamo:

$$w_1^2 - c_2^2 = K^2.$$

Allora dalla figura (4) ricordando che per la (14) $c_2 = m c_1$:

$$w_1^2 - m^2 c_1^2 = \overline{DB}^2;$$

combinando queste due risulta:

$$K^2 = \overline{DB}^2 + (m^2 - 1) c_1^2$$

e quindi la (c) diventa:

$$(d) \quad v_1^2 - (m^2 - 1) c_1^2 - \overline{DB}^2 = c_p^2.$$

Dalla figura (4) ancora:

$$(e) \quad (v_1 + \overline{DB})^2 + m^2 c_1^2 = c_t^2.$$

Eliminando tra queste due ultime l'ausiliaria \overline{DB} , e ricordando il valore di c_1 dato dalla (13), risulta:

$$(f) \quad [v_1 + \sqrt{v_1^2 - (m^2 - 1) c_1^2 - c_p^2}]^2 + m^2 c_1^2 = c_t^2 - c_p^2$$

ossia sviluppando e riducendo: e facendo $(m^2 - 1) = n$:

$$(15) \quad c_t^2 - c_2^2 - 2 v_1^2 = 2 v_1 \sqrt{v_1^2 - n c_1^2 - c_p^2}$$

che è l'equazione fondamentale delle turbine radiali e che corrisponde, come si vede, alla (4) delle turbine assiali. Essa lega c_2, c_p, v_1, m .

Paragonando i risultati qui ottenuti a quelli del capitolo precedente, noi possiamo concludere: Noti i quattro elementi c_2, c_p, v_1, m , tutti gli altri del tracciato delle palette risultano determinati in un modo semplice e spedito; ma poichè tra quei quattro elementi fondamentali non esiste che la sola relazione (15), appare manifestamente che il problema del tracciamento delle palette in una turbina radiale si presenta con tre arbitrarie. Queste arbitrarie le potrò scegliere comunque tra le varie incognite del problema (salvo casi di eccezione analoghi a quelli notati nel precedente capitolo), ma una volta fissati questi tre elementi, il tracciato è pienamente definito. La convenienza poi di scegliere queste tre arbitrarie tra gli elementi legati alla equazione (15) si mostra da sè manifestamente; infatti la (15) contiene le quantità che più interessano nella pratica; note tre di esse, la quarta resta, per mezzo della stessa, determinata, e tutti gli altri elementi del tracciato si ricavano poi subito.

Ma esaminiamo più da vicino l'equazione fondamentale (15).

Facciamo in essa $c_2 = \text{cost.}$, e quindi per la (14) $c_u = \text{cost.}$ Si potrà scrivere:

$$c_u^2 - 2 v_1^2 = 2 v_1 \sqrt{v_1^2 - n c_2^2 - c_p^2}$$

ossia elevando al quadrato e riducendo:

$$c_u^2 = 4 v_1^2 (c_t^2 - m^2 c_2^2 - c_p^2).$$

Poniamo ancora:

$$y^2 = c_t^2 - c_p^2 - m^2 c_2^2.$$

Allora la precedente diventa:

$$(16) \quad c_u^2 = 2 v_1 y = \text{cost.}$$

equazione del tutto analoga alla (5), che rappresenta ancora un'iperbole.

Per comprendere il significato di y , osserviamo che per la (13), possiamo scrivere:

$$y^2 = c_1^2 - m^2 c_2^2$$

e dalla figura (4) risulta senz'altro, per essere $c_1 = m c_2$:

$$y = \overline{AB};$$

valgono quindi ancora i due teoremi che si deducono dalla (16):

I) *Il prodotto della velocità periferica per la proiezione su di essa della velocità di introduzione è costante per tutte le turbine radiali utilizzanti la stessa caduta;*

II) *Tra tutte le turbine radiali utilizzanti la medesima caduta, la turbina d'azione ha la minima velocità periferica.*

