

L'INGEGNERIA CIVILE

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.

COSTRUZIONI IDRAULICHE

L'ACQUEDOTTO DI FERRARA

(Veggansi le Tavole VIII e IX)

I. — Concetto dell'opera.

Era da lungo tempo vivamente sentito a Ferrara il bisogno di buona acqua potabile, e la Comunale Amministrazione, secondando le legittime aspirazioni della cittadinanza, rivolse le sue cure a risolvere l'importantissimo problema.

Finora la città si è alimentata coll'acqua dei pozzi; ma per la natura del sottosuolo di origine alluvionale e palustre, per l'inquinamento che da secoli vi si è prodotto e per le comunicazioni indirette che spesse volte si riscontrano fra i pozzi e le vasche da latrine, i letamai e gli scoli delle acque ed immondizie delle città, le acque di questi pozzi sono impure, ricche di sostanze solide e di materie organiche, e quindi non atte all'alimentazione.

Il chiarissimo prof. A. Casali, in un suo opuscolo sull'acqua potabile in Ferrara, riferisce che in un litro d'acqua dei pozzi di Ferrara ha vi in media una quantità di gr. 2,18 di materie solide, mentre il limite massimo tollerato in un'acqua potabile non deve superare i grammi 0,5 per litro. Le materie organiche poi dei pozzi di Ferrara abbondano sempre e raggiungono in molti casi per litro la cifra di parecchi milligrammi e sorpassano spesso il centigrammo.

Se però manifesta era la necessità di rimuovere sì grave pregiudizio alla salute pubblica, difficile si presentava all'atto pratico il provvedimento da adottarsi. Si tratta di una città circondata da vastissima pianura, ove le acque del sottosuolo, sebbene abbondanti, non presentano, come si disse, i caratteri voluti. S'era altra volta ventilata l'idea di una derivazione dal Po, che scorre alla distanza di circa 5 chilometri dalla città, ma tale idea fu presto abbandonata, non potendosi ammettere che l'acqua del Po, dopo che ha lavato tutta la grande valle da lui percorsa, sebbene filtrata, sia, igienicamente parlando, atta all'alimentazione di una città. Di più, una derivazione dal Po avrebbe richiesto impianti meccanici ed una forte spesa annua di esercizio per l'elevazione dell'acqua. Vennero pure tentati dei pozzi artesiani, ma anche questi per la natura geologica del terreno non dettero buoni risultati.

Si sono quindi dovute rivolgere altrove le ricerche. Nell'estrema parte ad occidente della pianura bolognese, e cioè nei pressi del Comune di Castelfranco-Emilia, esiste a profondità di circa m. 25 a m. 30 dal suolo, un vasto e ricco bacino acquifero subappenninico, donde sgorgano a fiore di terra acque purissime ed abbondanti che danno origine al canale così detto di Cento, il quale poi entra nel Po di Volano alle porte di Ferrara.

Fino da tempo remotissimo si ha memoria di queste polle d'acqua, denominate fontanili, sparse su vasta zona in quel territorio, e nel Forte Urbano, presso Castelfranco, esiste uno di questi fontanili, la cui attivazione si attribuisce all'astronomo Cassini. Le acque di quell'esteso bacino sottostanno ad un grosso strato d'argilla fra ghiaie e sabbie, e praticando in qualunque punto di quella zona un foro attraverso questo strato d'argilla, quando la trivella ha raggiunto il letto ghiaioso, l'acqua viene a sgorgare al livello del terreno, dando luogo ad un getto copioso e perenne. Da ripetute analisi fatte in varie epoche si sapeva che queste

acque sono ottime per potabilità; si è visto che acque migliori e così abbondanti non si sarebbero riscontrate in qualunque altro punto del territorio circondante Ferrara, e ad esse venne rivolta l'attenzione per sopperire ai bisogni igienici di questa città. Un grave ostacolo però si frapponeva al progetto di condurre a Ferrara queste acque: ed era la forte spesa che si sarebbe richiesta, distando Castelfranco da Ferrara di oltre chilometri 57. Difficile pure, dal lato tecnico, si presentava la soluzione del problema sia per la considerevole distanza testè accennata, come per il lieve dislivello fra Castelfranco e Ferrara, che è di soli metri 25,60, e così pure per la poca consistenza di certi terreni che si dovevano percorrere e pei numerosi corsi d'acqua che si sarebbero dovuti attraversare.

L'Amministrazione comunale però non si è scoraggiata di fronte a tali difficoltà e mercè il suo forte volere e l'energia dimostrata, ciò che pochi anni or sono era un desiderio, oggi è diventato un fatto compiuto con grande ed incalcolabile vantaggio della igiene della città e della salute de' suoi abitanti. Fino dal 1882 erano in corso trattative con varie Ditte per l'esecuzione dei lavori all'uopo occorrenti, trattative che dettero poi luogo a varie proposte.

L'importante era di scegliere per la condotta principale un sistema, che, mentre corrispondesse a tutte le esigenze richieste dalla solidità e dal servizio, fosse il più economico.

Fatti dal sottoscritto degli studi sulle numerose canalizzazioni di cemento esistenti specialmente in Francia, si è visto che questo sistema era applicabile al caso nostro. Oltre al minor costo, esso presenta il vantaggio di conservare all'acqua la freschezza originale e di non subire deterioramenti. Riassunti quindi detti studi in diverse relazioni, alcune delle quali portate poi a conoscenza del Consiglio Comunale, venne definitivamente stabilito di eseguire in cemento la condotta da Castelfranco a Ferrara ed in ghisa la rete per la distribuzione in città. Studiato il piano di massima delle opere all'uopo occorrenti e compilato con ogni diligenza il capitolato, parte importantissima dell'opera, che doveva servire di base al contratto coll'assuntore, includendovi altresì l'esercizio dell'acquedotto per un certo periodo di anni, dopo lunghe pratiche venne dalla Giunta Comunale il 31 ottobre 1885 firmato un compromesso col signor ing. marchese Luigi Medici per la costruzione dell'acquedotto e per l'esercizio del medesimo per anni 60.

Questo compromesso, dopo alcune varianti introdotte, venne dal Consiglio Comunale definitivamente approvato nella tornata del 26 marzo 1886, e nel giorno 11 del successivo aprile venne in Ferrara stipulato il relativo contratto.

In questo contratto convenuto fra il Municipio e l'Impresa Medici si trovano i seguenti patti principali:

L'Impresa Medici si assume il lavoro da eseguirsi colle varie modalità prescritte dal contratto e sotto la sorveglianza dell'Ufficio Tecnico Comunale, in base al progetto da presentarsi dall'Impresa stessa al Municipio per la sua approvazione o per le modificazioni e variazioni che questo credesse di ordinare. L'opera resta col collaudo di proprietà del Comune.

Il Municipio, a corrispettivo della costruzione dell'intero acquedotto, si obbliga: 1° di pagare all'Impresa entro mesi tre dal giorno del collaudo dell'opera la somma di L. 677,000; 2° di concedere all'Impresa l'esercizio dell'acquedotto per anni 60. Di più, il Municipio si obbliga di pagare all'Impresa, per la durata della concessione, annue L. 15.000 in corrispettivo di m. c. 160.000 di acqua all'anno, a cui ha diritto

pei suoi usi, ed altre annue L. 5000 per compenso alle spese di esercizio.

Al Municipio poi spetta il 50 p. % degli incassi sulla vendita dell'acqua ai privati ed alle Amministrazioni.

Con Decreto Reale del 10 aprile 1887 l'opera venne dichiarata di pubblica utilità.

II. — Descrizione dei lavori.

Valutandosi la popolazione della città di Ferrara, compresi i sobborghi di S. Giorgio e di S. Luca, nella cifra tonda di 30.000 abitanti, si è stabilito nel contratto l'obbligo nell'Impresa di condottare giornalmente fino a m. c. 5000 di acqua da servire per gli usi si pubblici che privati. Siccome poi questo consumo di m. c. 5000 non verrà probabilmente raggiunto che entro un certo periodo di anni, così per non aggravare l'Impresa di una spesa molto forte pel primo impianto, si è limitata per ora la portata a m. c. 2500 giornalieri, salvo nell'Impresa l'obbligo di porre mano alla costruzione di una seconda condotta eguale alla prima, quando il consumo giornaliero avrà raggiunto m. c. 2000. In tal modo, quando sarà costruita anche la seconda condotta si avrà il vantaggio che, occorrendo dei lavori in una delle condotte, vi sarà l'altra che funzionerà e non si avranno interruzioni nel corso dell'acqua.

L'acquedotto testè costruito comprende le opere seguenti:

- 1° I lavori alle fonti;
- 2° La condotta da Castelfranco a Ferrara;
- 3° Il serbatoio principale all'estremità della condotta che regola la distribuzione in città;
- 4° La canalizzazione in città e le fontane pubbliche.

1. Lavori alle fonti. — L'acqua destinata all'alimentazione dell'acquedotto viene derivata mediante pozzi modernissimi, appositamente costruiti, dall'ampio ed abbondante bacino acquifero di formazione alluvionale superiormente accennato, il quale per una rilevante estensione in vicinanza di Castelfranco-Emilia si riscontra ad una profondità dal suolo di circa m. 25. Detta acqua venne sottoposta ad accurata analisi chimica, la quale la riscontrò potabile per eccellenza. Attualmente i pozzi da cui proviene l'acqua sono in numero di sette, e danno in complesso una portata di circa mc. 1500 giornalieri, più che sufficienti, per ora, al consumo odierno della città.

Quanto prima ne saranno costruiti degli altri, onde raggiungere gradatamente la portata di mc. 2500 al giorno, in base alla quale venne costruita la condotta principale, ed a tale scopo già è in possesso dell'Impresa un'ampia superficie di terreno, ove verranno terebrati questi nuovi pozzi.

Come vedesi dal relativo disegno (tav. VIII, fig. 3-4), ognuno dei sette pozzi costruiti a Castelfranco consta di un tubo di ferro del diametro interno di m. 0,20, che si spinge a profondità variabili da m. 25 a m. 30 sotto il piano di campagna, compenetrando nello strato sotterraneo d'acqua viva, assolutamente isolato dalle acque superiori per mezzo del grosso strato d'argilla sovrastante, in modo da escludere affatto il timore di eventuali inquinamenti che potessero essere prodotti da superiori trapelazioni. Alla sommità del tubo sgorga e si riversa in apposita vasca l'acqua limpidissima destinata all'acquedotto.

In ogni fontanile questo tubo trovasi circondato esternamente da un altro pure di ferro concentrico al primo, del diametro di m. 0,50 e profondo circa m. 10. Fra i due tubi venne colato un impasto cementizio. Ciò serve ad impedire che l'acqua salga esternamente al pozzo. Questi tubi alla sommità sono circondati da un grosso blocco di calcestruzzo sopra il quale è eretta apposita costruzione in muro per la difesa del fontanile, eseguita in modo da permettere l'accesso alle persone destinate alla manutenzione dell'acquedotto.

Apposita paratoia e relativo condotto di scarico permettono d'isolare ogni pozzo per eseguirvi gli eventuali lavori di riparazione od espurgo che fossero per occorrere.

Tutti i sette pozzi così costruiti sono allacciati mediante tubature di cemento del diametro interno di m. 0,42 e soggette ad una pressione di circa m. 2 ad un serbatoio in muratura situato in loro prossimità. Questo serbatoio, della ca-

pacità di mc. 280 (tav. IX, fig. 2, 3, 4), è diviso in due scompartimenti onde permettere le operazioni di pulitura ed i lavori che fossero richiesti senza che occorra interrompere il corso dell'acqua.

Ha una camera d'arrivo ove giunge la tubazione raccogliente l'acqua dei pozzi ed una camera di distribuzione da cui parte la condotta principale dell'acquedotto. In questo serbatoio l'acqua deposita quelle tracce di sabbia che avesse potuto trascinare seco dai pozzi nel suo movimento ascensionale.

Il serbatoio è munito degli opportuni sfiatatoi, scaricatori e valvole per il regolare servizio. È coperto da un terrazzo e sopra la camera di distribuzione venne costruito un ambiente donde si manovrano le valvole, e che serve anche per il ritiro di attrezzi, magazzino, ecc.

2. Condotta in cemento da Castelfranco a Ferrara. — L'andamento planimetrico di questa condotta ed il suo profilo sono riportati nella tav. VIII. La condotta parte dal testè descritto serbatoio e termina a Ferrara al grande serbatoio ivi costruito sul rilevato denominato Montagnone, misurando così la considerevole lunghezza di m. 57,000. Questa condotta in tutta la sua lunghezza è sempre forzata, e perciò l'acqua in essa scorre è al sicuro da qualsiasi inquinamento.

Tale condotta è costituita da un tubo a sezione circolare costante del diametro interno di m. 0,42 costruito quasi tutto in opera senza soluzione di continuità con impasto formato di cemento di Grenoble, ghiaia e sabbia nelle volute proporzioni e di spessori convenientemente calcolati in modo che abbia da resistere alla pressione interna cui andrà soggetto, la quale, come rilevasi dal profilo longitudinale, nel punto più depresso per rispetto alla linea dei carichi idraulici, si è di circa m. 14. Questi spessori variano da m. 0,09 a m. 0,19.

Come si vede dal profilo, la tubazione presenta numerosi sifoni sottopassanti corsi d'acqua, i quali sifoni furono pure eseguiti in cemento dando loro un grande sviluppo per evitare le brusche risvolte.

Il dislivello fra il pelo d'acqua del serbatoio alle sorgenti e quello del serbatoio di città su una lunghezza così grande, non è che di soli m. 14,60. A regolare le pressioni nella condotta ed a permettere il libero sfogo dell'aria furono applicati nei punti culminanti colonne piezometriche e sfiatatoi automatici a palla. Quelle sono in numero di 5 e questi di 70.

L'andamento planimetrico dell'asse di questa condotta è costituito da tratti rettilinei della maggior possibile lunghezza collegati fra loro con tratti curvilinei a grande raggio in modo da togliere le brusche risvolte, e rendere il percorso il più breve possibile. Ove si è potuto, si è fatto percorrere alla tubazione strade comunali e provinciali, ed ove queste presentavano delle sinuosità troppo sentite che avrebbero nociuto al buon andamento dell'acquedotto, esso percorre l'aperta campagna.

Questo percorso è all'incirca per chm. 20 su strade comunali, per altri chm. 19 su strade provinciali, e per chm. 18 su proprietà private. Esso si effettua attraverso i territori dei Comuni di Castelfranco-Emilia, S. Giovanni in Persiceto, Cento, Pieve di Cento, S. Agostino e Ferrara.

Si è avuto sommo riguardo nella costruzione di collocare la condotta a profondità sentita in modo da assicurare in ogni stagione la freschezza dell'acqua. In molti punti e per tratti assai estesi trovansi fino da m. 1,50 a m. 2 di terra sopra la tubazione. L'altezza di terra sovrastante in generale non è inferiore a m. 1,00.

In diverse località si sono dovuti fare opportuni lavori di consolidamento nel terreno superando difficoltà tecniche assai gravi. Frequente si presentò pure il bisogno di tenere prosciugato l'escavo dalle acque di sorgiva ed armarne le sponde per impedire il loro franamento.

Le espropriazioni per l'esecuzione dei lavori si divisero in due parti: la prima riguardò l'imposizione di servitù al fondo attraversato, la seconda le occupazioni temporanee.

Per le strade comunali e provinciali si ottenne dalle relative Amministrazioni il passaggio gratuito. Il solo Comune di Persiceto non convenne in questo gratuito passaggio e si dovette ricorrere verso di esso alle pratiche di legge per l'espropriazione forzata in virtù dell'ottenuto Decreto di pub-

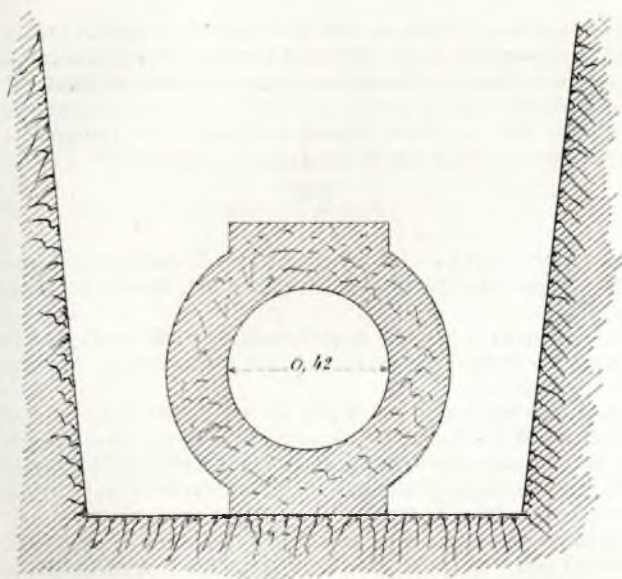


Fig. 33.
Sezione trasversale.

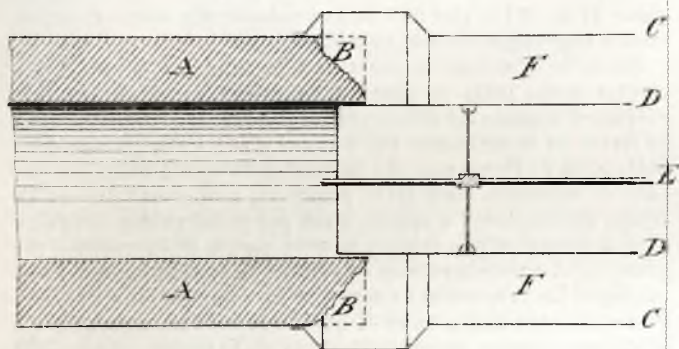


Fig. 34.
Sezione orizzontale.
A — Tubo di cemento costruito in opera.
B — Parte scalpellata.
C — Forme di ferro esterne.
D — Anima di ferro interna.
E — Albero di ferro, girando il quale si restringe l'anima per estrarla dopo eseguito il nuovo getto.
F — Spazio ove viene colato l'impasto pel nuovo getto.

