

G 42

*All'amico Corradi  
ricordo di S. Bruno*

**DISSERTAZIONE E TESI**

PRESENTATE

**ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE**

DELLA

R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI IN TORINO

DA

**BRUNO SALVATORE**

da Sampierdarena

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI

**Ingegnere laureato**

—=—  
1869  
—=—

**TORINO.**

Tipografia Fodratti, Via Ospedale, N. 21.

DIPLOMA

1888

ALTA COMMISSIONE ESAMINATRICE

1888

IN TUTTA LA FACULTÀ DELLE SCIENZE FISICHE

BRUNO SAIVATORS

LAUREA IN SCIENZE FISICHE

1888

MEM. DI DIPLOMA

1888

ALTA COMMISSIONE ESAMINATRICE

BRUNO SAIVATORS

LAUREA IN SCIENZE FISICHE

1888

1888

ALTA COMMISSIONE ESAMINATRICE

ALLA CARA MEMORIA  
DI MIA MADRE E DI MIA SORELLA

---

ALL'OTTIMO MIO PADRE  
ED ALL'AMATO FRATELLO FRANCESCO

---

AI MIEI CARI FRATELLI E SORELLE



ALLA CARA MEMORIA  
DI MIA MADRE E DI SUA SORRELLA  
ALL'OTTIMO MIO PADRE  
ED ALL'AMATO FRATELLO FRANCESCO  
DI MIA SORRELLA  
AL MIO CARO FRATELLO E SORRELLA



# RELAZIONE

delle esperienze fatte nello Stabilimento Meccanico

**G. Ansaldo e C.**

in Sampierdarena

**SOPRA DI UNA MACCHINA A VAPORE FISSA**

AD ALTA E BASSA PRESSIONE



Debbo alla bontà del signor professore cav. Cavallero l'onorevole incarico di riferire sulle esperienze instituite sopra di una macchina a vapore fissa ad alta e bassa pressione costrutta dal sig. ingegnere Enrico Wehrly nello Stabilimento G. Ansaldo e C. in Sampierdarena.

Tali esperimenti eseguiti il giorno 4 novembre del corrente anno sotto la direzione del sullodato ingegnere Wehrly, ebbero per iscopo di determinare la quantità di combustibile bruciato per cavallo-vapore di forza all'ora, onde poter calcolare l'effetto utile totale della macchina.

La medesima è impiegata con buon successo da parecchi mesi per dar moto a tutte le macchine utensili del suddetto stabilimento.

La caldaia che le fornisce il vapore ne somministra eziandio ai magli i quali trovansi nell' officina attigua: però durante le esperienze tutto il vapore generato nella caldaia fu impiegato dalla macchina.

Prima intanto di esporne la descrizione e di riferire sui fatti esperimenti, io debbo rendere le più vive grazie al signor ingegnere Wehrly, il quale cortesemente mi concedette di assistere alle esperienze e mi somministrò tutti i dati e i disegni occorrenti per compilare questo mio lavoro.

E poichè mi si offre il destro, siami concesso di unire una parola di lode per il nobile coraggio che la Direzione dello Stabilimento Ansaldo dimostrò nell'affrontare ingenti spese, onde fornire le sue officine di tutto il materiale che si addice al progresso dei tempi. Che se oggigiorno volgono men prospere le sorti delle industrie nazionali, vuolsi nondimeno portar fidanza, che un non lontano avvenire sia per compensare a dovizia gli sforzi di coloro i quali nulla omisero, acciocchè l'Italia, anche industrialmente, si emancipasse dallo straniero.



## PARTE I.

CENNI SULLA MACCHINA SOTTOPOSTA AD ESPERIMENTO

E SULLA CALDAIA CHE L'ALIMENTA.