Consideriamo ora il caso di $c_p = 0$ [turbine radiali d'azione] e supponiamo anche $m = \text{cost.}$ La (15) diventa allora:

$$c_u^2 = 4 v_1^2 (c_t^2 - m^2 c_2^2)$$

e per la (12)

$$(17) \quad c_u^2 = 4 v_1^2 (c_u^2 - n c_2^2)$$

Ora, per turbine ad introduzione interna n è un numero essenzialmente positivo; mentre invece per turbine ad introduzione esterna n è negativo, risulta quindi la quantità:

$$\frac{c_u^2}{c_u^2 - n c_2^2} > c_u^2$$

a seconda che si tratta del primo o del secondo caso. Dalla (17) avremo perciò nei due casi rispettivamente:

$$(18) \quad \begin{cases} 2 v_1 > c_u \\ 2 v_1 < c_u \end{cases}$$

e ricordando la (6), risulta questo nuovo ed interessante teorema:

III) *Tra tutte le turbine d'azione utilizzanti la medesima caduta, la turbina radiale interna ha la massima velocità, la turbina radiale esterna la minima, e la turbina assiale una velocità intermedia.*

Imaginiamo ancora che nella (15) sia $c_2 = \text{cost.}$ e $c_p = \text{cost.}$ Risulterà:

$$4 v_1^2 = \frac{c_u^2}{c_t^2 - c_p^2 - m^2 c_2^2}$$

che si può scrivere chiamando a, b, c tre costanti positive:

$$(19) \quad 4 v_1^2 = \frac{a}{b - c m^2}$$

Questa equazione ci mostra che v_1 cresce o diminuisce col crescere o diminuire di m , e poichè si ha $m > 1$, a seconda che si tratta di turbine radiali interne od esterne, risulta quest'altro teorema:

IV) *Per costante caduta utile e per costante grado di reazione, la velocità periferica nelle turbine radiali interne cresce coll'aumentare della lunghezza radiale della ruota mobile, nelle turbine esterne diminuisce coll'aumentare della stessa lunghezza.*

Si vede da ciò quanto feconda di risultati sia la nostra equazione.

b) *Dimensioni della turbina.* — Il calcolo delle dimensioni di una turbina radiale si basa, come per le assiali, sul volume d'acqua al 1'' che deve essere smaltito. Ma evidentemente anche in questo caso si ha indeterminazione. Infatti, detta b l'altezza della ruota nel senso dell'asse, abbiamo se Q è il volume al 1'' dato dalla caduta:

$$(20) \quad \frac{Q}{c_2^2} = 2 \pi r_1 \cdot b$$

dove compariscono le due incognite r_1 e b .

Noi seguiremo per la determinazione di r_1 un metodo ana-

(1) HERMANN, op. cit.

logo a quello usato per le turbine assiali. Esaminiamo cioè le perdite connesse al raggio.

Manifestamente vi sarà anche in questo caso una perdita

$$L = \frac{l}{r} \sqrt{(P + k r_1^2)^3}$$

connessa all'attrito del perno di base; una spesa d'impianto:

$$L_1 = k + n r_1^2;$$

una perdita per fughe d'acqua (turbine radiali d'azione):

$$L_2 = m' r_1; \quad m' = \text{cost.}$$

più una perdita di caduta, che si può ritenere proporzionale all'altezza b della ruota, e quindi per la (20) inversamente proporzionale al raggio r_1 :

$$L_3 = \frac{a}{r_1}, \quad a = \text{cost.}$$

Non vi sarà luogo a considerare la perdita L_3 , dovuta alle forme delle palette, perchè nelle turbine radiali le superficie delle medesime sono cilindriche con generatrici parallele all'asse, e non possono dare quindi degli urti secondari.

Sommando quindi i diversi lavori e derivando la somma rispetto ad r , si avrà l'equazione determinatrice di r , uguagliando a zero questa derivata. Sarà cioè, se:

$$\mathcal{L} = L + L_1 + L_2 + L_3$$

$$(21) \quad \frac{d\mathcal{L}}{dr_1} = 0$$

l'equazione richiesta.

Immaginiamo di considerare, in luogo della (21), l'equazione che si ottiene badando solo alle spese L_2, L_3 . In questo caso sarà:

$$\mathcal{L}' = K + n r_1^2 + \frac{a}{r_1}$$

$$\text{da cui} \quad \frac{d\mathcal{L}'}{dr_1} = 2n r_1 - \frac{a}{r_1^2} = 0$$

ossia risolvendo:

$$(21') \quad r_1 = \sqrt[3]{\frac{a}{2n}}$$

formola assai semplice analoga alla (8), che ci può dare un valore opportuno del raggio.