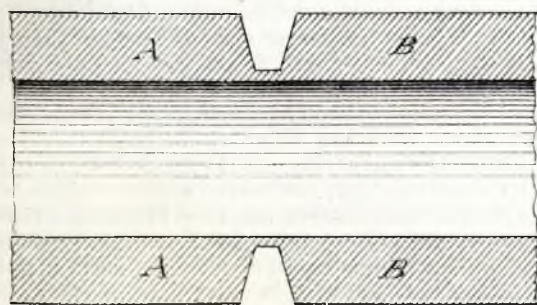


Fig. 35.
Sezione orizzontale.
A, B — Tubi di cemento costruiti in opera.

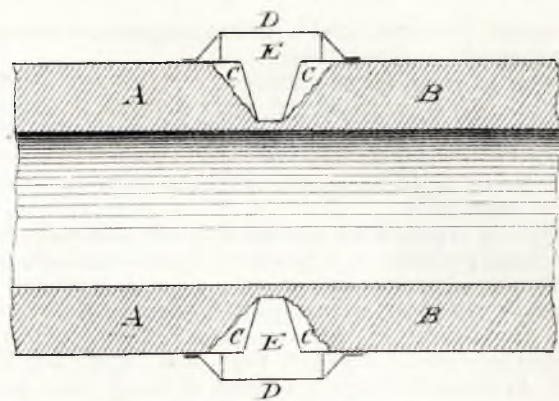


Fig. 36.
Sezione orizzontale.
A, B — Tubi di cemento costruiti in opera.
C — Parti scalpellate.
D — Forme di ferro.
E — Spazio ove viene colato l'impasto per la formazione del giunto.

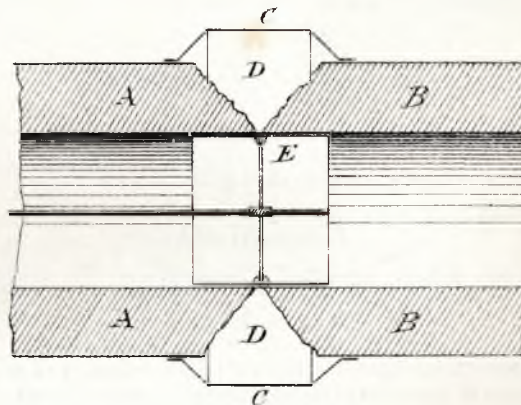


Fig. 37.
Sezione orizzontale.
A, B — Tubi di cemento portativi colle teste scalpellate.
C — Forme di ferro.
D — Spazio ove viene colato l'impasto per la formazione del giunto.
E — Anima di ferro interna che si estrae dopo formato il giunto.

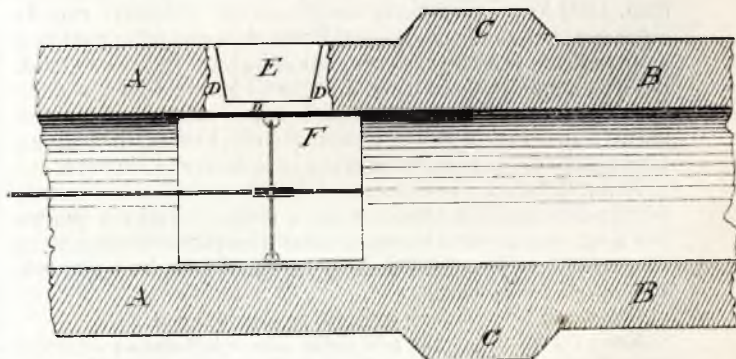


Fig. 38.
Sezione verticale.
A, B — Tubi di cemento costruiti in opera.
C — Giunto fra i due tubi.
D — Parti scalpellate.
E — Foro lasciato mediante apposito stampo.
F — Anima di ferro interna che si estrae dal foro successivo dopo eseguita la chiusura coll'impasto del foro E.

blica utilità. Più tardi, cioè a lavoro compiuto, la vertenza venne composta amichevolmente.

Essendo la quota del pelo d'acqua al serbatoio delle sorgenti di m. 33,00 sul livello del mare e quella al serbatoio di Ferrara di m. 18,40, come scorgesi dal profilo, si è visto superiormente che il dislivello fra i peli d'acqua dei due serbatoi è di soli m. 14,60 su una lunghezza della condotta di m. 57,000.

Il regolare tracciato sia planimetrico che altimetrico dell'acquedotto permette di riguardare l'intera condotta da Castelfranco a Ferrara come un tubo a semplice servizio all'estremità, potendosi trascurare tutte le perdite di carico dovute ai cambiamenti di direzione essendo questi ovunque arrotondati con gomiti a grandi raggi, con piccoli angoli al centro. Applicando quindi la formula di Darcy, come quella che gode maggior credito in pratica ed assumendo come coefficiente quello dei tubi a servizio corrente, dovendosi considerare l'acquedotto in esercizio, si è desunto il diametro da darsi alla tubazione.

La detta formula è la seguente:

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 y}{0,004 (L + 20,67 D)}}$$

e nel nostro caso si aveva:

portata al l'':

$$Q = \frac{2500}{86400} = \text{mc. } 0,02893$$

perdita di carico:

$$y = \text{m. } 14,60$$

lunghezza:

$$L = \text{m. } 57,000.$$

Eseguiti i relativi calcoli si è trovato:

$$D = \text{m. } 0,42.$$

Stabilito così il diametro costante della tubazione e segnata sul profilo la linea dei carichi idraulici o delle altezze piezometriche si sono desunti gli spessori da assegnarsi ai diversi tronchi della tubazione.

Nella costruzione della tubazione si è impiegato il cemento a pronta presa della Porta di Francia come quello che diede miglior prova nella costruzione delle canalizzazioni forzate e che in tali generi di lavori ebbe l'impiego più esteso. Ed infatti da studi e ricerche speciali sulle canalizzazioni di cemento in una visita espressamente fatta, prima di mettere mano ai lavori, a diversi acquedotti di questo sistema esistenti in Francia, si è constatato che si possono valutare almeno a cm. 1500 le canalizzazioni forzate di vari diametri che da circa quarant'anni a questa parte sono state costruite con buon esito in Francia e fuori coi cementi della Casa Delune e Comp. di Grenoble, denominati della Porta di Francia. L'uso delle canalizzazioni forzate in cemento per pressioni inferiori ai m. 20 è in Francia molto esteso avendo l'esperienza di un lungo periodo di anni dimostrata la loro buona riuscita.

Nella Relazione presentata dal sottoscritto all'onorevole Giunta Comunale in seguito a detta visita trovasi un quadro ove sono enumerate alcune canalizzazioni forzate eseguite in cemento per dare un'idea dell'estensione che ha preso tale sistema di condotture.

Detto quadro è riportato nella pagina qui contro.

Nella citata Relazione era detto che adottando i cementi della Porta di Francia per il nostro acquedotto, non trattavasi di fare esperienza alcuna e quindi non si avevano incertezze a temere: al contrario, con una mano d'opera accurata si era sicuri di una riuscita completa, confermata dal felice esito di numerosi lavori di grande importanza che vennero eseguiti con tali materiali.

Esaminando quindi le condizioni speciali del nostro acquedotto, le pressioni cui è soggetto e le altre sue particolarità, in quella Relazione si confermava essere nel caso nostro indicatissima la condotta in cemento.

Ed i fatti hanno dato pienamente ragione a quelle previsioni; l'acquedotto testè felicemente compiuto costituisce la più lunga condotta forzata in cemento finora esistente.

La formula usata in pratica per determinare lo spessore da assegnarsi alle tubazioni forzate costrutte con cemento a pronta presa della Porta di Francia è la seguente:

$$S = \frac{DH}{30},$$

ove S rappresenta lo spessore cercato, D il diametro interno ed H la pressione che sollecita la tubazione, il tutto espresso in metri.

Corrispondente però al diametro di m. 0,42 havvi per lo spessore un minimo di m. 0,09, sotto il quale non conviene mai discendere.

Come si è accennato più sopra, la pressione massima idrodinamica cui è soggetta la tubazione si è di m. 14 verificantesi in un tratto corrispondente alla metà circa del percorso. Dalla formula citata risulta che a questa pressione corrisponde uno spessore di m. 0,196.

La pressione minima in prossimità alla vasca di presa non è che di circa m. 1,50 e ad essa fu fatto corrispondere lo spessore minimo di m. 0,09.

Calcolato colla formula per ciascuna livelletta del profilo lo spessore corrispondente alla relativa pressione, moltiplicato lo spessore così calcolato per la lunghezza della livelletta, sommati assieme tutti questi prodotti e divisa la somma per la lunghezza totale della condotta, si ottiene una dimensione di m. 0,15, che può essere considerata come spessore medio ragguagliato della tubazione.

Come si è accennato più sopra, la condotta venne costrutta quasi tutta in opera senza soluzione di continuità, colando l'impasto direttamente sul posto entro apposite forme di ferro. Si fa eccezione per i sifoni e per l'attraversamento della città di Persiceto, ove la tubazione venne eseguita con tubi di cemento così detti portativi, cioè costrutti molto tempo prima, fuori d'opera, e ciò per poter subito eseguire l'interimento e per evitare in quei punti le operazioni richieste dal ritiro dovuto al cemento nei primi giorni del suo impiego. Le proporzioni usate per la composizione dell'impasto per ogni metro cubo di questo furono le seguenti:

Cemento a pronta presa della Porta di Francia chg. 500
Sabbia scelta e lavata m. c. 0,500
Ghiaia lavata con diametri non maggiori di
m. 0,06 da m. c. 0,750 a m. c. 0,800

L'acqua necessaria per l'impasto è quella occorrente per dargli una consistenza media.

Nei forti calori dell'estate si mescolò al cemento a pronta presa del cemento a presa semilenta per avere il tempo di comporre e colare l'impasto.

Le forme usate per la costruzione del tubo consistono in un'anima di ferro, la quale col giro di un albero centrale diminuisce di diametro e si può così estrarla dal tubo costruito. Esternamente sonvi due forme pure di ferro, aventi sezione di arco di circolo, e tenute alla voluta distanza dall'anima centrale per mezzo di una testata pure di ferro, uguale in dimensioni alla sezione retta del tubo da costruirsi. Dall'altra parte le due forme si appoggiano al tubo già costruito ed hanno nel punto di appoggio una maggior grossezza a forma di anello.

E così la sezione retta del tubo viene ad essere costituita da una corona circolare e due risalti piani larghi quanto il diametro interno, e tangenti al cerchio esterno (fig. 33). Apposita cassa di legno, foderata in ferro e girevole sopra un albero orizzontale, serve per fare l'impasto e viene collocata superiormente al tubo da costruirsi, facendola sostenere da legnami appoggiati al terreno. Fatto l'impasto si apre uno sportello, si alza la cassa dalla parte opposta, e l'impasto cola nello stampo ove si distende guidato da pale mosse da due operai.

Un'avvertenza importantissima si è quella che l'unione di un getto col precedente deve farsi a superficie scabra. Perciò prima di applicare le forme alla tubazione costruita per proseguire, si scalpella a superficie inclinata l'estremità liber del getto precedente, scoprendo la ghiaia. Poi si pulisce

ELENCO DI ALCUNE CONDOTTE FORZATE COSTRUTTE CON CEMENTO DELLA PORTA DI FRANCIA				Lunghezza delle condotte in cemento ml.	Diametro interno			Pressione sopportata dalla condotta			OSSERVAZIONI
					massimo ml.	costante ml.	minimo ml.	massima m.	media m.	minima m.	
1	Acquedotto di Nizza										
	a) Condotta principale sez. ovoidale, diam. magg. 1.25)			7160.45	—	1.25	—	—	—	—	
						0.75	—	—	—	—	
	b) Condotta del diametro interno di m. 0.70 . . .			875.05	—	0.70	—	18.00	—	2.00	
	c) Id. di m. 0.60 . . .			714.65	—	0.60	—	2.20	—	0.00	
	d) Id. di m. 0.40 . . .			3558.59	—	0.40	—	20.00	—	5.00	
	e) Id. di m. 0.35 . . .			3187.35	—	0.35	—	13.00	—	0.00	
	f) Id. di m. 0.30 . . .			3500.00	—	0.30	—	2.00	—	0.00	
	g) Id. di m. 0.25 . . .			1184.25	—	0.25	—	20.00	—	5.00	
	h) Id. di m. 0.20 . . .			4342.90	—	0.20	—	—	ignota	—	
	i) Id. di m. 0.15 . . .			119.35	—	0.15	—	—	ignota	—	
	l) Id. di m. 0.06 . . .			2357.41	—	0.06	—	—	ignota	—	
	Sommano			27000.00	1.25	—	0.06	20.00	—	da 0 a 5	costò L. 1.200.000 venne ultim. nel 1867
2	Acquedotto di Grenoble			17000	0.30	—	0.09	—	—	—	
3	Acquedotto di Autun			—	—	—	—	20.00	—	—	
4	Id. di Annonay (Ardèche)			337	—	0.26	—	5.00	—	2.00	
	id.			3000	—	0.26	—	15.00	—	5.00	
	id.			1605	—	0.26	—	20.00	—	15.00	
	id.			750	—	0.26	—	25.00	—	20.00	
	rete di distribuzione nella città			8875	0.20	—	0.06	—	20.00	—	
	Sommano			14567	0.26	—	0.06	25.00	—	20.00	costò L. 300.000 venne ultim. nel 1861
5	Acquedotto di Privas			—	—	0.30	—	40.00	—	20.00	
6	Id. di Colmar			—	—	—	—	32.00	—	20.00	
7	Id. di Albertville			—	—	—	—	25.00	—	—	
8	Id. di Belfort			—	—	—	—	32.00	—	20.00	
9	Id. di Avénieres			—	—	—	—	40.00	—	—	
10	Id. di Ventavon (Alte Alpi)			—	—	—	—	85.00	—	—	fatto nel 1852
11	Id. di Bozel (Savoia)			—	—	—	—	80.00	—	—	fatto nel 1858
12	Id. di Thonon (Alta Savoia)			3700	—	—	—	40.00	—	—	
13	Id. di Morestel (Isère)			—	—	—	—	40.00	—	—	
14	Id. di Nîmes — condotta d'arrivo			10000	—	0.80	—	—	10.00	—	
15	rete di distribuzione ivi			50000	0.35	—	0.07	30.00	—	3.00	ultimato nel 1874
16	Acquedotto di Lützelhausen (Basso Reno)			—	0.15	—	0.06	80.00	—	—	
17	Id. di Montclimar			20000	0.40	—	0.06	37.00	—	—	eseguito nel 1870-72
18	Id. di Barcellona (Spagna)			—	0.75	—	0.06	15.00	—	—	
19	Rete di distribuzione presso Parigi			20000	—	—	—	30.00	—	10.00	

questa superficie e la si bagna abbondantemente prima di colare l'impasto pel nuovo getto (fig. 34).

Ad ogni cinque o sei getti, ossia tubi, mediante l'applicazione di una apposita forma a collarino, si lascia una interruzione nella tubazione, chiusa solo da un sottile strato di cemento come vedesi nella fig. 35.

La ragione di questa pratica, suggerita dall'esperienza, sta in ciò che il cemento nei primi giorni della costruzione subisce un lieve ritiro, il quale se avviene si manifesterà nella detta interruzione come sezione debole. Decorso 15 o 20 giorni questa interruzione viene chiusa, scalpellando le pareti per renderle scabre e quindi formando un giunto col colare entro apposite forme un impasto di cemento come è indicato nella fig. 36.

Questo sistema del giunto così formato venne pure applicato per unire fra di loro due tubi portativi, cioè costrutti fuori d'opera. Se ne scalpellano a superficie conica scabra le teste. Indi le si approssimano fra di loro e si cola entro apposite forme un impasto di cemento, ghiaietta e sabbia per formare il giunto (fig. 37).

Onde impedire che l'impasto cada entro i tubi si chiude internamente la forma mediante un'anima mobile di ferro.

Finalmente, siccome avvenendo qualche falla nel colare il getto, questa a preferenza succede in prossimità al tubo precedente ed in basso, così per assicurarsi che queste falle non esistono ed in caso per ripararle, si è usato lasciare in prossimità ad ogni giuntura un foro quadrangolare chiuso da un sottile strato di cemento che impedisce l'ingresso nella tubazione di materie esterne (fig. 38). Questo vano o foro col lato di circa m. 0,20, viene ricavato coll'applicare apposito stampo nel fare il getto. Dopo vari giorni e prima di fare l'interrimento, apposito operaio rompe il detto sottile strato di cemento, osserva bene la tubazione internamente, vi fa quei restauri o compimenti che fossero necessari, e poi, previa scalpellatura delle pareti del foro onde renderle scabre, rinchiude il foro con impasto di cemento, usando un'anima mobile che si fa scorrere entro il tubo da un foro all'altro.

Prima di eseguire l'interrimento, che di solito si fa dopo 15 o 20 giorni che è stato costruito un tratto di tubazione, una visita scrupolosa e diligente del capo-operaio viene praticata per constatare se ogni tubo è in buono stato, se tutti i giunti furono compiuti regolarmente, ecc.

La costruzione della tubazione venne attaccata contemporaneamente in diversi punti, e si sono avute in lavoro nello stesso giorno fino a 14 squadre di operai.

Ogni squadra eseguiva da 20 a 25 metri di tubazione al giorno.