1. *Cenni sulla Caldaia* — Il generatore del vapore che alimenta la macchina sulla quale furono eseguite le esperienze, venne costruito, da parecchi anni, nello stabilimento in cui si trova. Esso appartiene a quel sistema di generatori di vapore detto a tubi di riscaldamento laterali, e consta di due caldaie cilindriche, una delle quali è in attività e l'altra è di rispetto. La lunghezza di ciascuna caldaia è di 7<sup>m</sup>, 090, e il diametro di 1<sup>m</sup>, 250.

Ognuna di esse ha il suo focolare la cui graticola ha la superficie di 1<sup>m</sup>, 400 × 1<sup>m</sup>, 070 = mq. 1, 498.

Fra le due caldaie vi sono tre tubi di riscaldamento, ognuno dei quali ha la lunghezza di 7<sup>m</sup>, 000, e il diametro di 0<sup>m</sup>, 600.

I gaz caldi, che si svolgono nel focolare, prima di giungere al camino, vengono in contatto dei tre tubi di riscaldamento, e cedono all'acqua che in essi si trova gran parte del loro calore.

L'alimentazione si fa mediante l'iniettore di Giffard.

La tensione del vapore nella caldaia varia da 4<sup>atm.</sup> a 4<sup>atm.</sup>, 5 assolute.

2. *Uso del vapore che si genera nella caldaia* — La caldaia sovraccennata, col concorso di altre, fornisce il vapore occorrente per mettere in moto i magli a vapore, e ne somministra inoltre alla macchina sulla quale si sono fatte le esperienze dinamometriche. Questa mediante una trasmissione dà moto a tutte le macchine-utensili come torni di varia ragione, pialle, trapani ecc., che trovansi distribuite nell'officina dei tornitori.

3. *Cenni sulla Macchina a vapore* — La macchina a vapore sulla quale vennero istituite le esperienze è rappresentata in sezione verticale ed in sezione orizzontale dalle figure 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> della Tav. II. Essa appartiene al sistema di motori a vapore ad alta e bassa pressione o a doppio cilindro.

Tali macchine a vapore hanno i due cilindri di differente capacità. Il vapore, che esce dalla caldaia, penetra nel piccolo cilindro e dopo avervi svolto un determinato lavoro, viene introdotto nel cilindro grande; quivi si espande facendo un altro lavoro, e poscia recasi al condensatoio.

Il rapporto fra i volumi dei due cilindri è tale che il lavoro svolto dal vapore nel piccolo cilindro è eguale a quello che lo stesso fluido svolge nel cilindro grande. Sonvi però macchine nelle quali i due terzi del lavoro che forniscono si svolgono nel piccolo cilindro.

Molte sono le disposizioni che i costruttori diedero alle macchine del citato sistema. La più antica è quella di Woolf che per il primo applicò il principio sul quale tali macchine si fondano.

Nella macchina di Woolf i due cilindri sono contigui e formano un sol pezzo di gitto; i loro stantuffi si muovono sempre nella stessa direzione, giacchè i loro gambi corrispondono alla stessa estremità di un bilanciere. Il vapore passa da una camera del piccolo cilindro alla camera opposta del cilindro grande per appositi canali.

Un'altra disposizione tenne Naught nelle sue macchine a doppio cilindro. In queste i due cilindri sono posti ai due capi di un bilanciere, e quindi gli stantuffi si muovono in direzione opposta: il vapore passa da una camera del cilindro piccolo a quella più vicina del cilindro grande.

Nelle macchine ad alta e bassa pressione di Craddock i cilindri sono disposti come nel motore a vapore rappresentato nella *Tav. II*. In tale macchina gli stantuffi motori per metà della loro corsa si muovono in direzione opposta, giacchè le manovelle, mediante le quali si dà movimento all'albero motore *A*, sono accoppiate ad angolo retto, affine di vincere i punti morti. La manovella corrispondente al piccolo cilindro precede quella, che corrisponde al cilindro grande, di un angolo di  $90^\circ$ ; la corsa dello stantuffo piccolo precederà quindi quella dello stantuffo grande di una metà della corsa stessa.