Non ci fermiamo per le turbine radiali a parlare dell'influenza degli attriti, perchè non avremmo che a ripetere le cose dette per le turbine assiali.

Schio, ottobre 1893.

G. B. FOLCO.

BIBLIOGRAFIA

I.

Criteri per determinare quando siano preferibili i ponti in muratura e quando i metallici. — Relazione della Commissione (D. PASSERINI, G. FANTOLI, e A. PRATESI, relatore) alla Società degli Ingegneri in Roma. — Op. in-8° grande di pag. 10. — Roma, 1893. — Estratto dagli *Annali della Società*, fasc. III.

Il quesito così enunciato in forma generalissima ci è parso arduo assai, forse perchè conosciamo dei casi concreti nei quali le circostanze speciali, e per il luogo e per le molteplici condizioni di sicurezza, di tempo, di estetica, ecc., cui vuolsi insieme soddisfare, sono causa per cui i due sistemi si battono con varia vicenda, e rendono per verità assai difficile dire quale potrebbe essere la soluzione migliore.

Era quindi ben naturale che ci fossimo affrettati di leggere codesta relazione, e crediamo che la stessa curiosità possano condividere buona parte dei nostri lettori.

Premette adunque la relazione che l'esperienza di quasi un secolo ha dimostrato che i ponti metallici, anche se studiati e costruiti accuratamente, presentano parecchi inconvenienti: per la rigorosa sorveglianza che fa d'uopo esercitare, per la loro presunta limitata durata, e per il grave fastidio che deriva all'esercizio delle strade, e specialmente delle ferrovie, quando detti ponti metallici debbono essere rinnovati. Per la qual cosa è da doversi anzitutto tener presente: « che i ponti metallici costituiscono, per così dire, un ripiego di costruzione (?), una eccezione, e si debbono evitare per quanto è possibile, adottandoli soltanto quando le condizioni di luogo e di tempo non permettono l'esecuzione di opere in muratura se non con eccessivo dispendio ».

Ma il confronto deve di norma istituirsi per luci inferiori a m. 50, non potendosi per luci maggiori convenientemente ricorrere ad archi di muratura. Inoltre tutte le considerazioni di confronto si riassumono nel costo dell'opera, il quale, come dice la Commissione, è così costituito:

1. Dalla spesa di costruzione C;
2. Dalla spesa annuale di manutenzione M;
3. Dalla spesa di eventuale rinnovamento R;
4. Dalla provenienza dei materiali P.

La relazione espone in modo sintetico e generale le avvertenze da aversi per determinare le quattro categorie di spese sovra indicate, delle quali sono da ritenersi in valore assoluto la prima e l'ultima, ossia la C e la P, mentre è da capitalizzarsi al 100 per 5 la spesa M, e da ridurre al tempo attuale la spesa R da farsi dopo n anni; onde il costo totale del ponte, sia murale, sia metallico, per lo scopo dell'accennato confronto, risulta espresso da:

$$C + M \frac{100}{5} + \frac{R}{(1 + 0,05)^n - 1} + P.$$

Ma questi criteri fondamentali non sono veramente utili, e la Commissione stessa lo dice, quando non si conoscono i dati dell'esperienza ed i coefficienti da adottarsi caso per caso nella determinazione delle singole spese considerate.

Ond'è che la Commissione chiude la sua breve e sommaria relazione facendo voti « affinché gli ingegneri che più particolarmente si occupano delle diverse specie di ponti, provvedano a completare l'argomento ». Il che, per una Commissione a tale scopo nominata, è veramente troppo poco.

II.

Ing. ANTONIO VIAPPANI. — *La costruzione e l'esercizio delle tramvie.* — Op. in-8° di pag. 318, con 10 tavole e 13 figure nel testo. — Torino, 1893. — Prezzo lire 10.

Il nome dell'autore è già favorevolmente noto per altre pubblicazioni dello stesso genere di questa, specialmente per il *Manuale del Costruttore*, del quale si fanno continue edizioni.