Il primo tubo di cemento venne costruito il 14 giugno 1887 fra Castelfranco e Persiceto e l'ultimo fu costruito il 22 ottobre 1889 presso Persiceto. Nel 1887 si eseguirono 6 chm. di tubazione; nel 1888 se ne eseguirono 35 e nel 1889 furono compiuti gli ultimi sedici.

Sono state fatte varie esperienze sulla resistenza alla rottura dei tubi di cemento costrutti come si è descritto e coi materiali indicati.

Fra queste basti citare che un tubo costruito da circa un anno, del diametro interno di m. 0,42 e dello spessore di m. 0,19, richiese una pressione di circa 8 atmosfere per essere rotto. Nel nostro caso invece un tubo con queste dimensioni, come si è visto, non ha da sopportare che la pressione di m. 14, cioè neanche di un'atmosfera e mezza, ond'è che abbiamo un margine larghissimo per eventuali colpi d'ariete.

3. Serbatoio in città. — Come già si è accennato, il serbatoio di città venne costruito sul rilevato denominato *Montagnone*, che si trova all'angolo sud-est della città ed è sotterraneo. Come vedesi dalla tav. IX, esso è in muratura e costituito da due bacini indipendenti l'uno dall'altro. Ove sbocca la tubazione di cemento proveniente da Castelfranco havvi una camera di arrivo in comunicazione con ciascuno dei due bacini. Dalla parte opposta vi è la camera di distribuzione ove si trovano le valvole che regolano la partenza dell'acqua per la città, lo scarico dei due bacini ed il loro sfioro. Essendo il fondo del serbatoio alla quota 15,82

e lo sfioratore alla quota 18,40, l'altezza dell'acqua nel serbatoio stesso si è di m. 2,58. La capacità dei due bacini del serbatoio si è in complesso di m. c. 1054.

Siccome la quota della soglia dell'Università, che può considerarsi come piano medio della città, si è di m. 7,40, così il pelo d'acqua al serbatoio si trova a m. 11,00 sopra questo piano medio e si rende possibile che l'acqua in molte case salga anche al 2° piano. Detto serbatoio è coperto da volte a crociera a tutto sesto che si impostano sui pilastri, sui muri perimetrali e sul muro divisorio. La divisione del serbatoio in due bacini riesce di sommo vantaggio per il servizio, potendosi mantenere in carica uno dei bacini e vuotare l'altro senza interrompere il corso regolare dell'acqua, mediante la manovra delle valvole appositamente collocate.

I quattro pilastri dei cancelli sovrastanti al serbatoio sono vuoti e servono da ventilatori al serbatoio.

L'acqua contenuta in questo si trova garantita dalle vicissitudini della stagione stante il suo completo seppellimento in terra come apparisce dai disegni.

Sopra la camera di distribuzione esiste una fabbrichetta che serve di alloggio al custode del serbatoio. Una cancellata su muretto recinge tutto lo spazio occupato dai muri perimetrali del serbatoio.

La costruzione di questo importante manufatto è solida e di bell'aspetto specialmente nell'avancorpo sovrapposto alla camera d'arrivo ove havvi la porta d'ingresso del serbatoio.

4. Canalizzazione in città. — Dal serbatoio del *Montagnone* parte la rete di condotta d'alimentazione della città, come vedesi nella tav. IX, fig. 1. Questa rete è formata da condutture tutte di ghisa con diametri variabili da m. 0,30 a m. 0,05 conservando però nei punti principali e corrispondentemente alle primarie diramazioni, diametri che non discendono sotto ai m. 0,20.

La disposizione delle varie tubature è fatta in modo che esse si trovino opportunamente collegate fra di loro per conservare ovunque un carico sufficiente e per assicurare in ogni punto della città una regolare distribuzione d'acqua ed un servizio uniforme.

Col progredire delle richieste e del consumo dell'acqua sarà gradatamente ampliata la citata rete che ora misura in complesso una lunghezza di metri 17500.

Queste condutture in città sono munite delle opportune valvole di chiusura, di scaricatori e di sfiatatoi in maniera da permettere il pronto e regolare servizio della rete di distribuzione.

Per la distribuzione gratuita dell'acqua vennero collocate in opera N. 12 fontanelle di ghisa a getto intermittente in città e N. 4 nei sobborghi.

Una fontana ornamentale a getto con una vasca del diametro di m. 6,20 rallegra il pubblico giardino del Castello.

Si collocheranno poi sulla conduttura delle bocche d'inaffiammento e da incendio per servizio municipale.

Compiuti i lavori venne a Castelfranco immessa l'acqua nella tubazione di cemento. — Alla mattina del 4 novembre 1889 l'acqua giunse per la prima volta e senza inconvenienti al serbatoio del *Montagnone*.

Fu subito attivato il servizio di distribuzione, essendovi diversi abbonati che già avevano dotate le loro case dell'impianto a tal uopo occorrente.

E dopo circa sei mesi di regolare servizio, cioè al 31 maggio p. p., l'opera venne collaudata da apposita Commissione e secondo quanto prescrive il contratto. E la Commissione trovò il lavoro pienamente riuscito e lo ha senza eccezioni collaudato.

Fra le altre cose essa ha constatato mediante esperienze che la quantità d'acqua di m. c. 1500 circa che attualmente sgorga giornalmente dai sette pozzi di Castelfranco fluisce tutta al serbatoio del *Montagnone*, il che prova che nessuna benchè lieve dispersione trovasi lungo la linea. Sottoposta poi l'acqua che giunge a Ferrara ad accurata analisi chimica, vi si sono riscontrati inalterati i caratteri di potabilità che presenta alle sorgenti e questo conferma che in tutto il lungo percorso l'acqua stessa è al sicuro da qualsiasi inquinamento.

L'opera venne inaugurata solennemente nel giorno 8 giugno. In quel giorno pervenne al signor Sindaco il seguente telegramma:

« Onorevole Sindaco,

« Ferrara.

« Assemblea collegio Ingegneri Bolognesi applaude esito » felice Acquedotto Ferrarese opera eminentemente benefica, » onore ingegneria moderna.

« f.^o SILVANI, Presidente ».

Una parola di sincero encomio va tributata all'Impresa Medici rappresentata in Ferrara dal signor ing. Tersillo Borgna, la quale, mettendo il massimo impegno pel buon esito del difficile lavoro, nulla ha trascurato perchè l'esecuzione dell'opera riuscisse a perfetta regola d'arte, corrispondendo in tal modo pienamente alla fiducia in lei riposta dal Municipio e confermando una volta di più la fama che già godeva come assuntrice di grandiose costruzioni.

Ferrara, 14 giugno 1890.

G. DUPRÀ, Ing.-Capo Com.^{le}.

FISICA TECNICA

SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE NELL'ARIA.

Studio sperimentale del Prof. S. PAGLIANI.

Il chiar^{mo} prof. Guido Grassi stabiliva nel 1881, con esperienze sulla trasmissione del calore attraverso a pareti piane dei locali abitati, che il coefficiente di trasmissione per contatto, o per trasporto, o come dicesi anche, il coefficiente di convezione, invece di essere compreso fra 2 e 3, come risulterebbe dalle formole del Péclet, o fra 4 e 5, come si ammette nei trattati più recenti, giunge fino a 9 e 12; i valori più piccoli essendo solo valevoli per il caso in cui l'aria sia tranquillissima (1).

Recenti sperienze del Ser, fatte sopra tubi metallici, i cui risultati si trovano esposti nel suo pregevole *Traité de physique industrielle* (Paris, 1888), hanno confermato che il coefficiente di convezione dell'aria è diverso quando questa è in movimento, e che cresce assai rapidamente colla velocità, e può raggiungere, per pareti metalliche, valori anche assai più elevati di quelli trovati dal Grassi per i muri, il che è naturale, perchè nel caso di pareti sottili e metalliche, il fenomeno di convezione deve influire assai più sulla trasmissione che non nel caso di muri d'un certo spessore.

Secondo le misure del Ser, il detto coefficiente aumenta rapidamente colla velocità e tanto più quanto minore è il diametro del tubo. Pel diametro di 1 cm., l'aumento sarebbe presso a poco proporzionale alla velocità. Con diametri maggiori non si ha più questa proporzionalità; pel diametro di 5 cm. il detto coefficiente è presso a poco proporzionale alla radice quadrata della velocità. Questo coefficiente cresce per una stessa velocità col crescere del diametro del tubo.

Invece, secondo il Péclet, il detto coefficiente dovrebbe diminuire coll'aumentare del diametro del tubo; ma il Péclet, come è noto, sperimentò con aria in riposo, mentre il Ser sperimentò coll'aria in movimento e per velocità superiori a m. 0,25, fino a m. 10.

Io mi sono proposto anzitutto di operare anche con velocità minori, le minime possibili, colle quali si potessero ancora fare delle buone determinazioni, per avvicinarmi alle condizioni delle esperienze del Péclet.

In secondo luogo mi sono proposto di vedere se sul coefficiente di convezione dell'aria influisse la maggiore o minor quantità di vapore acqueo con essa mescolato, poichè, secondo altre esperienze del Ser, il coefficiente di convezione del vapore acqueo puro, privo di aria, sarebbe molto grande, e d'altra parte non mi risulta che la detta questione sia mai stata trattata.

Alla risoluzione delle accennate questioni se ne annettono poi delle altre di cui dirò in seguito.

(1) G. GRASSI, *Sulla trasmissione del calore.* — *Industria*, II, p. 387. Milano, 1888.

Intanto non credo inutile, prima di esporre il metodo da me adoperato per eseguire l'accennato studio sperimentale, di richiamare qui brevemente le principali nozioni sulla trasmissione del calore, affinchè da esse si scorga in qual modo si può determinare il coefficiente di cui si tratta.

Abbiasi una parete di spessore s , che trasmette calore, e consideriamo nell'interno della medesima uno strato di spessore x e si indichi con Q la quantità di calore trasmessa attraverso una porzione di superficie F nell'unità di tempo, e con h un coefficiente costante, si avrà:

$$Q = -F h \frac{du}{dx},$$

essendo du una variazione di temperatura per l'elemento di spessore dx .

Da questa equazione si ricava:

$$Q \frac{dx}{F} = -h du,$$

ed integrando:

$$Q \int_{x_0}^x \frac{dx}{F} = h(t_1 - u),$$

essendo t_1 ed u le due temperature delle faccie terminali dello strato.

Estendendo la integrazione a tutta la lastra di spessore s , si avrà:

$$Q \int_0^s \frac{dx}{F} = h(t_1 - t_2),$$

essendo t_1 e t_2 le temperature delle due faccie terminali della lastra, e quindi:

$$Q = h \frac{t_1 - t_2}{\int_0^s \frac{dx}{F}}.$$

Nel caso d'una lastra piana potremo scrivere semplicemente:

$$Q = h F \frac{t_1 - t_2}{s}.$$

E supponendo:

$$F = 1 \text{ m}^2, \quad t_1 - t_2 = 1^\circ \quad \text{e} \quad s = 1 \text{ m}$$

rimane definito h , che sarebbe la quantità di calore trasmessa in ogni unità di tempo (ora) attraverso a ciascun metro quadrato di una parete piana indefinita, di spessore eguale ad 1 metro quando la differenza di temperatura fra le due faccie della parete sia di 1° . Esso si chiama coefficiente di conduttività interna della sostanza, di cui è fatta la lastra. Per esso abbiamo i valori dati dal Péclet per diverse sostanze.

Se consideriamo ora anche la trasmissione esterna, cioè la trasmissione di calore da un ambiente ad una delle faccie di una parete, e quella dall'altra faccia ad un secondo ambiente, allora, supponendo piccola la differenza di temperatura (25° a 30°) delle due faccie, e che nei due fluidi non si abbiano che i moti idrostatici, come è il caso della trasmissione del calore attraverso ai muri degli edifici, attraverso i vetri delle finestre, attraverso le pareti degli essiccatoi ad aria libera, allora potremo applicare la legge del raffreddamento di Newton; e chiamando F_1 e F_2 le superficie delle due faccie, T_1 la temperatura del 1° ambiente, t_1 quella della 1° faccia, t_2 quella della 2° faccia e T_2 quella del 2° ambiente, K_1 e K_2 due coefficienti di proporzionalità, abbiamo che la quantità di calore trasmessa dal 1° ambiente alla 1° faccia sarà espressa da $Q = K_1 F_1 (T_1 - t_1)$, quella trasmessa dalla 2° faccia al 2° ambiente $Q = K_2 F_2 (t_2 - T_2)$, essendo K_1 e K_2 i due coefficienti di conduttività esterna, cioè la quantità di calore trasmessa in un'ora per ogni metro

quadrato di superficie quando la differenza delle temperature delle due faccie della parete sia di 1° .

Dalle equazioni sopra indicate possiamo dedurre:

$$\frac{Q}{K_1 F_1} = T_1 - t_1, \quad \frac{Q}{h} \int_0^s \frac{dx}{F} = t_1 - t_2,$$

$$\frac{Q}{K_2 F_2} = t_2 - T_1.$$

Dalle quali si ricava:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{K_1 F_1} + \frac{1}{h} \int_0^s \frac{dx}{F} + \frac{1}{K_2 F_2}}$$

e per una parete a faccie piane o di piccola curvatura si potrà scrivere semplicemente:

$$Q = F \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{K_1} + \frac{s}{h} + \frac{1}{K_2}},$$

e facendo:

$$A = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{s}{h} + \frac{1}{K_2}} \quad (1)$$

$$Q = A F (T_1 - T_2).$$

Come si sa, A è il coefficiente di trasmissione della parete. Nel caso di pareti metalliche sottili, essendo piccolo il loro spessore e grande la loro conduttività interna, si può trascurare $\frac{s}{h}$. Rimane quindi:

$$A = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}.$$

È noto come il Rankine ha dato un'altra espressione della quantità Q , ma in generale è preferibile l'espressione suddetta, per la quale il Redtembacher ha dato i valori di A per pareti di diversa natura.

Se consideriamo ora una parete che separa due fluidi, l'uno riscaldante, l'altro da riscaldare, dei quali il primo si muova in una determinata direzione, cosicchè si vada successivamente raffreddando, il secondo invece si vada semplicemente rinnovando regolarmente in modo che per i moti idrostatici la temperatura t si possa considerare come uniforme (caso senza circolazione), allora indicando con P il peso del primo fluido che passa in un'ora, con C il suo calore specifico a pressione costante, per una variazione di temperatura $-dT$ passando da una sezione della parete ad un'altra vicina, la quantità di calore perduta sarà $-PCdT$, la quale sarà uguale a quella trasmessa nello stesso tempo attraverso una porzione di parete di spessore s e di lunghezza dl dal fluido riscaldante, la cui temperatura in quel punto si suppone avere il valore T , al fluido da riscaldare la cui temperatura sia t . Quindi avremo:

$$A s d l (T - t) = -P C d T.$$

$$\text{Facendo } \frac{A}{P C} = m, \text{ si avrà: } \frac{dT}{T - t} = -m s d l. \quad (2)$$

Integrando per tutta la lunghezza della parete, si avrà:

$$\log \text{ nep } \frac{T_2 - t}{T_1 - t} = -m \int_0^L s d l = -m F,$$

essendo T_1 la temperatura del fluido in movimento all'estremo della parete dove entra e T_2 quella all'altro estremo dove il fluido caldo abbandona la parete, F la superficie di essa parete e L la sua lunghezza.

Se consideriamo ora il caso di doppia circolazione, sia questa diretta o a correnti concordi, oppure inversa od a correnti contrarie, la quantità di calore, che in un'ora riceve il fluido da riscaldare, sarà eguale a quella trasmessa attraverso all'elemento di parete considerato; soltanto che considerando la variazione della temperatura di quest'ultimo fluido sempre nello stesso senso, passando da una sezione ad un'altra infinitamente vicina, essa sarà nel caso della circolazione diretta $+dt$, nel caso della circolazione inversa $-dt$, quindi la quantità di calore ad esso trasmessa in questo passaggio sarà, indicando con p e c le quantità ora accennate per il fluido da riscaldare:

$$\pm p c d t,$$

e cioè si avrà:

$$\pm p c d t = A s d l (T - t).$$

$$\text{Facendo } \frac{A}{p c} = n, \text{ si avrà:}$$

$$\frac{dt}{T - t} = \pm n s d l.$$

Sottraendo questa dalla (2), si ha:

$$\frac{d(T - t)}{T - t} = -(m \pm n) s d l.$$

Integrando si avrà:

$$\log \text{ nep } \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1} = -(m \pm n) F,$$

essendo t_1 e t_2 le temperature del fluido da riscaldare sul principio e alla fine della superficie di riscaldamento considerata.

Se consideriamo ora in modo speciale il caso del riscaldamento con circolazione inversa, ossia a correnti contrarie, abbiamo:

$$\log \text{ nep } \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1} = -A \left(\frac{1}{P C} - \frac{1}{p c} \right) F.$$

Ricordiamo che A è espressa da:

$$\frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}.$$

Ora ciascuna delle quantità di calore rappresentate dai coefficienti K_1 e K_2 si compone di due parti: l'una ricevuta o ceduta per irradiazione, l'altra ricevuta o ceduta per contatto, o per convezione.

Se indichiamo con a il coefficiente di convezione del fluido a riscaldarsi potremo scrivere:

$$p c \log \text{ nep } \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1} = a F \quad (3)$$

Mediante questa relazione noi potremo sperimentalmente determinare la quantità a . Un metodo opportuno consiste nel fare passare l'aria in un tubo scaldato da una corrente di vapore acqueo rapida e copiosa, in modo che si può assumere per temperatura della parete quella del fluido che la scalda. Per la diatermanità dell'aria la parte di riscaldamento dovuta alla irradiazione, si può considerare come trascurabile, e misurando le quantità contenute nella relazione (3) si può dedurre a .