Il piccolo cilindro *C* ha il diametro di  $0^m, 278$ , e la corsa del suo stantuffo, eguale a quella dello stantuffo del cilindro grande



$C'$ , è di 0<sup>m</sup>, 610. Esso è munito della camicia di vapore, ed esternamente è circondato da un involucro impermeabile al calore.

Il cilindro grande ha il diametro di 0<sup>m</sup>, 455. Esso non ha la camicia di vapore, ma è circondato dall'involucro impermeabile.

Il vapore agisce sullo stantuffo del cilindro  $C$  parte a piena pressione e parte per espansione, e questo si ottiene in grazia della valvola di distribuzione  $D$ , e dell'apparecchio d'espansione variabile a settore  $B$ , messi rispettivamente in moto dagli eccentrici  $E$  ed  $E'$ . Il grado di espansione si regola per mezzo del settore  $S$ .

Il vapore uscendo dal piccolo cilindro  $C$  va nella cassa  $G$ , che contiene la valvola di distribuzione  $F$  del cilindro grande mossa dall'eccentrico circolare  $E''$ ; da questa capacità passa nell'una o nell'altra camera del cilindro grande secondo la posizione della valvola distributrice.

Il condensatoio  $H$  consta di una cassa parallelepipedica in ferro fuso; il vapore che sfugge dal cilindro grande vi giunge per il tubo  $T$ , e l'acqua per la condensazione vi è introdotta per il tubo  $T'$ .

La tromba ad aria  $I$  è a semplice effetto, il suo diametro è di 0<sup>m</sup>, 190, e la corsa del suo stantuffo è eguale a quella dello stantuffo motore del cilindro  $C'$ , giacchè i gambi di essi sono direttamente uniti tra di loro.

La *figura 1<sup>a</sup>* mostra abbastanza chiaramente come la tromba ad aria aspiri l'acqua e l'aria dal condensatoio, rimandandole fuori per il tubo  $T''$ .

Nel condensatoio vi son due porte di visita  $K, K'$ : si trae partito della prima per visitare le valvole  $L, L'$ , e lo stantuffo  $S$  della tromba ad aria, la seconda invece giova per dar adito nel condensatoio.

Il regolatore a forza centrifuga  $M$  è posto in moto mediante un cingolo che si avvolge sull'albero motore  $A$  e sulla puleggia  $N$ .

Il moto rotatorio dell'asse di questa è trasmesso all'asta del regolatore per mezzo di due ruote d'angolo  $r$  ed  $r'$ . La valvola a farfalla che regola l'introduzione del vapore nel cassetto di distribuzione del cilindro  $C$  è messa in moto da leve le quali producono una qualche resistenza. Ora questa viene appieno equilibrata dal peso  $Q$  scorrevole lungo la sbarra  $OP$ . La posizione del peso  $Q$  si ottiene per tentativi e si rende stabile mediante una vite di pressione.



Mercè questo artificio il regolatore acquista una sensibilità tale che per poco aumenti o diminuisca la pressione, la sua azione sulla valvola a farfalla si fa subito sentire.

Già indicai lo scopo principale della macchina che sto descrivendo: essa è inoltre destinata a prendere l'acqua da un vicino pozzo e mandarla in certi serbatoi sovrastanti alle officine. Questo si ottiene mediante quattro trombe  $R, R', R'', R'''$ , le quali sono a stantuffo rifluitore, e la corsa di esse è eguale a quella degli stantuffi motori, essendo i gambi di esse direttamente uniti alle traverse  $T, T'$  solidali ai gambi degli stantuffi motori.

Le traverse  $T, T'$  scorrono lungo i fessoi delle guide  $U, U'$ , e ad esse sono articolati i nerbi  $V, V'$ , i quali sono alla lor volta uniti a snodo colle manovelle.

Ciascun cilindro, coi relativi pezzi mobili e fissi, riposa sopra una intelaiatura in ferro fuso, avente la sezione di un doppio  $T$ , e rinforzata da nervature sotto i guancialini che portano l'albero motore.