Il lavoro di raccolta, in sé modesto, ma coscienzioso, di tutti i dati pratici occorrenti tanto agli ingegneri che debbono dare progetti di tramvie, quanto ai concessionari e costruttori delle medesime, vuolsi ritenere, oltrechè utilissimo in sé, anche di una grande opportunità. Avvegnachè nello stato economico attuale del paese, e dopo avere speso ben tre miliardi nelle sole ferrovie complementari, delle quali fu oggetto la Legge del 1879, è ovvio che debbansi rivolgere con più profitto le forze a costruire tramvie, le quali costano meno, e potendosi meglio piegare alle esigenze della piccola industria e del commercio locale, riesciranno pure meno improduttive. Ed è anzi da far voti che vengano disposizioni di legge più favorevoli a questo mezzo economico di trasporto, perchè il medesimo abbia a prendere tutto quell'ulteriore sviluppo di cui potrebbe essere capace.

L'autore nello svolgimento del suo lavoro si è attenuto più che altro all'argomento della sede stradale e del materiale fisso, senza parlare del materiale mobile e dei meccanismi se non in quanto ne riguarda il quantitativo necessario e la spesa di acquisto, e senza diffondersi nei particolari di costruzione relativi, che sono d'interesse più del meccanico che del costruttore.

L'opera consta di quattro parti.

Nella prima si trova la raccolta in ordine cronologico di tutto ciò che hanno stabilito l'Amministrazione e la Giurisprudenza italiana relativamente alla concessione, alla costruzione ed all'esercizio delle tramvie.

Nella parte seconda si trovano utilmente riunite le prescrizioni contenute nei capitoli di concessione di parecchie tramvie nelle diverse provincie del Regno; a cui fanno seguito in opportuno capitolo aggiuntivo le condizioni necessarie allo sviluppo delle tramvie quali vennero formulate dal Congresso Tramviario tenutosi a Torino nel febbraio del 1886 in risposta alle domande della Commissione d'inchiesta nominata in quell'anno per preparare un nuovo Progetto di legge relativo alla concessione, costruzione ed esercizio delle tramvie. Evidentemente tali condizioni possono servire anche di norma alla compilazione dei capitoli di concessione.

La parte terza, intitolata: « Le tramvie in rapporto coi concedenti, coi concessionari, colle ferrovie e col pubblico », è la parte più voluminosa, e costituisce un vero trattato di economia tramviaria, ricco di dati pratici sulle spese d'impianto e d'esercizio di molte tramvie esistenti, dati raccolti con molta diligenza e messi fra loro a confronto con perspicace disamina delle cause che ne determinano le più sensibili discrepanze.

La parte quarta, che è l'ultima, è essenzialmente tecnica, e descrive i più usati sistemi d'armamento tanto per le linee in città, quanto per le linee esterne, senza entrare in minuti particolari di costruzione meccanica d'ogni sistema, ma non trascurando tutto ciò che può determinare a fare la scelta del tipo d'armamento in ogni singolo caso. Fanno seguito brevi notizie sugli scambi, sulle migliori condizioni della sede stradale, sulle stazioni ed altri fabbricati. E chiude il libro un breve capitolo sulle tramvie elettriche, le cui applicazioni numerosissime in America, incominciano a prendere favore anche in Italia.

G. S.

R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GL'INGEGNERI IN TORINO.

Classificazione degli allievi che nell'anno 1893 riportarono il diploma di **Ingegnere Civile**, di **Ingegnere Industriale** o di **Architetto**
secondo il Regolamento approvato con R. Decreto in data 8 ottobre 1876.