Il valore di questo coefficiente, che, secondo le esperienze del Péclet, per un fluido in riposo dipende solo dalla forma e dalle dimensioni del corpo, quando questo fluido è in movimento dipende anche dalla velocità, come si è visto sopra, dietro le esperienze del Grassi e del Ser.

Come già dissi, non solo mi sono proposto di verificare la detta dipendenza del coefficiente in questione dalla velocità, anche per valori piccoli di questa, ma anche di studiare l'influenza che sul valore di quel coefficiente possano avere delle quantità diverse di vapore mescolate all'aria.

Ora, per mescolare determinate quantità di vapor d'acqua all'aria, non si ha mezzo più semplice di quello di farla pas-

sare a contatto d'una massa d'acqua convenientemente scaldata. Ne viene di conseguenza che l'aria stessa verrà portata a temperature diverse, secondo la tensione di vapore che si vuol raggiungere. Si presenta quindi la questione della variazione del coefficiente di trasmissione colla temperatura.

Tale questione è stata pure trattata dal prof. Grassi in una nota sulla trasmissione del calore fra due fluidi in movimento separati da una parete solida (*Nuovo Cimento*, volume VII, p. 129).

Consideriamo l'espressione:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{K_1} + \frac{s}{h} + \frac{1}{K_2}.$$

Secondo la legge di Dulong e Petit e le esperienze del Péclet, il coefficiente di conduttività esterna cresce col crescere dell'eccesso di temperatura tra la faccia della parete e l'ambiente. Se però, mantenendo costante tale differenza, si fa variare la temperatura dell'ambiente, il detto coefficiente varia, ed in generale cresce colla temperatura.

Se consideriamo una parete posta fra un fluido ad una temperatura T ed un altro alla temperatura minore t , e mantenendo costante T supponiamo di far crescere la differenza fra T e t raffreddando il fluido più freddo, allora l'eccesso di temperatura del fluido caldo rispetto alla parete e quello di questa rispetto al fluido freddo cresceranno, e quindi dovrebbero crescere K_1 e K_2 ; ma dalla parte del fluido freddo la diminuzione assoluta della temperatura dell'ambiente tende a far diminuire K_2 . Quindi, aumentando la differenza $T - t$, il coefficiente di trasmissione può rimanere costante, oppure anche diminuire. Reciprocamente, con un analogo ragionamento si potrebbe dimostrare che se la detta differenza diminuisce rimanendo costante T , il coefficiente di trasmissione può rimanere costante od anche crescere.

Il Grassi, facendo passare una corrente di vapore acqueo a 100° in un tubo circondato da acqua, trovò che il coefficiente di trasmissione era sensibilmente più piccolo quando l'acqua esterna era a bassa temperatura.

Il Ser invece avrebbe trovato che per l'aria il valore del coefficiente di convezione sarebbe indipendente dall'eccesso di temperatura, e quindi costante nell'intervallo di temperatura delle sue sperienze (10 a 100°).

Questo risultato per l'aria si può però spiegare con ciò che

in questo fluido, tanto più quando è in movimento, il rimescolamento delle particelle del fluido facendosi molto più rapidamente, può darsi che piccole variazioni nel valore dell'eccesso di temperatura non influiscano sensibilmente sul valore di quel coefficiente. Tuttavia siccome per me la questione aveva una speciale importanza, ho istituito delle misure fatte in modo un po' diverso da quelle del Ser, per verificare tale costanza. Di esse dirò in seguito.

Metodo adoperato. — Il metodo da me adoperato consiste, come quello del Ser, nel far passare una corrente d'aria con velocità costante per un certo tempo in un tubo metallico a pareti sottili, e riscaldato da una corrente continua di vapore acqueo a circa 100°. Si misura la temperatura dell'aria all'entrata nel tubo scaldato, poi all'uscita; così pure si misurano le temperature del fluido scaldante nelle posizioni corrispondenti. Si determina pure il volume dell'aria effluito nella unità di tempo, e si deduce la quantità di vapore in esso contenuta dalla tensione corrispondente alla temperatura alla quale essa era satura di detto vapore, mediante le note relazioni. Si calcola l'equivalente in acqua assumendo i noti valori del calore specifico dell'aria e del vapore d'acqua, ed ammettendo che il calore specifico della mescolanza sia uguale al calore specifico medio dei due componenti; quindi sostituendo nella equazione (3) i valori così ottenuti, come pure quello della superficie interna del tubo, si deduce il valore di u .

L'apparecchio (fig. 39) è costituito da un gasometro a campana G con contrappesi, da un manometro Péclet a tubo inclinato M , sul quale si legge l'eccesso di pressione esistente nell'interno dell'apparecchio durante il movimento dell'aria, da una cassetta metallica C immersa in un bagno d'acqua, mantenuto a temperatura costante, nella quale cassetta l'aria si satura di vapore d'acqua, dell'apparecchio A , in cui si produce il riscaldamento di detta aria, di una piccola caldaia a vapore, e del contatore B .

Fra l'apparecchio A ed il contatore si trova un piccolo recipiente di condensazione del vapore d'acqua, che esce da quell'apparecchio coll'aria.

L'apparecchio A è costituito da un tubo di ottone interno percorso dall'aria da scaldarsi, circondato da un altro tubo di ottone coassiale esterno in cui circola il vapore riscaldante. Il tubo interno porta a ciascuna delle due estremità

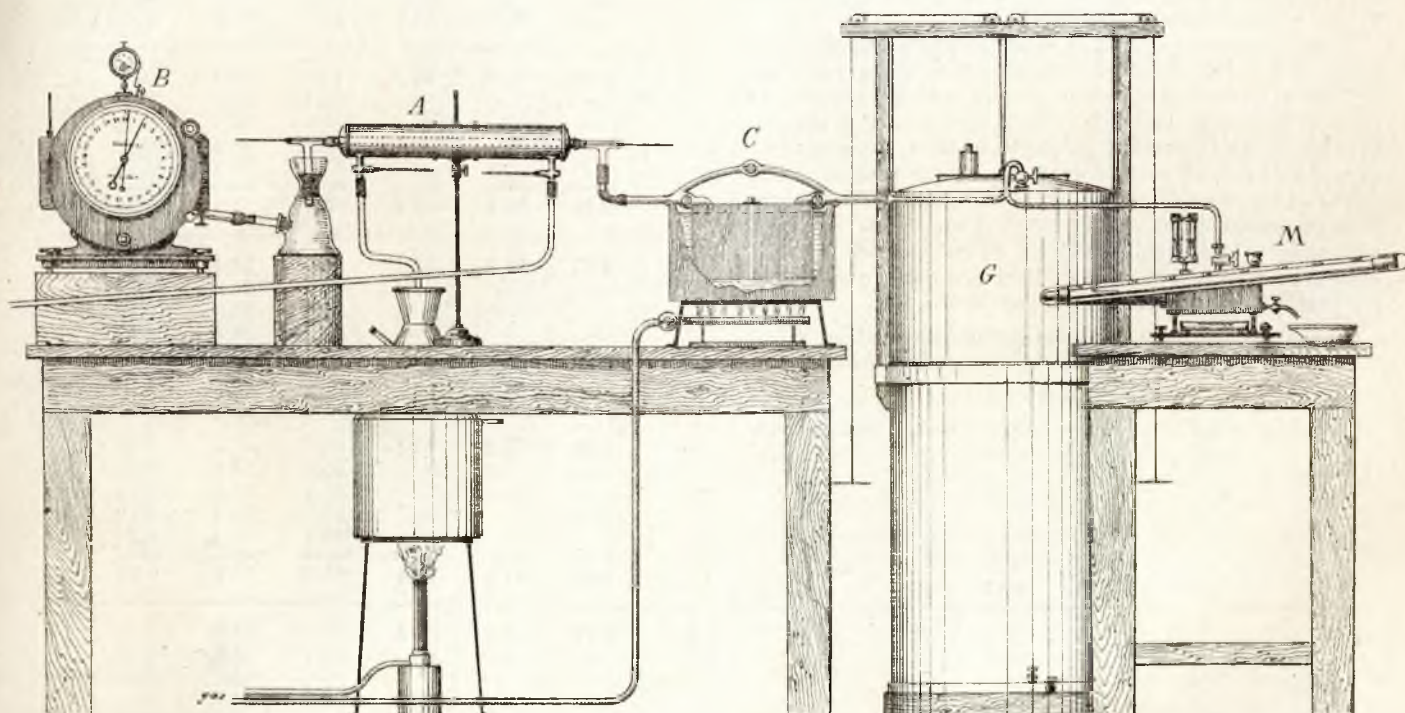


Fig. 39.

un tubo di vetro a T dello stesso diametro interno. Entro a questo tubo di vetro sono fissati i due termometri, che servono a misurare la temperatura all'entrata ed all'uscita dell'aria; sono due termometri a piccolo bulbo, verificati. Il manicotto esterno porta inferiormente due tubetti a croce alle due estremità, i quali servono per la entrata e per lo scarico del vapore riscaldante; nel ramo orizzontale di ciascuno di questi tubi a croce è disposto il bulbo di un termometro che serve a misurare la temperatura d'entrata e quella di uscita del vapore. Anche questi termometri furono verificati. Tra la cassetta metallica in cui avviene la saturazione dell'aria ed uno dei tubi a T di vetro havvi un tubo di raccordo. Tanto il manicotto come questi diversi tubi sono avvolti in una spessa ovatta in modo da impedire i disperdimenti di calore.

Con tutto ciò la temperatura dell'acqua era sempre alquanto superiore a quella dell'aria all'entrata nel tubo riscaldante, ma si aveva la prova che questa era satura di vapore, perchè sulle pareti interne del tubo di vetro, quantunque circondato di ovatta, si aveva uno strato di rugiada.

Quando si voleva operare coll'aria secca si sostituiva alla cassetta dell'acqua una serie di grossi tubi ripieni di cloruro di calcio.

Il contatore è un buon contatore, costruito dalla casa Brunt, da 25 litri, con scala divisa in decimi di litro, e sulla quale si può leggere bene il ventesimo di litro; esso è stato confrontato con un gasometro a clessidra.

Le determinazioni si facevano nel seguente modo. Quando la circolazione del vapore era stabilita in modo uniforme ed i due termometri del manicotto indicavano una temperatura costante, si faceva passare l'aria nel tubo interno con la velocità voluta, e si incominciava la lettura dei due termometri del tubo interno; quando questi arrivavano ad una temperatura costante si facevano le determinazioni dei volumi, osservando con un orologio a secondi ed a lancetta indipendente il tempo impiegato nell'efflusso di volumi uguali di aria. Nelle tabelle seguenti sono riportate le ultime cinque determinazioni, nelle quali le condizioni vi si mantennero abbastanza costanti, come dimostrano i valori delle temperature e delle velocità. Il valore di α per ciascuna serie è stato dedotto introducendo nella (3) i valori medii delle diverse quantità misurate in queste cinque determinazioni. Le temperature furono debitamente corrette per la colonna sporgente.

I tubi adoperati sono d'ottone, l'uno del diametro di cm. 1.2 e della lunghezza di cm. 49.2, l'altro del diametro di cm. 2.375 e della lunghezza di cm. 67.

Nelle tabelle seguenti T_1 è la temperatura del vapore all'estremità del manicotto corrispondente all'entrata dell'aria, T_2 l'altra, che si conservavano sempre costanti durante una serie di determinazioni, w la velocità dell'aria, t_1 la temperatura dell'aria all'entrata, t_2 all'uscita del tubo, f la tensione del vapore nell'aria all'entrata del tubo, α il coefficiente cercato.

Per la tensione di vapore ho assunto per tutte le cinque determinazioni di una stessa serie il valore corrispondente alla temperatura media dell'aria all'entrata nel tubo. Nel caso delle misure alla temperatura ordinaria quella corrispondente alla temperatura del gazometro.

Determinazioni fatte con tubo del diametro di m. 0.012 e della lunghezza di m. 0.492.

Aria secca.

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	α
I	0	99.4	99.6	23.7	87.0	0.11	
	—	—	—	23.7	87.1	0.11	
	—	—	—	23.7	87.1	0.12	
	—	—	—	23.7	87.0	0.12	
	—	—	—	23.7	87.0	0.11	
	—	—	—	—	—	—	
	0	99.4	99.6	23.7	87.0	0.11	0.35
II	0	99.3	99.5	22.8	88.7	0.19	
	—	—	—	22.8	88.8	0.18	
	—	—	—	22.8	88.9	0.19	
	—	—	—	22.7	88.9	0.18	
	—	—	—	22.7	89.0	0.19	
	—	—	—	—	—	—	
	0	99.3	99.5	22.8	88.9	0.19	0.61

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	α
III	0	99.4	99.6	22.7	92.2	0.30	
	—	—	—	22.7	92.3	0.30	
	—	—	—	22.7	92.4	0.32	
	—	—	—	22.6	92.4	0.30	
	—	—	—	22.6	92.5	0.30	
	—	—	—	—	—	—	
	0	99.4	99.6	22.7	92.4	0.30	1.18

IV	0	99.4	99.6	22.7	92.9	0.40	
	—	—	—	22.7	92.9	0.39	
	—	—	—	22.6	92.9	0.41	
	—	—	—	22.6	93.0	0.39	
	—	—	—	22.6	93.0	0.40	
	—	—	—	—	—	—	
	0	99.4	99.6	22.6	92.9	0.40	1.61

V	0	99.2	99.5	25.1	93.8	0.45	
	—	—	—	25.1	93.8	0.46	
	—	—	—	25.1	93.8	0.46	
	—	—	—	25.1	93.8	0.44	
	—	—	—	25.1	93.8	0.45	
	—	—	—	—	—	—	
	0	99.2	99.5	25.1	93.8	0.45	1.95

Aria mescolata a vapore.

VI	2.40	98.9	99.2	27.4	91.1	0.18	
	—	—	—	27.4	91.1	0.18	
	—	—	—	27.5	91.1	0.18	
	—	—	—	27.5	91.1	0.18	
	—	—	—	27.5	91.1	0.18	
	—	—	—	—	—	—	
	2.40	98.9	99.2	27.5	91.1	0.18	0.65

VII	2.40	98.9	99.2	27.1	93.0	0.23	
	—	—	—	27.1	92.9	0.24	
	—	—	—	27.1	93.0	0.23	
	—	—	—	27.1	93.0	0.23	
	—	—	—	27.1	93.0	0.23	
	—	—	—	—	—	—	
	2.40	98.9	99.2	27.1	93.0	0.23	0.94

VIII	2.40	98.9	99.2	25.8	95.1	0.38	
	—	—	—	25.9	95.1	0.38	
	—	—	—	25.9	95.1	0.38	
	—	—	—	25.9	95.1	0.38	
	—	—	—	25.9	95.1	0.38	
	—	—	—	—	—	—	
	2.40	98.9	99.2	25.9	95.1	0.38	1.795

IX	2.40	98.9	99.2	25.3	94.9	0.51	
	—	—	—	25.3	94.9	0.52	
	—	—	—	25.3	94.9	0.51	
	—	—	—	25.3	94.9	0.51	
	—	—	—	25.3	94.9	0.52	
	—	—	—	—	—	—	
	2.40	98.9	99.2	25.3	94.9	0.51	2.39

X	4.33	99.2	99.4	35.5	94.1	0.17	
	—	—	—	35.5	94.2	0.17	
	—	—	—	35.6	94.3	0.17	
	—	—	—	35.6	94.4	0.18	
	—	—	—	35.6	94.4	0.17	
	—	—	—	—	—	—	
	4.33	99.2	99.4	35.6	94.3	0.17	0.73

XI	4.33	99.2	99.4	35.6	95.4	0.23	
	—	—	—	35.6	95.4	0.23	
	—	—	—	35.6	95.4	0.23	
	—	—	—	35.7	95.4	0.23	
	—	—	—	35.7	95.4	0.22	
	—	—	—	—	—	—	
	4.33	99.2	99.4	35.6	95.4	0.23	1.04

XII	4.47	99.2	99.4	36.1	95.5	0.37	
	—	—	—	36.1	95.5	0.34	
	—	—	—	36.2	95.5	0.37	
	—	—	—	36.2	95.5	0.39	
	—	—	—	36.2	95.5	0.35	
	—	—	—	—	—	—	
	4.47	99.2	99.4	36.2	95.5	0.36	1.70