Le intelaiature sono poi adagiate sopra di uno zoccolo in pietra da taglio, e sono collegate allo stesso per mezzo di chiavarde a vite.

## Parte II.

### ESPERIMENTI DINAMOMETRICI INSTITUITI SULLA MACCHINA E RISULTATI DEI MEDESIMI.

#### 3. Esperienze dinamometriche coll'indicatore delle pressioni. —

Le esperienze che vennero fatte sulla macchina a vapore più sopra descritta, ebbero per iscopo di determinare la quantità di combustibile consumato per ora e per cavallo-vapore, onde fornire un giusto concetto delle sue qualità e insieme di quelle del generatore del vapore.

Gli esperimenti durarono otto ore, cioè dalle nove antimeridiane alle cinque pomeridiane.

Affinchè tutto procedesse a dovere durante le otto ore di esperimento la macchina fu visitata in principio di esse colla massima cura.

Non minori attenzioni si ebbero per la caldaia, il cui focolare fu alimentato, seguendo le buone regole della pratica, col combustibile che fu preventivamente pesato. Si livellò il carbone sulla graticola prima di cominciare le esperienze, e al termine delle stesse si procurò che lo strato di combustibile esistente sulla graticola fosse eguale a quello che vi si trovava al principio degli esperimenti.

4. *Indicatore delle pressioni.* — Il principio sul quale si fonda la costruzione degli indicatori delle pressioni è semplicissimo. Havvene di parecchie foggie e nelle esperienze fu adoperato quello di Richard.

L'indicatore delle pressioni si pone in comunicazione con una delle camere del cilindro della macchina; il vapore entrando nell'apparecchio agisce su di un piccolo stantuffo, il quale a sua volta comprime una molla a spirale; gli accorciamenti di questa sono proporzionali alle pressioni che il vapore può avere. Vediamo il modo di ottenere queste pressioni ad ogni posizione dello stantuffo del cilindro della macchina a vapore.

Il cilindro, entro il quale scorre lo stantuffo dell'indicatore, ha due appendici le quali portano gli assi di rotazione di un piccolo bilanciere di Bourdon; il tirante di questo è munito nel suo mezzo di un matitoio, e il braccio che corrisponde sul cilindro è legato a snodo col gambo dello stantuffo.

Si può dare al cilindro un moto di rotazione attorno al suo asse affine di avvicinare il matitoio al tamburo sul quale è avvolta la carta che deve ricevere il diagramma.

Come in tutti gli altri indicatori questo tamburo è fatto ruotare per un verso mediante una funicella avvolta allo stesso e legata ad un pezzo, che è mosso dal gambo dello stantuffo; una molla da orologio lo fa ruotare pel verso contrario, tostochè si rallenti la cordicella.

Il cilindro di cui consta l'apparecchio, può, mediante chiavette, porsi in comunicazione ora coll'atmosfera, ora coll'interno del cilindro motore. Aprendo la prima e chiudendo la seconda, ed av-



vicinando il matitoio al tamburo posto in movimento, si segnerà una retta orizzontale, che dicesi linea della pressione atmosferica. Chiudendo poi la prima ed aprendo la seconda, il matitoio descriverà una curva chiusa, che è il diagramma. Le ordinate di questa curva, presa la linea della pressione atmosferica per asse delle ascisse, rappresentano gli accorciamenti subiti dalla molla.

5. *Coefficiente o tara della molla dello strumento* — Chiamasi coefficiente o tara della molla dell'indicatore il numero di atmosfere, o la frazione di atmosfera di cui la pressione interna deve superare la esterna, perchè la molla si raccorci di un centimetro.

Lo strumento adoperato è munito di due molle a spirale: una fornisce un coefficiente doppio dell'altra. Nelle esperienze fatte si pose la molla più forte.