N. d'ord. di class.	COGNOME, NOME, PATERNITÀ E PATRIA	Voti ottenuti			N. d'ord. di class.	COGNOME, NOME, PATERNITÀ E PATRIA	Voti ottenuti			
		nelle prove di 2° e 3° anno	nell'esame generale	TOTALE dei VOTI			nelle prove di 2° e 3° anno	nell'esame generale	TOTALE dei VOTI	
		massimo no 1200	massimo no 100	massimo no 1300			massimo no 1200	massimo no 100	massimo no 1300	
Ingegneri Civili.										
1	Monetti Luigi del fu Angelo da Novara . . .	1160	100	1260	75	Bronzini Giuseppe di Felice da Novara . . .	812	70	882	
2	Scarafia Carlo del fu Carlo da Firenze . . .	1145	100	1245	76	Brigidini Lino di Daniele da Piacenza . . .	808	72	880	
3	Morteo Francesco di Giovanni da Torino . . .	1140	100	1240	77	Motta Silvestro di Luigi da Sona (Verona) . .	804	75	879	
4	Tasca Luigi del fu Filippo da Torino . . .	1133	100	1233	78	Tallacchini Eligio di Angelo da Malnate (Como)	808	70	878	
5	Guida Guido G. G. del fu Cesare da Monticello	1110	100	1210	79	Cocco Renzo di Antonio da Cagliari . . .	788	85	873	
6	Ferraris Lorenzo del fu Lorenzo da Pollone .	1108	100	1208	80	Pastore Giorgio di Giacomo da Reggio Emilia.	802	70	872	
7	Giuliano Cesare di Giuseppe da Pinerolo (Torino)	1094	98	1192	81	Togliani Pirro di Luigi da Gazzuolo (Mantova)	793	78	871	
8	Dacorsi Enrico di Edoardo da Torino . . .	1081	80	1161	82	Mazzi Gio. Battista del fu Giuseppe da Ancona	785	82	867	
9	Dolza Camillo di Michele da Cuneo . . .	1063	80	1143	83	Giovanetti Stefano di Giac. da Vado (Genova) .	792	75	867	
10	Marchello Mario di Giuseppe da Castellamonte	1020	95	1115	84	Porinelli Ant. del fu Carlo da Castelletto Ticino	777	70	867	
11	Challiol Emilio di Vittorio da Torino . . .	1025	90	1115	85	Piegaia Alfredo di Raffaele da Monte S. Quirico	789	75	864	
12	Zanni Antonio di Domen. da Frassinoro (Modena)	1017	92	1109	86	Zorio Michele di Giacomo da Ponte (Torino) .	794	70	864	
13	Moschetti Adolfo di Giuseppe da Torino . . .	995	95	1090	87	Ajmone Ercole di Pietro da Carpignano Sesia	785	78	863	
14	Gallo Lodovico Dom. di G. B. da Casarza Ligure	1000	90	1090	88	Rampoldi Attilio di Lodovico da Firenze . .	780	78	858	
15	Grumelli Girolamo di Paolo da Rocca Franca	1010	80	1090	89	Avignone Amilcare di Carlo da Arce (Caserta)	788	70	858	
16	Petrozzani Ferdinando di Giuseppe da Pisa . .	994	95	1089	90	Giachino-Amistà Ant. Matt. di Gius. da Mondovì	787	70	857	
17	Merrone Salvatore di Gabriele da Maddaloni .	996	92	1088	90	Marchisio Mario di Gio. da Cocconato (Alessand.)	787	70	857	
18	Barale Giuseppe del fu Gius. da Boves (Cuneo)	998	90	1088	92	Ozola Ferruc. di Marco da Borgonovo (Piacenza)	779	75	854	
19	Petri Alberto di Antonio da Pisa . . .	995	92	1087	93	Milanesi Gianni del fu Gaud. da Biella (Novara)	778	75	853	
20	Tedeschi Giacobbe di Marco da Casale Monferr.	988	90	1078	93	Pollini Angelo di Francesco da Montù Beccaria	778	75	853	
21	San Pietro Mario di Eugenio da Susa (Torino).	979	85	1064	95	Apendini Emanuele di Gio. da Favria (Torino)	772	70	842	
22	Isnardi Gius. di Dom. da Pigna (Porto Maurizio)	962	90	1052	96	Frigerio Leopoldo di Andrea da Cantù (Como) .	767	70	837	
23	Valsania Domenico di A. da S. Damiano d'Asti	962	85	1047	97	Grasso Gius. Antonio di Gio. Anton. da Genova .	765	70	835	