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a	Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a
XIII	4.52	99.2	99.4	36.4	93.9	0.46		XXIII	18.20	99.4	99.6	64.5	96.6	0.20	
	—	—	—	36.4	93.9	0.46			—	—	—	64.4	96.6	0.20	
	—	—	—	36.4	93.9	0.46			—	—	—	64.4	96.6	0.22	
	—	—	—	36.4	93.9	0.48			—	—	—	64.4	96.6	0.20	
	—	—	—	36.4	93.9	0.48			—	—	—	64.4	96.6	0.19	
	4.52	99.2	99.4	36.4	93.9	0.47	1.89		18.20	99.4	99.6	64.4	96.6	0.20	0.87
XIV	6.89	99.4	99.6	44.5	94.5	0.17		XXIV	19.29	99.4	99.6	65.6	96.5	0.35	
	—	—	—	44.6	94.4	0.16			—	—	—	65.7	96.5	0.36	
	—	—	—	44.6	94.3	0.15			—	—	—	65.8	96.5	0.36	
	—	—	—	44.5	94.3	0.15			—	—	—	65.8	96.5	0.35	
	—	—	—	44.5	94.5	0.17			—	—	—	65.8	96.5	0.36	
	6.89	99.4	99.6	44.5	94.4	0.16	0.63		19.29	99.4	99.6	65.7	96.5	0.36	1.52
XV	7.25	99.4	99.6	45.2	95.6	0.22		XXV	19.55	99.3	99.5	66.0	95.6	0.47	
	—	—	—	45.3	95.6	0.21			—	—	—	66.0	95.6	0.46	
	—	—	—	45.4	95.6	0.21			—	—	—	66.0	95.7	0.46	
	—	—	—	45.4	95.6	0.21			—	—	—	66.0	95.7	0.46	
	—	—	—	45.4	95.6	0.20			—	—	—	66.0	95.7	0.47	
	7.25	99.4	99.6	45.4	95.6	0.21	0.93		19.55	99.3	99.5	66.0	95.7	0.46	1.75
XVI	7.44	99.4	99.6	45.7	96.1	0.36		XXVI	32.82	99.3	99.5	78.1	96.6	0.17	
	—	—	—	45.8	96.1	0.35			—	—	—	78.2	96.6	0.17	
	—	—	—	45.9	96.1	0.38			—	—	—	78.2	96.6	0.16	
	—	—	—	45.9	96.1	0.36			—	—	—	78.1	96.6	0.16	
	—	—	—	45.9	96.1	0.36			—	—	—	78.0	96.6	0.17	
	7.44	99.4	99.6	45.8	96.1	0.36	1.67		32.82	99.3	99.5	78.1	96.6	0.17	0.605
XVII	7.33	99.4	99.6	45.5	95.2	0.48		XXVII	33.64	99.3	99.5	78.7	96.9	0.21	
	—	—	—	45.5	95.3	0.48			—	—	—	78.7	96.9	0.21	
	—	—	—	45.5	95.4	0.46			—	—	—	78.7	96.9	0.21	
	—	—	—	45.5	95.4	0.48			—	—	—	78.7	96.9	0.21	
	—	—	—	45.5	95.3	0.45			—	—	—	78.7	96.9	0.21	
	7.33	99.4	99.6	45.5	95.3	0.47	2.00		33.64	99.3	99.5	78.7	96.9	0.21	0.77
XVIII	10.87	99.4	99.6	53.3	95.6	0.18		XXVIII	31.89	99.3	99.5	77.5	96.6	0.35	
	—	—	—	53.4	95.6	0.16			—	—	—	77.5	96.6	0.35	
	—	—	—	53.4	95.6	0.18			—	—	—	77.4	96.6	0.33	
	—	—	—	53.4	95.6	0.18			—	—	—	77.4	96.7	0.33	
	—	—	—	53.4	95.6	0.17			—	—	—	77.3	96.7	0.33	
	10.87	99.4	99.6	53.4	95.6	0.17	0.74		31.89	99.3	99.5	77.4	96.6	0.34	1.32
XIX	11.14	99.3	99.5	54.8	96.3	0.23		XXIX	31.23	99.4	99.6	76.8	96.3	0.44	
	—	—	—	54.8	96.3	0.21			—	—	—	76.9	96.3	0.43	
	—	—	—	54.9	96.2	0.21			—	—	—	77.0	96.3	0.42	
	—	—	—	54.9	96.2	0.21			—	—	—	77.0	96.3	0.43	
	—	—	—	54.9	96.2	0.21			—	—	—	76.9	96.4	0.43	
	11.14	99.3	99.5	54.9	96.2	0.21	0.91		31.23	99.4	99.6	76.9	96.3	0.43	1.51
XX	12.86	99.3	99.5	56.8	96.4	0.38		XXX	43.81	99.4	99.6	85.3	96.8	0.16	
	—	—	—	56.9	96.4	0.35			—	—	—	85.4	96.8	0.16	
	—	—	—	56.9	96.4	0.36			—	—	—	85.4	96.9	0.16	
	—	—	—	56.9	96.4	0.35			—	—	—	85.2	96.8	0.14	
	—	—	—	56.9	96.4	0.35			—	—	—	85.3	96.8	0.15	
	12.86	99.3	99.5	56.9	96.4	0.35	1.63		43.81	99.4	99.6	85.3	96.8	0.15	0.46
XXI	12.80	99.3	99.5	56.9	95.6	0.47		XXXI	43.81	99.4	99.6	85.4	96.9	0.19	
	—	—	—	56.9	95.6	0.47			—	—	—	85.4	96.9	0.20	
	—	—	—	56.9	95.6	0.47			—	—	—	85.4	96.9	0.20	
	—	—	—	56.8	95.7	0.47			—	—	—	85.2	96.9	0.19	
	—	—	—	56.8	95.7	0.47			—	—	—	85.2	96.9	0.18	
	12.80	99.3	99.5	56.9	95.6	0.47	1.91		43.81	99.4	99.6	85.3	96.9	0.19	0.58
XXII	18.36	99.4	99.6	64.5	96.1	0.16		XXXII	43.00	99.4	99.6	84.7	96.1	0.31	
	—	—	—	64.7	96.2	0.16			—	—	—	84.8	96.2	0.32	
	—	—	—	64.7	96.2	0.17			—	—	—	84.8	96.2	0.31	
	—	—	—	64.7	96.2	0.16			—	—	—	84.8	96.2	0.31	
	—	—	—	64.6	96.1	0.15			—	—	—	84.8	96.2	0.32	
	18.36	99.4	99.6	64.6	96.2	0.16	0.65		43.00	99.4	99.6	84.8	96.2	0.31	0.875

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	α
xxxiii	39.03	99.4	99.6	83.6	95.3	0.42	
—	—	—	—	83.6	95.3	0.40	
—	—	—	—	83.6	95.3	0.41	
—	—	—	—	83.6	95.3	0.40	
—	—	—	—	83.6	95.3	0.42	
	39.03	99.4	99.6	83.6	95.3	0.41	0.98

Se si costruiscono graficamente questi valori per gruppi di serie, nelle quali si ebbe presso a poco la stessa tensione di vapore, portando sull'asse delle ascisse la velocità, e su quello delle ordinate i coefficienti, la linea che si ottiene per l'aria secca si può considerare come una linea retta, mentre per l'aria umida alle diverse saturazioni solo i primi tre punti stanno sopra una linea retta, il quarto non più, risultando troppo basso, e l'abbassamento relativo di tale punto cresce

col crescere della quantità di vapore contenuta (per l'aria satura alle temperature ordinarie è appena sensibile); cosicchè, mentre per le saturazioni comprese entro certi limiti i coefficienti per tutte le velocità sono superiori a quelli dell'aria secca, oltrepassato un certo limite diventano minori. Valendomi dei diagrammi così ottenuti ho dedotti i coefficienti corrispondenti alle diverse velocità da m. 0,15 a 0,50 di 5 in 5 centimetri, e alle diverse tensioni di vapore medie per ogni gruppo di serie di determinazioni, ed ho formato la tabella seguente, nella quale sotto ciascun valore delle tensioni di vapore è scritta la quantità in peso di vapore corrispondente calcolata mediante le note relazioni fondate sull'applicazione dei principii di termodinamica, non essendo per tensioni inferiori a 1/2 atmosfera applicabili nè la formula di Fairbairn e Tate, nè quella di Zeuner.

w	$f=0$	$f=2.4$ $p=22.7$	$f=4.4$ $p=39.7$	$f=7.2$ $p=65.0$	$f=11.9$ $p=104.2$	$f=18.7$ $p=161.6$	$f=32.8$ $p=274.9$	$f=42.8$ $p=353.5$
0.15	0.48	—	—	—	—	—	—	0.46
0.20	0.66	0.77	0.88	0.87	0.87	0.86	0.73	0.60
0.25	0.92	1.05	1.14	1.13	1.11	1.07	0.94	0.72
0.30	1.18	1.33	1.39	1.38	1.36	1.30	1.14	0.85
0.35	1.39	1.62	1.65	1.63	1.62	1.50	1.33*	—
0.40	1.61	—	—	—	—	—	—	—
0.45	1.95	—	—	—	—	—	—	—

* Valore dedotto per estrapolazione.

TUBO DEL DIAMETRO DI CM. 1.2.

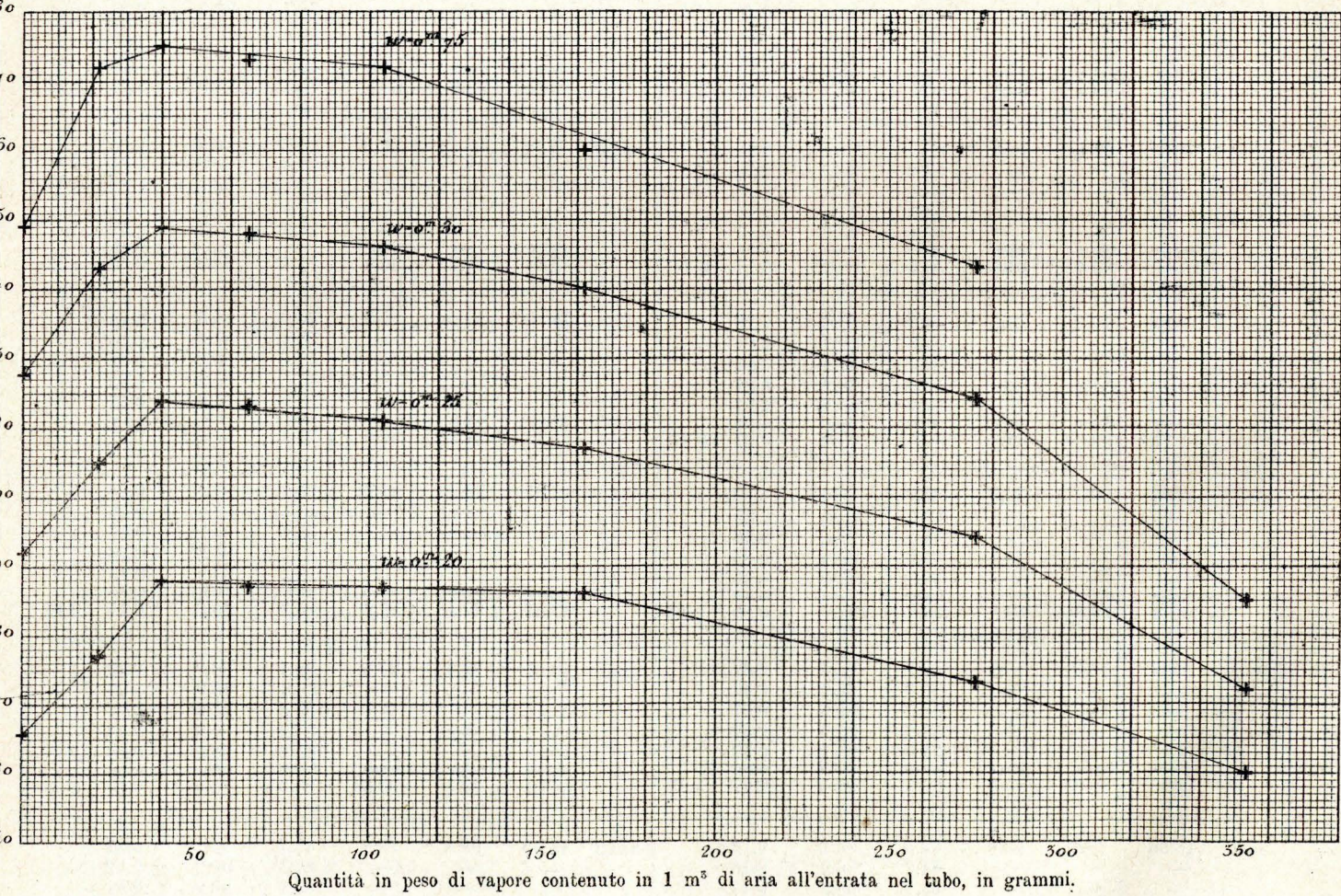


Fig. 40.

Ho costruito quindi questi valori graficamente, portando sull'asse delle ascisse le quantità di vapore contenute in un m³ d'aria all'entrata nel tubo e su quello delle ordinate i coefficienti. Ne risultarono i diagrammi qui uniti (fig. 40). Da essi noi vediamo che quantunque non si possa rappresentare con una sola linea caratteristica l'andamento della variazione dei coefficienti al variare della quantità di vapore contenuta inizialmente nell'aria che veniva messa in movimento, tuttavia i diagrammi ottenuti per le diverse velocità presentano un certo andamento comune. Vediamo che il coefficiente aumenta rapidamente per piccole quantità di vapore mescolate all'aria, e tanto più rapidamente quanto maggiore è la velocità. Raggiunta la saturazione corrispondente alla tensione di cm. 4.4, la variazione del coefficiente si fa piccolissima, finché si arriva alla tensione 11.9 (e per la velocità 0.20 fino a $f=18.7$); oltrepassato questo limite il coefficiente diminuisce tanto più rapidamente quanto maggiore è la velocità.

In secondo luogo risulta pure che il coefficiente che si calcola dalle formule del Péclel non vale per il caso dell'aria in movimento, come già trovarono il Grassi ed il Ser. Diffatti per un tubo del diametro di m. 0.012 si calcolerebbe dalla formula $a = 2.058 + \frac{0.0382}{R}$ per i tubi cilindrici orizzontali il valore 8.36, molto diverso dai trovati. Mentre i valori da me ottenuti si accordano sufficientemente bene con quelli trovati dal Ser, quando si tenga conto della differenza di diametro del tubo e di velocità.

Citerò ora delle determinazioni fatte per verificare se il coefficiente a vari colla temperatura, operando in modo diverso da quello usato dal Ser, il quale trovò che detto coefficiente è costante per eccessi di temperatura abbastanza diversi.

Adoperai perciò lo stesso apparecchio, introducendo nel tubo, del diametro di cm. 1.2, dell'aria preventivamente scaldata con un altro apparecchio riscaldante analogo a quello descritto, avendo in luogo della cassetta coll'acqua disposto un tubo d'ottone con manicotto, che veniva scaldato colla stessa corrente di vapore che serviva per l'apparecchio principale.

L'aria adoperata era satura di vapore a 15°.

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a
XXXIII	1.29	99.3	99.6	37.9	94.4	0.35	
—	—	—	—	37.9	94.4	0.35	
—	—	—	—	37.9	94.4	0.35	
—	—	—	—	37.9	94.4	0.35	
—	—	—	—	37.9	94.4	0.35	
	1.29	99.3	99.6	37.9	94.4	0.35	1.52

Ora, se mediante la tabella dei valori sopra riportata si calcola per interpolazione quale è il coefficiente che per la velocità di m. 0.35 corrisponde alla tensione 1.3, si trova il valore 1.52. Quando anche si voglia considerare come fortuita una tale coincidenza, tuttavia essa dimostra che realmente non si ha una differenza sensibile nel coefficiente considerato per i due intervalli di temperatura compresi fra 20 e 100 l'uno, fra 40 e 100 l'altro; quindi si può ammettere senz'altro che nei limiti di temperatura delle esperienze del Ser e delle mie il detto coefficiente per l'aria non varia.

Esporrò ora delle determinazioni fatte con un tubo di diametro doppio del precedente, cioè di cm. 2.375. Esse sono state fatte nello stesso modo, applicando alle due estremità di tal tubo due tubi di vetro a T, di cui il ramo orizzontale ha lo stesso diametro del tubo.

Determinazioni fatte con tubo del diametro di m. 0,02375 e della lunghezza di m. 0,67.

Aria secca.							
Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a
XXXIV	0	99.4	99.6	25.7	94.0	0.047	
—	—	—	—	25.7	94.1	0.051	
—	—	—	—	25.7	94.2	0.049	
—	—	—	—	25.5	94.1	0.046	
—	—	—	—	25.5	94.2	0.043	
	0	99.4	99.6	25.6	94.1	0.047	0.30

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a
XXXV	0	99.4	99.6	25.2	95.3	0.080	
—	—	—	—	25.2	95.4	0.077	
—	—	—	—	25.0	95.5	0.081	
—	—	—	—	25.0	95.5	0.079	
—	—	—	—	25.0	95.5	0.075	
	0	99.4	99.6	25.1	95.4	0.078	0.53

XXXVI	0	99.3	99.5	25.0	95.7	0.105	
—	—	—	—	25.0	95.7	0.102	
—	—	—	—	24.9	95.7	0.102	
—	—	—	—	24.9	95.7	0.102	
—	—	—	—	24.8	95.7	0.105	
	0	99.3	99.5	24.9	95.7	0.103	0.76

Aria mista a vapore.