L'eccesso della pressione interna sull'esterna per accorciare la molla di una certa lunghezza si ha espresso in chilogrammi per centimetro quadrato, mediante una scala annessa allo strumento. Ogni divisione della stessa indica l'eccesso di pressione, eguale ad un chilogrammo, necessario per accorciare la molla di una lunghezza eguale a quella della divisione medesima. Ciascuna divisione della scala è suddivisa in otto parti eguali, ognuna delle quali indica  $\frac{1}{8}$  di chilogrammo.

Il coefficiente della molla adoperata, essendosi preso il m.q. per unità di superficie premuta, è di 9747 chilog., è corrisponde a 0<sup>atm.</sup>943.

6. *Modo di porre in opera l'indicatore — Avvertenze.* — Descritto lo strumento, passerò ad esporre il modo di porlo in opera, e le avvertenze che si ebbero nel suo uso.

L'indicatore si pone in comunicazione con una delle camere del cilindro, invitandolo sopra di un tubo munito di chiave che si trova annesso al cilindro.

La posizione dell'indicatore non può essere scelta a capriccio, giacchè esperienze fatte dai signori Randolph, Elder e Comp. provarono che allorquando la corrente di vapore che effluisce dagli orifizi del cilindro incontra obliquamente l'orifizio del tubo dell'indicatore, la pressione indicata è minore della pressione reale.

La posizione del tubo sul quale s'invitò l'indicatore è tale che questo non potè essere esposto alla detta causa di errore.



Sulle guide  $U$ ,  $U'$ , si fissò un sostegno al quale si sospese una sbarra a guisa di pendolo; a questa venne legato il cordoncino che mette in movimento il tamburo dell'indicatore. La sbarra è poi condotta dalla traversa  $T$  solidale al gambo dello stantuffo: il moto rettilineo alternativo di questo si trasforma nel moto oscillatorio della prima, e quindi nel moto circolare alterno del tamburo.

Le avvertenze che si usarono nel prendere i diagrammi furono le seguenti:

1° Si pose lo strumento in istato di dare indicazioni precise, ungendo l'interno del cilindro, acciocchè il movimento dello stantuffo si facesse a dolce sfregamento;

2° Collocato il foglio di carta sul tamburo, si lasciò prendere allo stesso un moto ben regolare prima di avvicinare il matitoio;

3° Si lasciò passare la matita due o tre volte sul contorno del diagramma, affinchè esso risultasse ben segnato e visibile.

7. *Modo di contare i giri dati dall'albero motore* — Per ottenere il numero dei giri fatti dall'albero motore durante l'esperienza si può ricorrere ad un contatore meccanico; oppure si possono noverare coll'orologio alla mano i giri dati dal volante. Questo ultimo modo si potè impiegare nelle esperienze alle quali ho assistito, poichè stante la poca velocità della macchina, era agevole l'accompagnare coll'occhio il movimento della manovella.

In tal guisa procedendo, si trovò che il numero dei giri dati dal volante era costantemente eguale a 52 per ogni minuto primo. Questa uniformità nel moto della macchina dipende in primo luogo dall'essere munita di un regolatore a forza centrifuga sensibilissimo, e in secondo luogo dalla buona condotta della caldaia, nella quale la pressione non subì variazioni notevoli, e dalla natura della resistenza utile che si oppone al movimento della macchina, che difficilmente subisce variazioni un poco sensibili.

8. *Quadratura del diagramma* — Si conoscono vari metodi per far la quadratura di un'area data. Fra questi citerò il planimetro polare, il metodo di pesare il diagramma convenientemente ritagliato, la formola di Bezout e quella di Simpson. Adoperai quest'ultimo metodo.

Chiamo con  $l$  la lunghezza, in centimetri, della corsa del diagramma, ossia la distanza fra le due tangenti allo stesso, condotte normalmente alla linea della pressione atmosferica: divido questa corsa in un numero pari qualunque, di parti eguali di lunghezza  $h$ , per esempio 20.