24	Capponi Ant. di Luca da Massa (Massa-Carrara)	952	90	1042	98	Marana Umberto di Nicolò da Genova . . .	764	70	834	
25	Soldi Riccardo di Celestino da Pessina Cremon.	949	85	1034	99	Mortari Umberto di Virgilio da Revere (Mantova)	762	70	832	
26	Zurli Licio di Giambat. da Langhirano (Parma)	949	82	1031	100	Scribanis Ferdinando del fu Riccardo da Genova	760	70	830	
27	Crema Camillo del fu Eugenio da Alessandria	939	90	1029	101	Fumagalli Emilio del fu Anton. da Laveno (Como)	755	70	825	
28	Mazzoni Giov. di Vinc. da S. Giorgio Piacentino	945	80	1025	102	Pettini Piero di Leopoldo da Firenze . . .	744	72	816	
29	Malusardi Faustino di Candido da Arona (Novara)	942	80	1022		<i>Fuori di classificazione:</i>				
30	Baduel Giulio di Alessandro da Perugia . . .	928	93	1021		Macciò Francesco di Pietro da Alessandria*	—	93	—	
31	Lanino Gius. di Luciano da Bricherasio (Torino)	930	90	1020		Allievo Tullio di Giu. da S. Germano (Novara)*	—	85	—	
32	Mori Gius. di Giulio da S. Giov. d'Asso (Siena)	931	85	1016		Oliaro Domenico di Tomm. da Villanova Monf.*	—	80	—	
33	Peyron Emanuele di Amedeo da Torino . . .	933	82	1015		Robino Candido Arturo di Agostino da Canelli*	—	73	—	
34	Grillo Celso di Pietro da Ovada (Alessandria) .	921	90	1011		Stelluti Vittorio di Carlo da Macerata Feltria	—	70	—	
35	Ferretti Teonello di Giuseppe da Casale Monf.	920	83	1003		* Già laureato Ingegnere Industriale.				
36	Palmieri Guglielmo di Agostino da Genova . .	928	75	1003		Ingegneri Industriali.				
37	Reynaud Enr. L. di G. B. da Garzigliana (Tor.)	916	78	994		1	Falqui Raimondo del fu Raimondo da Palermo	1106	95	1201
38	Bresciani Lorenzo di Amedeo da Volterra (Pisa)	916	72	988	1	2	Crudo Ettore del fu Andrea da Torino . . .	1080	92	1172
39	Sicardi Giov. di Lodov. da Pigna (Porto Maurizio)	900	85	985	2	3	Mazza Emilio del fu Luigi da Firenze . . .	1050	100	1150
40	Peruglia Silvio del fu Antonio da Colorno (Parma)	903	75	978	3	4	Rignano Eugenio di Giacomo da Livorno . . .	1014	96	1110
41	Binasco Francesco di Carlo da Frugarolo (Aless.)	888	87	975	4	5	Garzena Ottavio Cam. di Giov. da Graglia (Nov.)	1000	95	1095
42	Bolognino Giuseppe di Giovanni da Torino . .	893	75	968	5	6	Matté-Trucco Giac. di Giac. da Trévy (Francia)	992	100	1092
43	Perinelli Ugo di Eugenio da Grezzana (Verona)	893	72	965	6	7	Gilardi Silvio di Pier Celestino da Roma . . .	991	96	1087
44	Villa Giovanni di Ercole da Vercelli (Novara) .	888	75	963	7	8	Boner Ettore di Antonio da Verona . . .	993	93	1086
45	Mignanego Eman. di G. B. da Sampierdarena	881	75	956	8	9	Garigioli Giov. del fu Cristof. da Torrione di Vinz.	975	96	1071
46	Sardi Andrea di Giuseppe da Alessandria . . .	868	85	953	9	10	Questa Guido del fu Teodoro Stefano da Genova	975	90	1065
47	Provinciaci Alfredo di Antonio da Parma . . .	877	75	952	10	11	Capuccio Mario del fu Gaetano da Torino . . .	952	95	1047
48	Pelli Giovanni di Gius. da Aranno (Svizzera) .	878	72	950	11	12	Muggia Davide del fu Angelo da Fiorenzuola d'Arda (Piacenza) . . .	950	92	1042
49	Molinatto Serafino del fu Giac. da Reano (Torino)	871	75	946	12	13	Tabet Guido di Cesare da Livorno . . .	941	87	1028
50	Colombo Gaetano E. di Giosuè da Lurago d'Erba	865	80	945		14	Monte Salvatore Alfredo di Giuseppe da Pisa	928	94	1022