XXXVII	2.15	99.3	99.5	24.8	94.7	0.052	
—	—	—	—	24.7	94.7	0.054	
—	—	—	—	24.7	94.7	0.054	
—	—	—	—	24.7	94.7	0.056	
—	—	—	—	24.6	94.8	0.058	
	2.15	99.3	99.5	24.7	94.7	0.055	0.36

XXXVIII	2.15	99.3	99.5	23.9	95.8	0.083	
—	—	—	—	23.8	95.9	0.086	
—	—	—	—	23.8	95.9	0.090	
—	—	—	—	23.7	95.9	0.085	
—	—	—	—	23.7	95.9	0.086	
	2.15	99.3	99.5	23.8	95.9	0.086	0.64

XXXIX	2.15	99.3	99.5	23.6	96.1	0.11	
—	—	—	—	23.6	96.2	0.11	
—	—	—	—	23.5	96.2	0.11	
—	—	—	—	23.5	96.2	0.11	
—	—	—	—	23.5	96.2	0.11	
	2.15	99.3	99.5	23.5	96.2	0.11	0.86

XL	3.74	99.3	99.5	32.8	94.8	0.051	
—	—	—	—	32.9	94.8	0.054	
—	—	—	—	33.0	94.8	0.051	
—	—	—	—	33.1	94.9	0.051	
—	—	—	—	33.1	95.0	0.048	
	3.74	99.3	99.5	33.0	94.9	0.051	0.32

XLI	4.11	99.3	99.5	34.8	95.5	0.067	
—	—	—	—	34.8	95.6	0.069	
—	—	—	—	34.6	95.7	0.065	
—	—	—	—	34.6	95.6	0.065	
—	—	—	—	34.6	95.7	0.067	
	4.11	99.3	99.5	34.7	95.6	0.067	0.46

XLII	4.09	99.3	99.5	34.6	95.7	0.094	
—	—	—	—	34.6	95.8	0.090	
—	—	—	—	34.6	95.8	0.096	
—	—	—	—	34.6	95.9	0.096	
—	—	—	—	34.6	95.9	0.092	
	4.09	99.3	99.5	34.6	95.8	0.094	0.66

XLIII	5.04	99.3	99.5	38.4	92.8	0.028	
—	—	—	—	38.3	92.8	0.030	
—	—	—	—	38.4	92.8	0.030	
—	—	—	—	38.4	93.0	0.029	
—	—	—	—	38.4	93.1	0.030	
	5.04	99.3	99.5	38.4	92.9	0.029	0.15

XLIV	5.64	99.3	99.5	40.4	95.5	0.058	
—	—	—	—	40.5	95.6	0.058	
—	—	—	—	40.5	95.6	0.055	
—	—	—	—	40.5	95.6	0.060	
—	—	—	—	40.5	95.6	0.059	
	5.64	99.3	99.5	40.5	95.6	0.058	0.39

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a
XLV	6.04	99.3	99.5	41.7	96.1	0.103	
	—	—	—	41.8	96.2	0.103	
	—	—	—	41.9	96.2	0.103	
	—	—	—	41.9	96.3	0.101	
	—	—	—	42.0	96.3	0.101	
	6.04	99.3	99.5	41.8	96.2	0.102	0.695
XLVI	9.14	99.3	99.5	49.9	94.5	0.031	
	—	—	—	49.9	94.5	0.031	
	—	—	—	49.9	94.5	0.031	
	—	—	—	49.9	94.5	0.033	
	—	—	—	49.9	94.5	0.030	
	9.14	99.3	99.5	49.9	94.5	0.032	0.20
XLVII	10.66	99.3	99.5	53.0	96.2	0.071	
	—	—	—	53.0	96.2	0.073	
	—	—	—	53.0	96.2	0.073	
	—	—	—	53.0	96.3	0.074	
	—	—	—	53.0	96.3	0.074	
	10.66	99.3	99.5	53.0	96.2	0.073	0.47
XLVIII	11.19	99.3	99.5	54.0	96.3	0.107	
	—	—	—	54.0	96.4	0.100	
	—	—	—	54.0	96.5	0.105	
	—	—	—	54.1	96.5	0.107	
	—	—	—	54.1	96.6	0.102	
	11.19	99.3	99.5	54.0	96.5	0.104	0.71
XLIX	14.01	99.3	99.5	58.6	96.4	0.043	
	—	—	—	58.7	96.3	0.043	
	—	—	—	58.7	96.5	0.044	
	—	—	—	58.7	96.5	0.044	
	—	—	—	58.7	96.5	0.044	
	14.01	99.3	99.5	58.7	96.4	0.044	0.28
L	13.43	99.3	99.5	57.6	95.5	0.056	
	—	—	—	57.7	95.7	0.052	
	—	—	—	57.8	95.7	0.056	
	—	—	—	57.9	95.7	0.056	
	—	—	—	57.9	95.7	0.053	
	13.43	99.3	99.5	57.8	95.7	0.055	0.32
LI	14.01	99.3	99.5	58.6	96.3	0.116	
	—	—	—	58.7	96.3	0.116	
	—	—	—	58.7	96.3	0.116	
	—	—	—	58.7	96.5	0.116	
	—	—	—	58.7	96.5	0.116	
	14.01	99.3	99.5	58.7	96.4	0.116	0.74

Serie	f	T_1	T_2	t_1	t_2	w	a
LII	24.98	99.3	99.5	71.5	96.1	0.058	
	—	—	—	71.5	96.2	0.053	
	—	—	—	71.6	96.2	0.055	
	—	—	—	71.6	96.3	0.059	
	—	—	—	71.6	96.3	0.054	
	24.98	99.3	99.5	71.6	96.2	0.056	0.30
LIII	25.74	99.3	99.5	72.3	96.6	0.090	
	—	—	—	72.3	96.6	0.088	
	—	—	—	72.3	96.7	0.088	
	—	—	—	72.3	96.7	0.085	
	—	—	—	72.3	96.7	0.090	
	25.74	99.3	99.5	72.3	96.7	0.086	0.51
LIV	25.19	99.3	99.5	71.9	96.5	0.116	
	—	—	—	71.9	96.5	0.119	
	—	—	—	71.8	96.5	0.116	
	—	—	—	71.8	96.6	0.113	
	—	—	—	71.7	96.6	0.119	
	25.19	99.3	99.5	71.8	96.5	0.117	0.65
LV	44.85	99.3	99.5	86.1	96.0	0.047	
	—	—	—	86.0	96.1	0.050	
	—	—	—	85.8	96.1	0.049	
	—	—	—	85.9	96.2	0.050	
	—	—	—	85.9	96.2	0.046	
	44.85	99.3	99.5	85.9	96.1	0.048	0.175
LVI	38.39	99.3	99.5	83.9	96.5	0.086	
	—	—	—	83.8	96.6	0.082	
	—	—	—	83.7	96.6	0.088	
	—	—	—	83.8	96.6	0.086	
	—	—	—	83.8	96.6	0.084	
	38.39	99.3	99.5	83.8	96.6	0.085	0.38
LVII	38.75	99.3	99.5	82.3	96.4	0.107	
	—	—	—	82.2	96.4	0.112	
	—	—	—	82.2	96.4	0.115	
	—	—	—	82.2	96.4	0.110	
	—	—	—	82.2	96.4	0.112	
	38.75	99.3	99.5	82.2	96.4	0.113	0.52

Se si costruiscono graficamente questi valori, si trova che i tre punti dati da ciascun gruppo di serie di determinazioni, in cui queste si dividono secondo la quantità di vapore, riescono disposti presso a poco sopra una linea retta. Per mezzo delle linee così ottenute ho dedotto i valori consegnati nella tabella seguente, nella quale, ancora al disotto del valore di ciascuna tensione, si è scritta la corrispondente quantità in peso di vapore contenuto in un m³ d'aria, in grammi.

w	$f=0$	$f=2.15$ $p=20.8$	$f=4.0$ $p=31.6$	$f=5.6$ $p=51.6$	$f=10.3$ $p=91.9$	$f=13.8$ $p=120.8$	$f=25.2$ $p=214.3$	$f=41.6$ $p=341.7$
0.050	0.32	0.32 *	0.32 *	0.32	0.32	0.30	0.27 *	0.19
0.060	0.39	0.40	0.40	0.40	0.39	0.36	0.32	0.24
0.070	0.47	0.49	0.48	0.47	0.45	0.43	0.39	0.30
0.080	0.55	0.58	0.56	0.55	0.53	0.50	0.46	0.35
0.090	0.64	0.66	0.64	0.63	0.60	0.57	0.51	0.40
0.100	0.73	0.76	0.73 *	0.71	0.68	0.64	0.58	0.45

* Valori dedotti per estrapolazione.

Costruendo graficamente questi valori, come si è fatto per quelli ottenuti per il tubo da 1 cm., si ottengono dei diagrammi (fig. 44) che presentano una maggior regolarità. Essi ci fanno vedere che l'aggiunta di piccole quantità di vapore d'acqua all'aria fa aumentare in modo sensibile il coefficiente in questione. Però la differenza fra i due coefficienti ottenuti aumenta col crescere della velocità a cui si riferiscono. Cosicché per velocità di m. 0.050 ed inferiori non si avrebbe variazione sensibile nel detto coefficiente per aggiunta di vapore d'acqua, finché non si raggiunga la saturazione corrispon-

dente alla tensione di cm. 10 circa. Per le velocità superiori il coefficiente va diminuendo col crescere della quantità di vapore a partire dalla tensione alla temperatura ordinaria, e tanto più rapidamente quanto maggiore è la velocità a cui si riferisce il coefficiente. Vediamo poi che anche per velocità molto piccole la formola del Péclet non è applicabile. Difatti per un tubo cilindrico orizzontale del diametro di m. 0.2375 la formola del Péclet darebbe $a=5,276$, valore anch'esso molto superiore a quelli trovati sperimentalmente.

TUBO DEL DIAMETRO DI CM. 2.37.

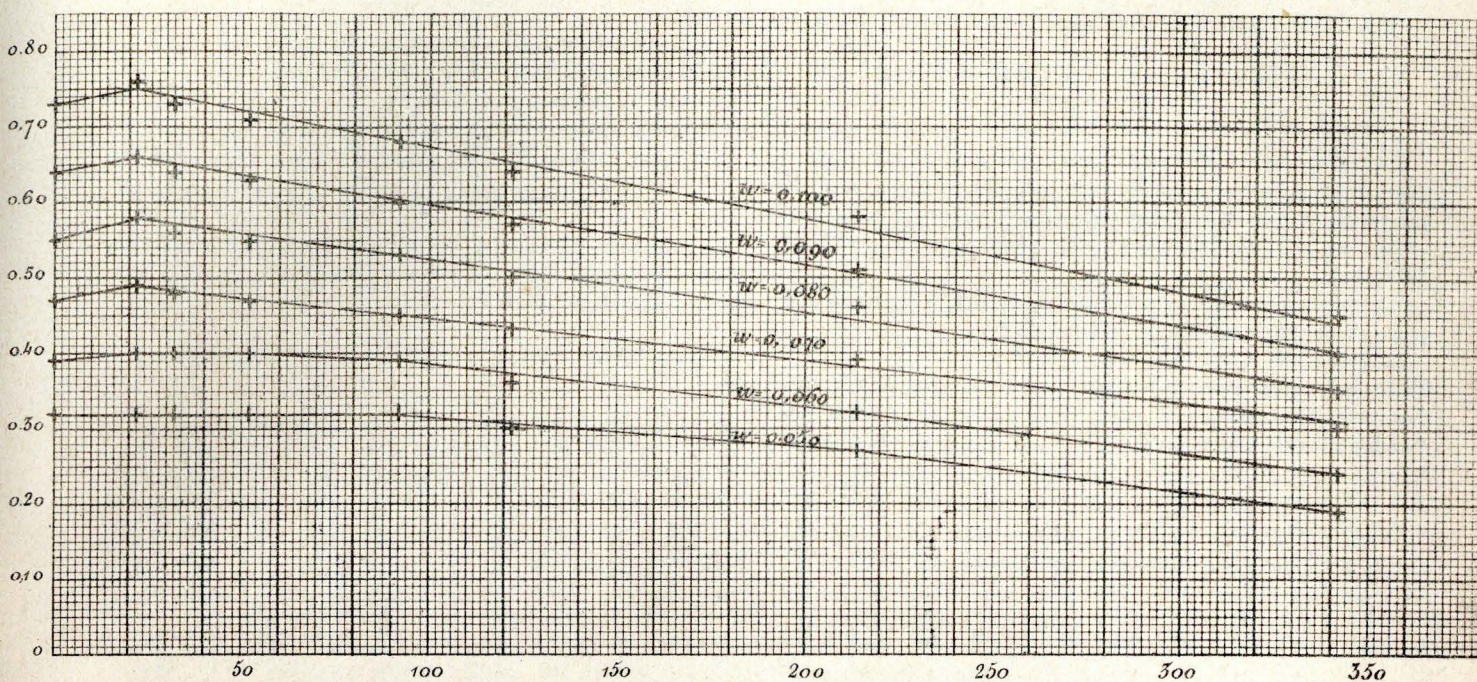
Quantità in peso di vapore contenuto in 1 m³ di aria all'entrata nel tubo, in grammi.

Fig. 41.

Anche dalle mie esperienze risulta che il coefficiente di convezione aumenta colla velocità, e vi si conserva entro i limiti di velocità (0.030 a 0.100) approssimativamente proporzionale.

Conclusioni. — Le conclusioni principali che emergono dai precedenti risultati sono le seguenti:

1° È confermato quanto fu già constatato dal Grassi e dal Ser, che le formole del Péclet relative ai coefficienti di trasmissione per contatto sono solo applicabili nel caso in cui l'aria sia in riposo, ma non nel caso in cui l'aria sia dotata di movimento.

Le mie esperienze completano quelle del Ser, che erano state fatte con velocità superiori a m. 0.25, dimostrando che quanto si è detto sopra vale anche per velocità piccolissime, come le minime delle mie esperienze, m. 0.03.

Le formole del Péclet per velocità superiori ad un certo limite danno dei valori che sono in difetto rispetto agli sperimentali, e per le velocità inferiori a questo limite dei valori in eccesso. Così per un tubo cilindrico orizzontale la formola del Péclet dà valori concordanti cogli sperimentali solo per $w = m. 3.2$ per il diametro di m. 0.01; per $w = m. 0.9$ per $d = m. 0.02$; per $w = m. 0.4$ per $d = 0.03$, e per velocità inferiori a m. 0.25 per $d = m. 0.05$ e così via. Cosicché la formola del Péclet per tubi cilindrici orizzontali, nel caso dell'aria in movimento, servirebbe solo per tubi piuttosto grandi, essendo stata dedotta per il caso di $w = 0$.

Per un tubo di ghisa da calorifero di m. 0.2 di diametro e della lunghezza di m. 2.60, stando ai risultati del Ser, e ammettendo che il coefficiente di trasmissione si conservi proporzionale alla radice quadrata della velocità, anche per piccoli valori di questa, la formola del Péclet darebbe valori concordanti cogli sperimentali per $w = m. 0.02$ e per un eccesso di temperatura di 20° a 25°.

2° Anche dalle mie esperienze risulta che il coefficiente di convezione aumenta colla velocità del movimento. Con un tubo del diametro di 1 cm. per l'aria secca e per l'aria satura alla temperatura ordinaria, si può ritenere che si abbia proporzionalità; per l'aria contenente maggior quantità di vapore la detta proporzionalità si osserva solo per valori della velocità superiori ad un dato limite, e il valore diminuisce col crescere della quantità di vapore contenuto nell'aria.

Per un tubo del diametro di m. 0.02 circa, si può ritenere la detta proporzionalità in tutti i casi per velocità comprese fra m. 0.030 e m. 0.050.

3° Quanto all'influenza della quantità di vapore contenuta nell'aria, si osserva che una piccola quantità di vapore mescolata all'aria ne aumenta tosto il coefficiente di trasmissione e la differenza fra i coefficienti dell'aria secca e dell'aria satura alla temperatura ordinaria è tanto più sensibile quanto maggiore è la velocità.

Per piccole velocità (inferiori a m. 0.08) la variazione del coefficiente colla quantità di vapore è poco sensibile per tensioni di vapore comprese fra 1 e 10 cm. Al di là di un certo limite nella quantità di vapore abbiamo una diminuzione rapida nel coefficiente di convezione. Queste relazioni risultano meglio se si getta uno sguardo sui diagrammi qui uniti.

4° Anche dalle mie esperienze risulta che il coefficiente di convezione aumenta grandemente per uno stesso valore della velocità col diametro del tubo.

Mi propongo di continuare queste esperienze. Intanto mi sembra che già alcuni dei risultati ottenuti possano riuscire interessanti per la pratica.

Laboratorio di Fisica del R. Istituto Tecnico di Torino. 1890.

COSTRUZIONI METALLICHE

IL PONTE SUL GOLFO DI FORTH PRESSO QUEENSFERRY IN ISCOZIA

(CORREZIONI ED AGGIUNTE alla monografia pubblicata
nel fascicolo di giugno)

A complemento dell'articolo « Il ponte sul golfo di Forth presso Queensferry in Iscozia » (pag. 81 e seguenti del n. 6) diamo qui sotto una veduta prospettica del mensolone nord nel momento in cui la montatura stava per ultimarsi; da essa i lettori possono avere un'idea chiara dell'insieme.

Aggiungiamo pure le notizie seguenti a complemento e rettifica di quelle già date nella 2ª colonna della pagina 88.

La spesa totale si ripartisce come segue:

Fondazioni e parte esterna non metallica	L. 20 000 000
Parte metallica	» 43 062 500
Amministrazione, interessi, ecc.	» 9 450 000
Totale	L. 72 512 500

Da cui devesi togliere la somma ricavata dalla vendita di macchine e di altri oggetti che servirono per le installazioni

3 178 750

Resta il costo definitivo del ponte L. 69 333 750

Riporto L. 69 333 750

Per avere un'idea precisa dei sacrifici fatti dalle Società unite in consorzio per la costruzione del ponte, si devono ancora tener presenti le somme seguenti:

a) Spesa fatta pel ponte sospeso secondo il progetto di Tommaso Bouch, che fu poi abbandonato per sostituirvi quello eseguito di Baker	» 6 250 000
b) Linea d'accesso sud da Dalmeny al ponte	» 500 000
c) Linea d'accesso da Inverkeithing al ponte	» 2 666 250

Totale definitivo L. 78 750 000

La costruzione del ponte obbligò le Società consorziali a modificare alcune delle loro linee di accesso ed a costruirne altre, con una spesa complessiva di L. 19 550 000.