Per ciascuno dei punti di divisione conduco le ordinate del diagramma, e siano:  $a, a', a'', a''', \text{ecc.} \dots b$  le lunghezze, pure in centimetri, delle parti di ordinate comprese fra le due curve corrispondenti rispettivamente alla corsa diretta e alla corsa retrograda dello stantuffo.

Sia  $S$  l'area del diagramma, che risulterà espressa in centimetri quadrati; la formola di Simpson è la seguente:

$$S = \frac{1}{3} h \left\{ (a + b) + 2 (a' + a''' + a^v + \dots) + 4 (a'' + a^{iv} + a^{vi} + \dots) \right\}$$

cioè l'area è eguale ad  $\frac{1}{3}$  della distanza fra due ordinate successive per la somma delle differenze fra le ordinate estreme, più due volte la somma delle differenze fra le ordinate di ordine impari, più quattro volte la somma delle differenze fra le ordinate di ordine pari.

9. *Differenza fra le ordinate medie* — Nel caso che si considera si avrà questa differenza dividendo l'area del diagramma per la corsa dello stesso, sarà cioè:

$$a_m = \frac{S}{20 h}$$

10. *Pressione utile media* — Per avere la pressione media utile in chilogrammi e riferita al m. q. si moltiplica il coefficiente  $\gamma$  della molla dell'indicatore, espresso pure in chilogrammi e riferito al m. q. per la differenza fra le ordinate medie; sarà dunque:

$$P_m = \gamma a_m$$

11. *Lavoro sullo stantuffo motore* — Essendo la macchina a doppio effetto, il lavoro esercitato sullo stantuffo motore in una



corsa completa, cioè in un giro dell'albero del volante, sarà dato moltiplicando la pressione media utile pel doppio del volume generato dallo stantuffo motore nella corsa semplice, ed essendo  $d$  il diametro del medesimo,  $L$  la sua corsa,  $p_m$  la pressione media,  $T$  il lavoro utile svolto in un colpo completo, si ha:

$$T = 2 \frac{\pi d^2}{4} L p_m .$$

Ed il lavoro indicato, cioè quello esercitato sullo stantuffo in ogni minuto secondo, essendo  $n$  il numero dei giri per minuto primo, sarà:

$$F = 2 \frac{\pi d^2}{4} L p_m \cdot \frac{n}{60} .$$

Il lavoro che si ottiene applicando questa formola è manifestamente minore del lavoro che il vapore svolge sullo stantuffo motore, poichè la resistenza d'attrito che si svolge fra lo stantuffo e il cilindro dell'indicatore, e la resistenza opposta dal matitoio al movimento dello stantuffo dello strumento, fanno sì che la pressione indicata è minore della reale, e la contropressione indicata è maggiore della vera, e quindi il lavoro indicato risulta minore di quello che realmente è svolto dal vapore.

Da alcuni esperimenti dovuti ad Hirn risulta che la diminuzione subita dal lavoro indicato, e dovuta alle sovraccennate cagioni, poco differisce dalla quantità di lavoro consumato dagli attriti e dalla resistenza dell'aria, che al moto della macchina si oppongono, cosicchè il lavoro indicato non differirebbe molto dal lavoro disponibile sull'albero del volante.

In pratica si usa moltiplicare il lavoro indicato per un dato coefficiente, onde avere il lavoro svolto dal vapore nel cilindro, il quale vien allora chiamato lavoro indicato e ridotto. Il coefficiente che moltiplica il lavoro indicato si ritiene eguale a  $\frac{9}{8}$  per gli indicatori ordinariamente adoperati.