51	Lace Effisio di Aristide da Andorno (Novara) .	858	83	941		15	Papone Domen. di Gio. Bat. da Cumiana (Torino)	929	90	1019
52	Volpi Ghirardini Giulio di Francesco da Mantova	859	80	939	14	16	Olivieri Riccardo di Lorenzo da Ivrea (Torino)	887	80	967
53	Benedetti Aristide di Ant. da Ponte Baggianese	860	70	930	15	17	Bassi Silvio di Giovanni da Milano . . .	890	70	960
54	Salvotti Ugo del fu Scipione da Saint-Valery sur Somme (Francia) . . .	837	88	925	17	18	Gianoli Guido di Giuseppe da Torino . . .	883	75	958
55	Partini Luigi di Giuseppe da Siena . . .	850	70	920	18	19	Boilleau Umberto di Carloda Versailles (Francia)	862	75	937
56	Muniechi Pietro di Carlo da Genova . . .	841	78	919	19	20	Cardini Luciano di Carlo da Orta (Novara) . .	842	80	922
57	Massucco Lodovico di Placido da Genova . . .	848	70	918	20	21	Alfansi Emilio di Emanuele da Firenze . . .	820	76	896
58	Russo Francesco di Leon. da Pozzuoli (Napoli) .	840	75	915	21	22	Canfari Guido di Nicola da Grugliasco (Torino)	800	70	870
59	Poët Giov. Franc. del fu Franc. da Roure (Torino)	843	72	915	22	23	Rostagno Ugo del fu Giovanni da Torino . . .	800	70	870
60	Giuliani Luigi di Agostino da Spezia (Genova)	838	75	913	23	<i>Fuori di classificazione:</i>				
61	Fossati Ettore di Massimino da Casale Monferr.	837	75	912		Pugliese Augusto di Sabbato da Alessandria (già laureato Ingegnere Civile) . . .	—	85	—	
62	Goffi Vittorio di Luigi da Pecetto Torino . . .	840	72	912		Architetti.				
63	Cantoni Luigi di Giuseppe da Ferrara . . .	838	70	908		1	Vignali Iginio di Anton. da Traversetolo (Parma)	615	100	715
64	Bagnato Antonino di Tomm. da Reggio Calabria	827	80	907		2	Partini Luigi di Giuseppe da Siena . . .	565	95	660
65	Poli Gio. Francesco di Achille da Cremona . .	820	82	902		3	Milanesi Gianni del fu Gaud. da Biella (Novara)	533	90	623
66	Garbarino Vittorio del fu Ant. da Nizza Monferr.	830	70	900		<i>Fuori di classificazione:</i>				
67	Gallesio Domen. del fu Giov. da Mondovì (Cuneo)	827	72	899		Locarni comm. prof. Giuseppe del fu Filippo da Vercelli (laureato per titoli in seguito a delib. della Giunta del Consiglio Sup. della P. Istr. comunicata con nota del Ministero della Istr. Pubbl. in data 16 dicembre 1892, N. 20465).	—	—	—	
68	Garbarino Carlo di Giuseppe da Firenze . . .	827	70	897		Architetti.				
69	Treccani Giov. di Franc. da Montichiari (Brescia)	827	70	897		1	Vignali Iginio di Anton. da Traversetolo (Parma)	615	100	715
70	Bertolotto Paolo di Gio. Battista da Genova . .	818	75	893		2	Partini Luigi di Giuseppe da Siena . . .	565	95	660
71	Piccioni Enrico di Milles da Scheggia (Perugia)	822	70	892		3	Milanesi Gianni del fu Gaud. da Biella (Novara)	533	90	623
72	Ozzola Rodolfo di Marco da Borgonovo (Piacenza)	813	75	888		<i>Fuori di classificazione:</i>				
73	Manzoni Raffaello di Candido da Firenze . . .	805	80	885		Locarni comm. prof. Giuseppe del fu Filippo da Vercelli (laureato per titoli in seguito a delib. della Giunta del Consiglio Sup. della P. Istr. comunicata con nota del Ministero della Istr. Pubbl. in data 16 dicembre 1892, N. 20465).	—	—	—	
74	Giacca Enrico di Giuseppe da Cagliari . . .	810	72	882		Architetti.				