Si prega inoltre il cortese lettore di apportare le seguenti rettificazioni:

Pag. 85, col. 1ª, linea 19, invece di: fig. 12 leggasi: fig. 7	
» » » » » 2 (dal basso): fig. 2 » fig. 1	
» 86 » 2ª » 52, invece di: fig. 12 » fig. 11	
» » » » » 59 » fig. 13 » fig. 12	
» 88 » 2ª » 32 » Sukkew » Sukkur	
Tavola VII, figura 10 » longitudinale » trasversale	
» » » 11 » trasversale » longitudinale	

G. CRUGNOLA.

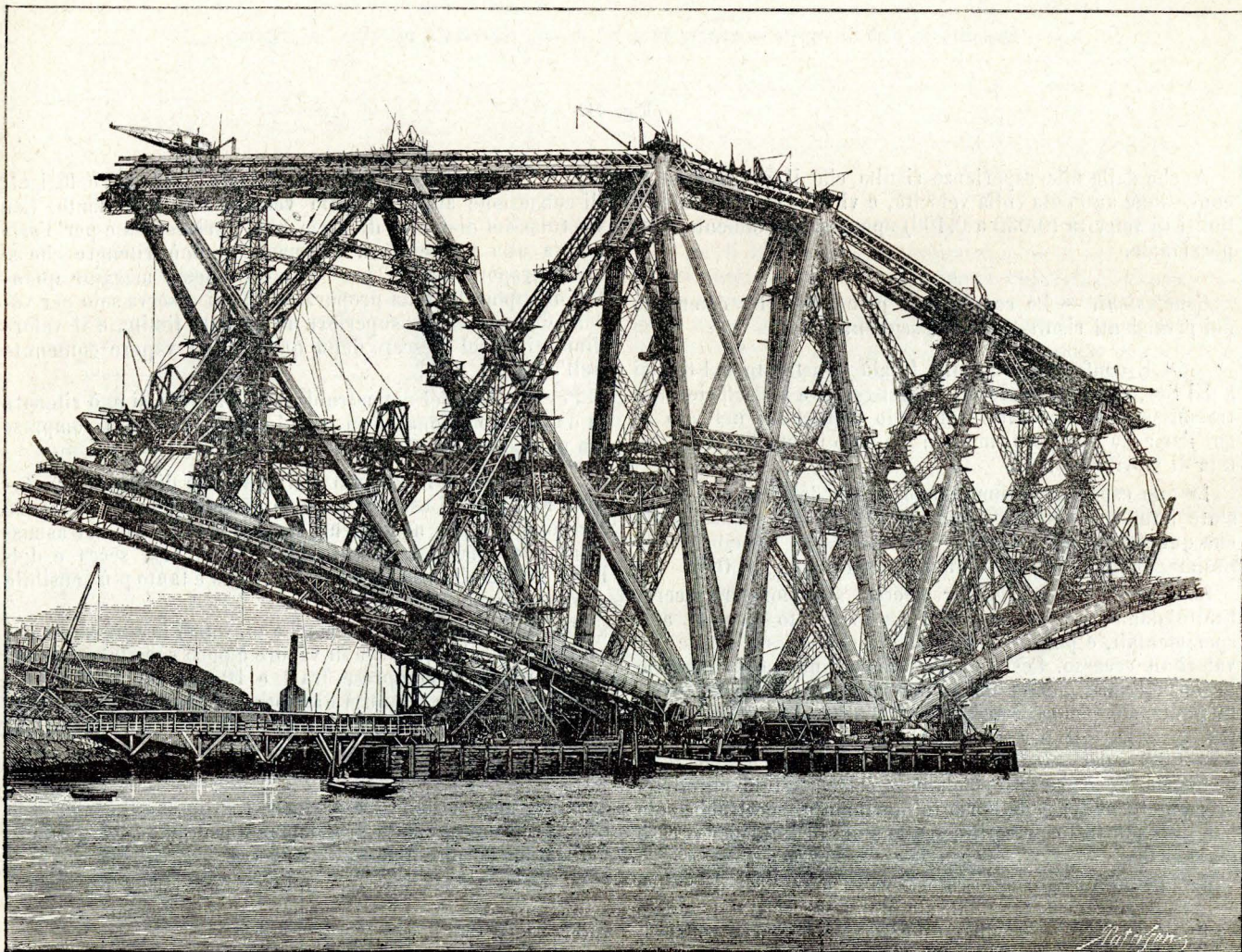


Fig. 41 bis. — Ponte sul golfo di Forth. — Veduta prospettica del mensolone nord.

Fig. 1. — Planimetria indicante il percorso della condotta di cemento fra le sorgenti presso Castel Franco Emilia ed il serbatoio di Città al Montagnone.

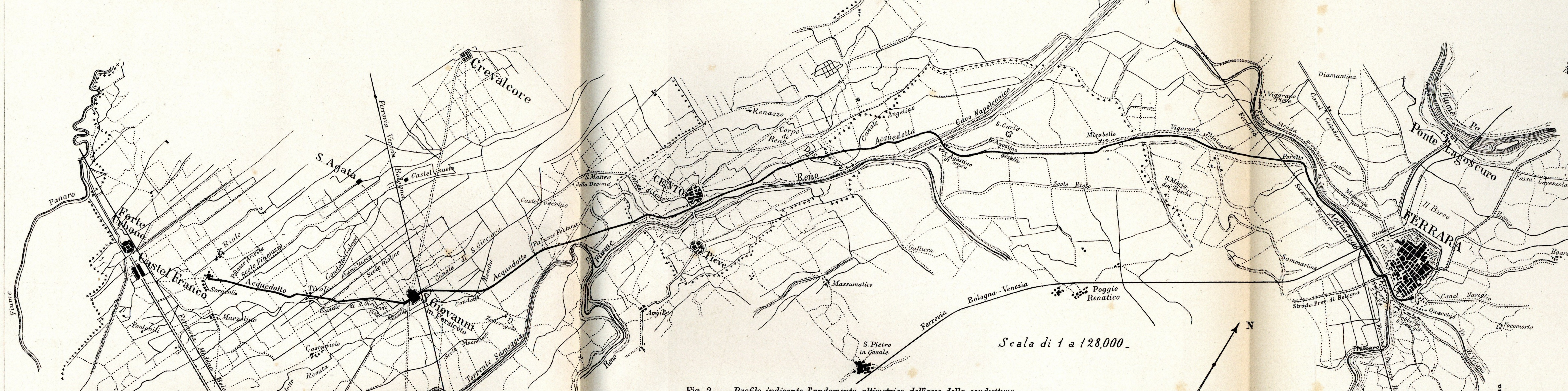


Fig. 2. — Profilo indicante l'andamento altimetrico dell'asse della condotta.

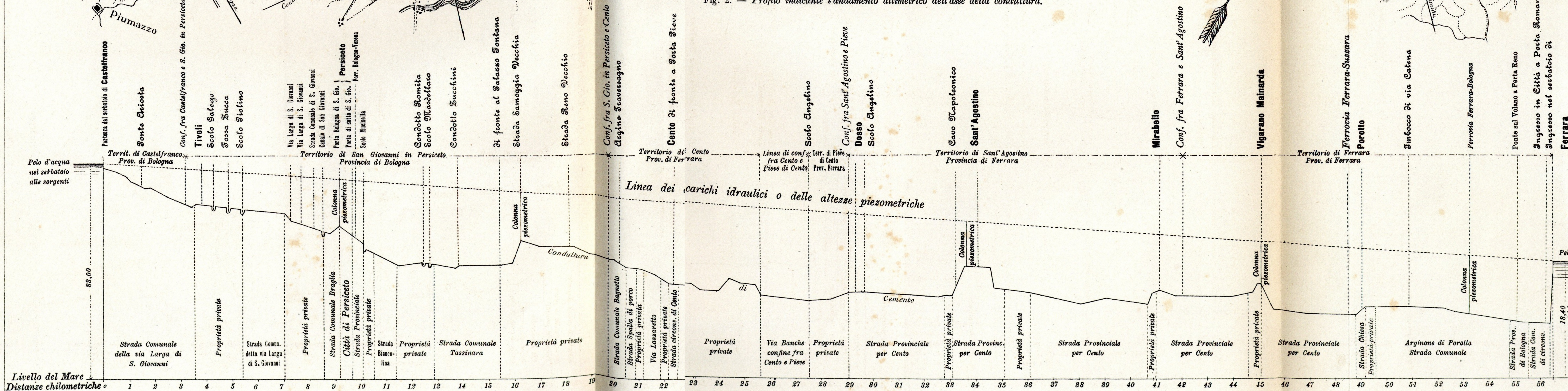
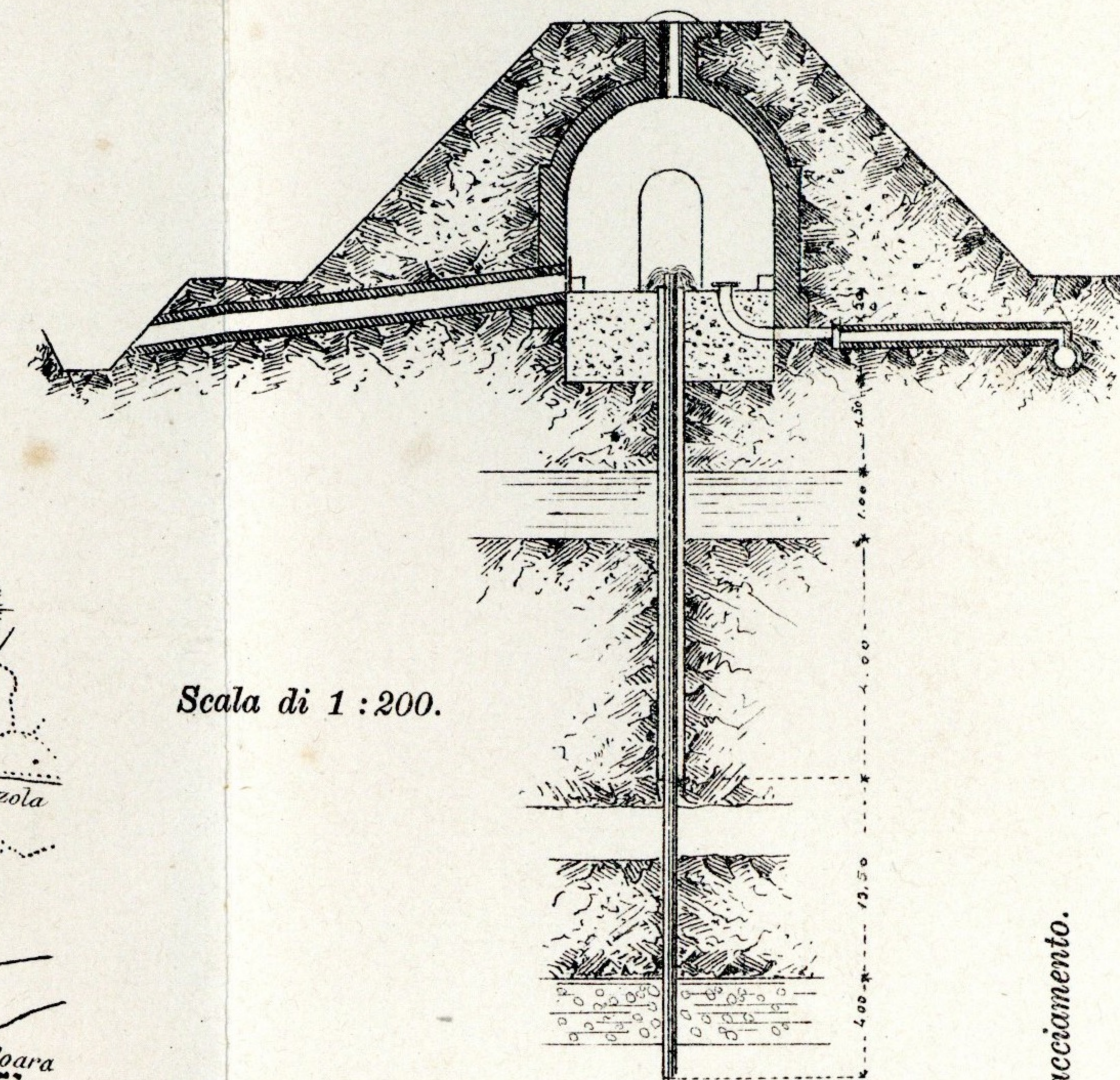


Fig. 3 e 4. — Sezione di uno dei sette pozzi artesiani di alimentazione.



Scala di 1:200.

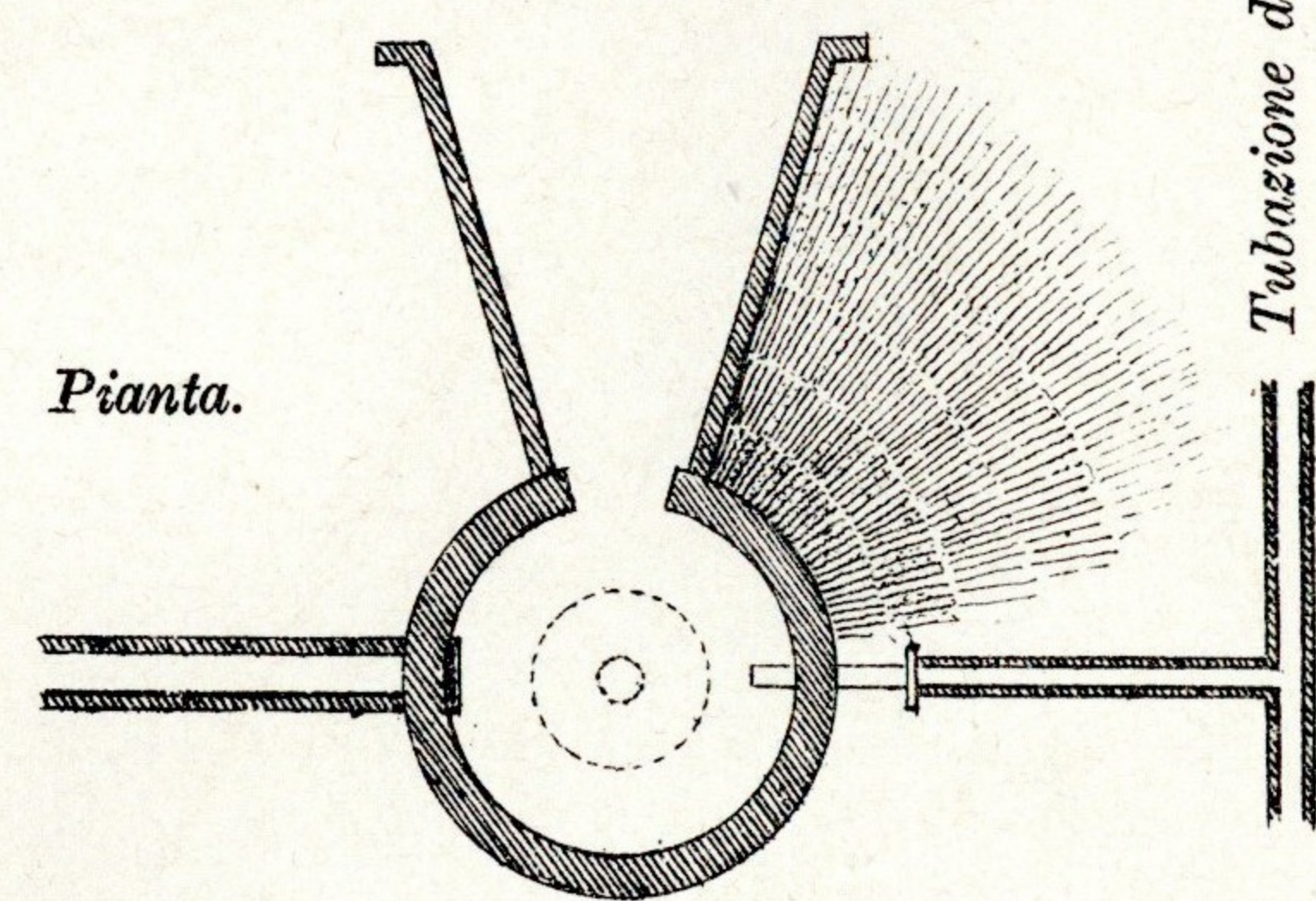


Fig. 5, 6 e 7. — Sezioni normali della tubatura di cemento.

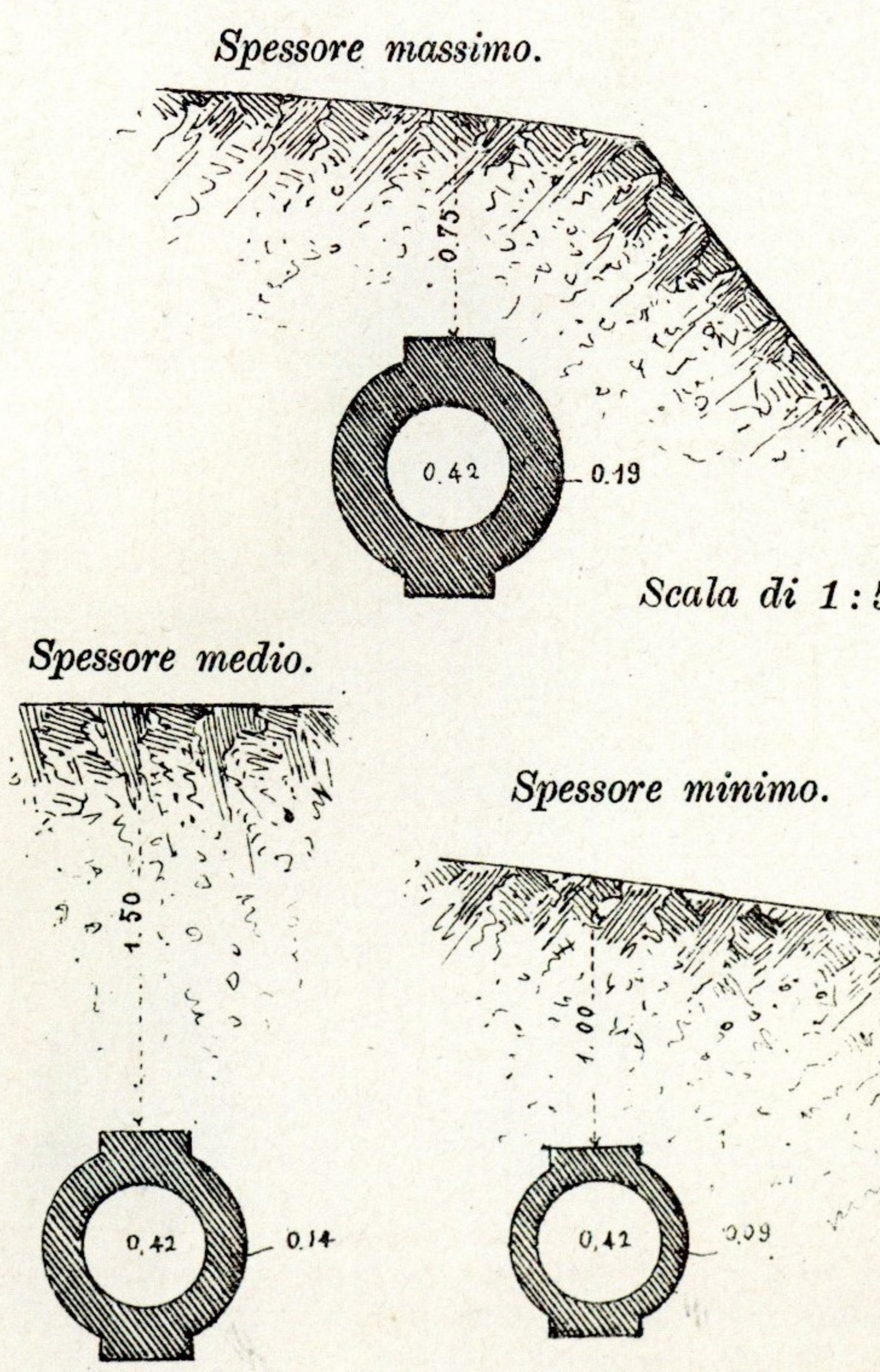
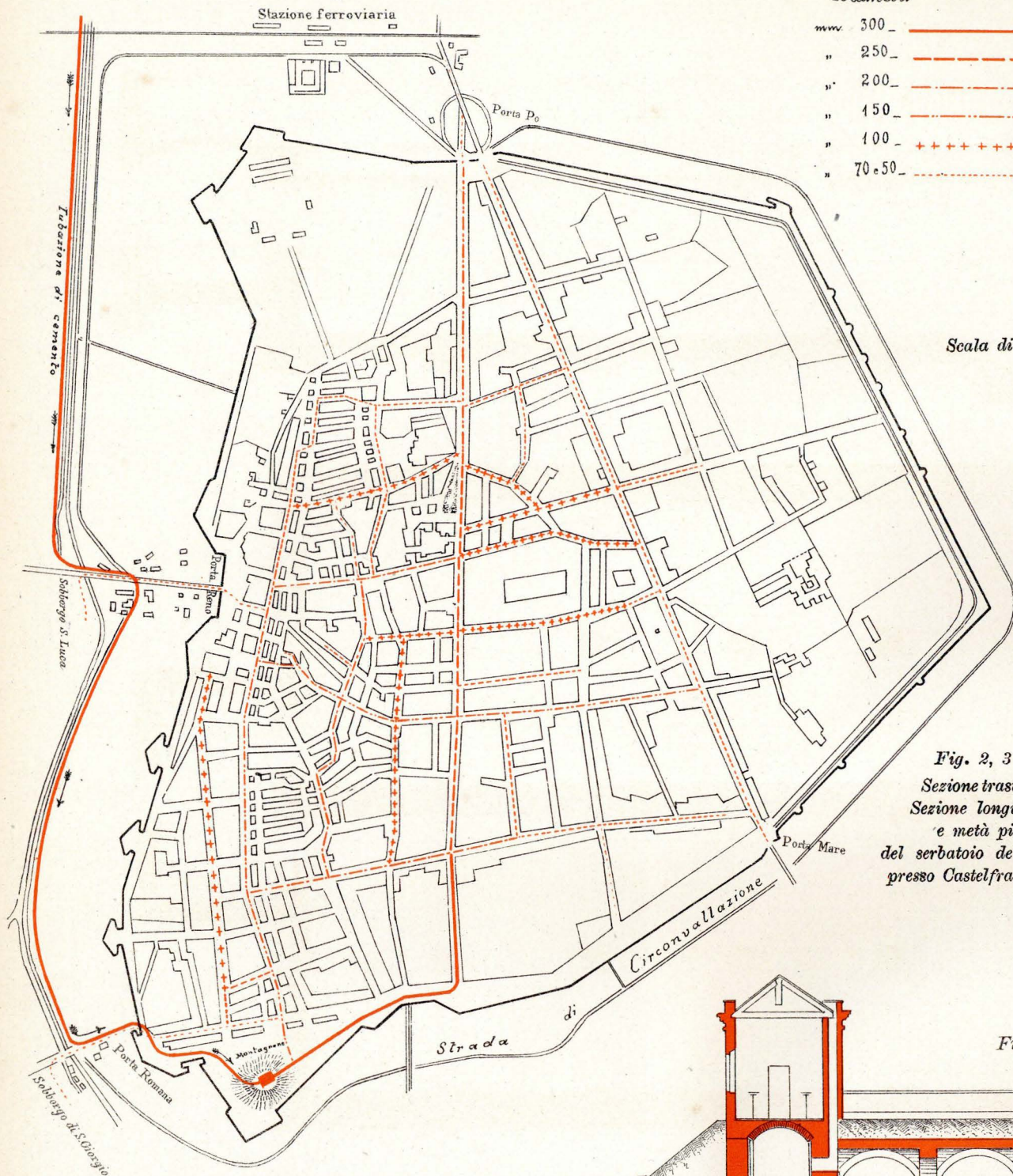


Fig. 1. — Canalizzazione di ghisa in Città.



Diametri	
mm 300	—
" 250	- - -
" 200	· · ·
" 150	+ + + + +
" 100	· · · · ·
" 70-50	· · · · ·

Scala di 1 a 16000.

Fig. 2, 3 e 4.
Sezione trasversale.
Sezione longitudinale
e metà pianta
del serbatoio delle sorgenti
presso Castelfranco-Emilia.

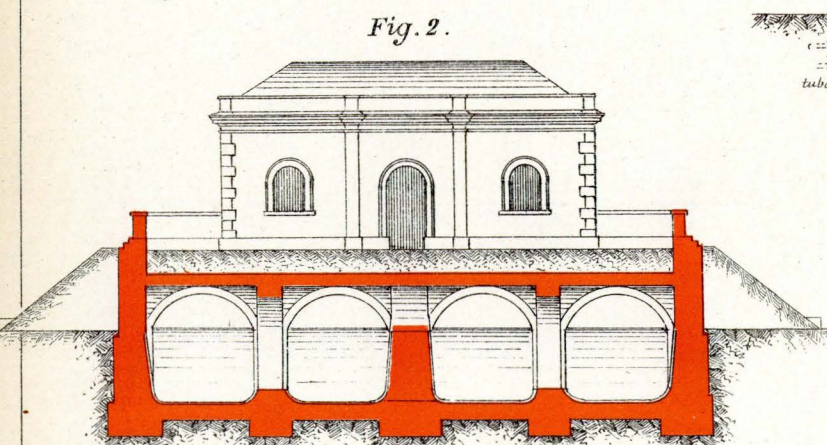


Fig. 2.

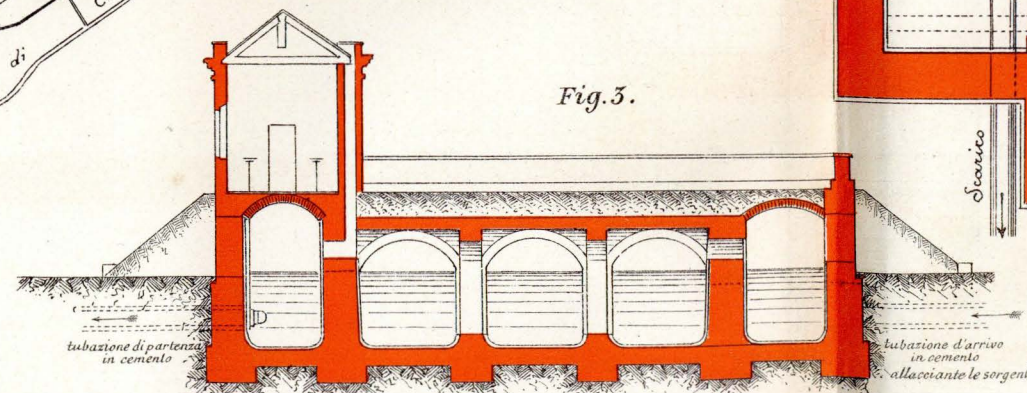


Fig. 3.

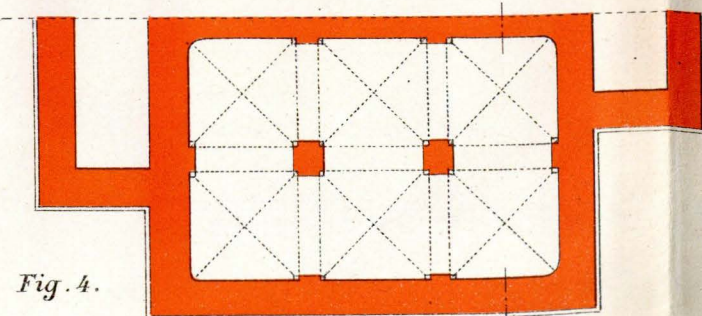


Fig. 4.

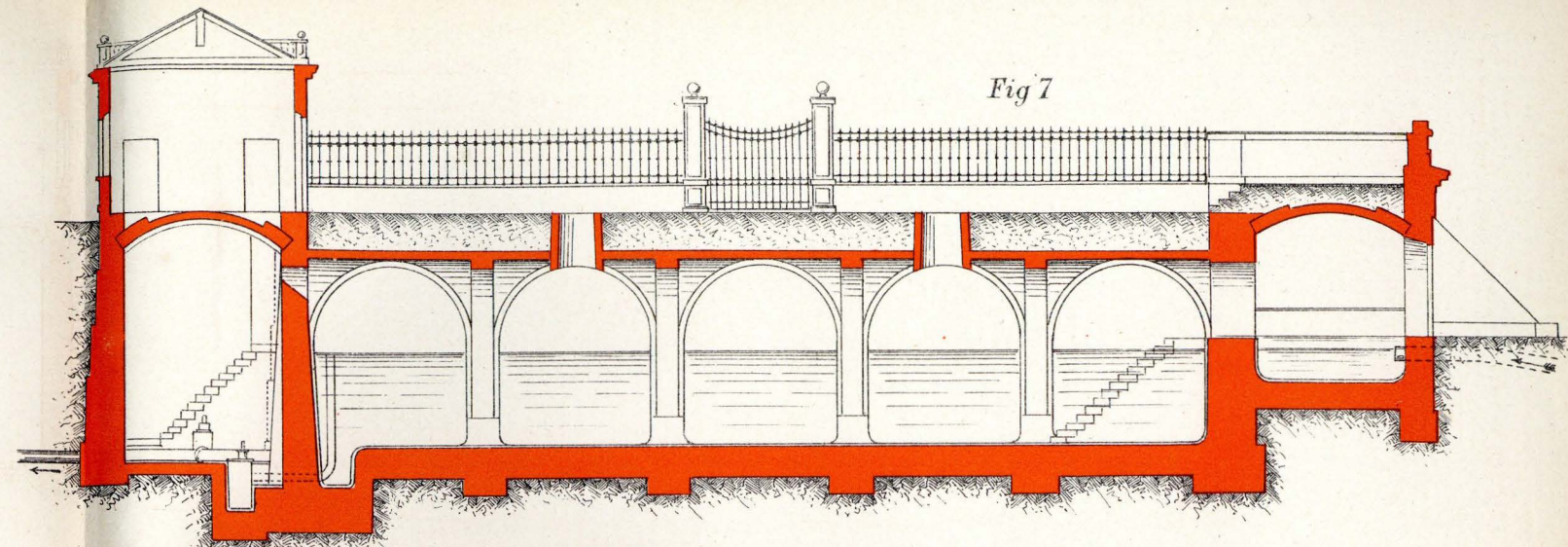


Fig. 7

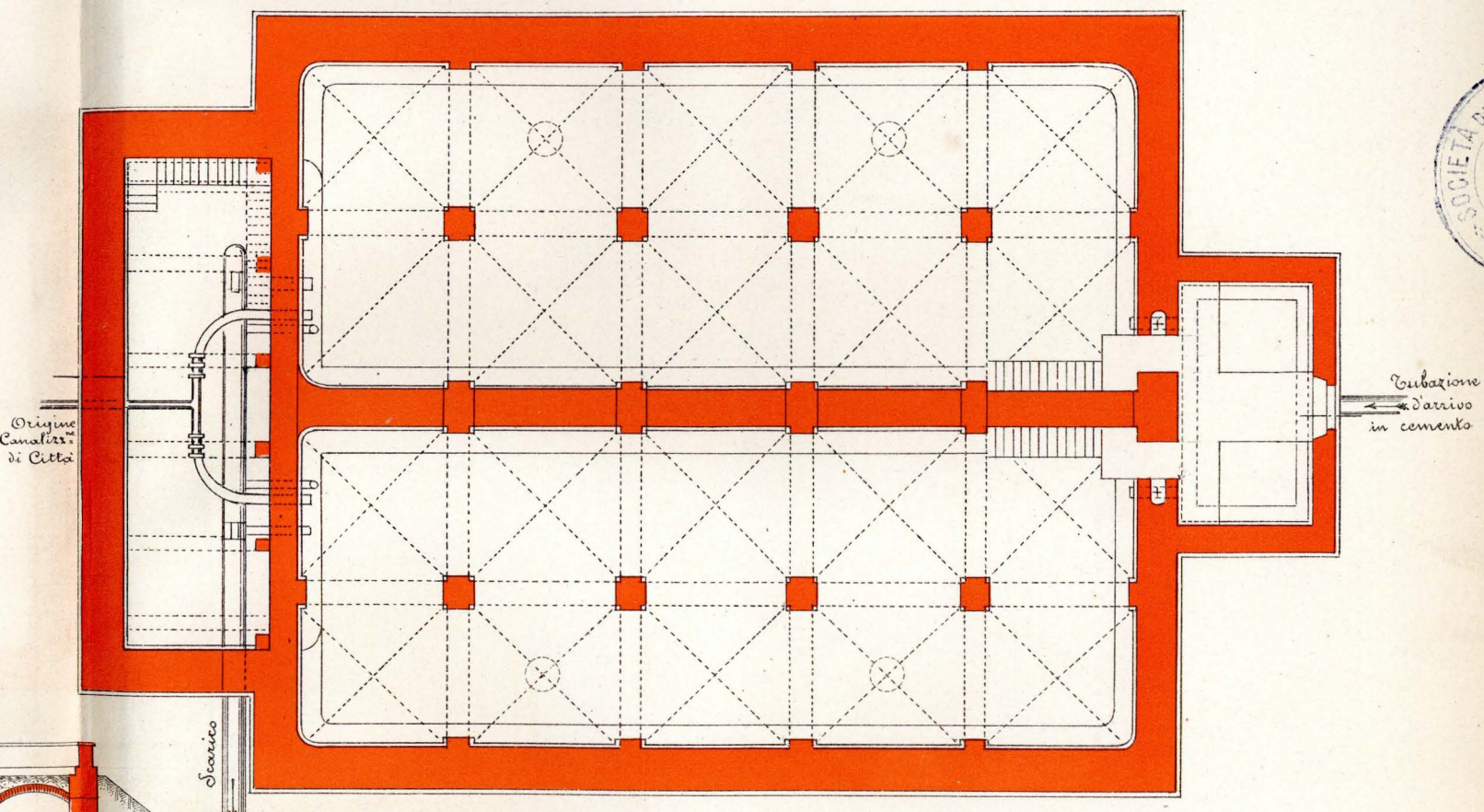


Fig. 6

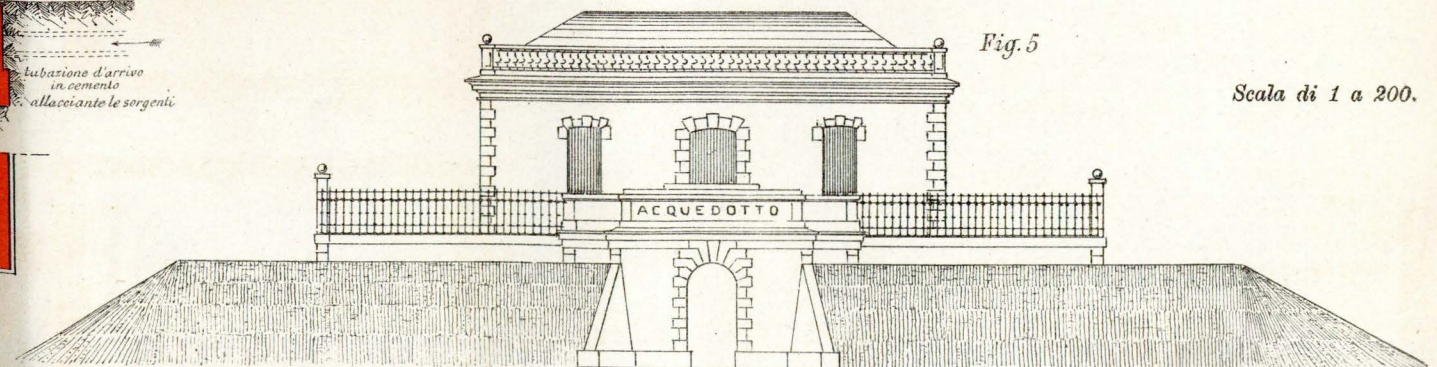


Fig. 5

Scala di 1 a 200.

Fig. 5, 6 e 7. — Prospetto, pianta e spaccato del serbatoio di Città al Montagnone.