12. *Lavoro utile sull'albero del volante* — Per ottenere il lavoro utile sull'albero del volante, basterà moltiplicare il lavoro indicato



e corretto pel coefficiente di rendimento del meccanismo che ri-  
 tiensi di  $\frac{8}{10}$ , e volendolo in cavalli-vapore si dividerà per 75;  
 cosicchè, essendo  $M$  questo lavoro motore utile e disponibile sul-  
 l'albero del volante, sarà:

$$M = \frac{8}{10} \cdot \frac{9}{8} \cdot 2 \frac{2\pi d^2}{4} L \frac{p_m}{75} \cdot \frac{n}{60}$$

ossia

$$M = \frac{\pi L n d^2}{10000} p_m$$

In cui  $L$  e  $d$  sono espressi in metri,  $p_m$  in chilogrammi,  $n$  nu-  
 mero dei giri per minuto primo,  $M$  risulta in cavalli-vapore.

12. *Modo con cui si eseguirono le esperienze. — Risultati otte-  
 nuti* — Tanto sul cilindro piccolo quanto sul cilindro grande si fe-  
 cero undici esperienze durante le otto ore; le prime sette si fe-  
 cero nelle prime quattro ore, le ultime quattro nelle ultime quat-  
 tro ore.

Non avendo che un solo indicatore, non era possibile prendere  
 contemporaneamente i diagrammi sui due cilindri. Questo però  
 non può modificare l'esattezza dei risultati, stante l'uniformità del  
 movimento della macchina, e il breve intervallo che correva fra  
 le esperienze fatte sull'uno e sull'altro cilindro.

Ottenuti pertanto i diagrammi relativi a ciascun cilindro, noto  
 il numero dei giri che il volante fa nel minuto primo, e cono-  
 scendo le dimensioni del cilindro, applicando le formole indicate,  
 ottenni i risultati che presento nei due seguenti quadri:

Quadro N° 1.

ESPERIENZE FATTE SUL PICCOLO CILINDRO.

Coefficiente della molla dell' indicatore =  $0^{alm},943 = 9747 \text{ Kg.}$

N° d'ordine	Area del diagramma in cm.q.	Corsa del diagramma in centimetri	Differenze fra le ordinate medie in centimetri	Pressione media utile nel cilindro in chilogr.	LAVORO					Osservazioni
					Utile sullo stantuffo in ogni pulsaz. Kg.m.	Indicato per ogni secondo Kg.m.	Indicato ridotto (multipl. per 9/8) Kg.m.	UTILE SULL'ALBERO DEL VOLANTE		
								in kg.m.	in cav. vap.	
1	37,087	11,75	3,156	30761,532	2276,333	1972,50	2219,10	1775,28	23,670	
2	36,532	"	3,109	30303,423	2242,433	1943,15	2186,10	1748,88	23,318	
3	37,248	"	3,169	30910,223	2287,336	1982,25	2230,05	1784,04	23,787	
4	33,896	"	3,054	29767,338	2202,783	1908,75	2147,25	1713,80	22,904	
5	36,346	"	3,093	30147,271	2230,898	1933,20	2174,85	1739,88	23,198	
6	36,523	"	3,108	30293,676	2241,732	1942,65	2185,50	1748,40	23,312	
7	40,870	"	3,478	33900,066	2508,604	2173,95	2445,45	1955,36	26,085	
8	33,446	"	3,016	29396,952	2175,374	1885,05	2120,70	1696,56	22,621	
9	33,482	"	3,019	29416,173	2176,596	1886,25	2122,05	1700,04	22,633	
10	36,170	"	3,078	30001,266	2220,093	1923,75	2164,20	1731,36	23,088	
11	33,406	"	3,013	29367,771	2173,215	1883,25	2118,60	1694,88	22,598	

Il volume generato dallo stantuffo nella corsa semplice essendo  $d = 0^m,278$ ;  $L = 0^m,610$  sarà:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L = 0^{mc},037009.$$



Coefficiente della molla dell'indicatore =  $0^{\text{atm.}},943 = 9747 \text{ Kg.}$

N° d'ordine	Area del diagramma in cm.q.	Corsa del diagramma in centimetri	Differenza fra le ordinate medie in centim.	Pressione media utile nel cilindro in chilog.	LAVORO					Osservazioni
					Utile sullo stantuffo in ogni pulsaz. Kg.m.	Indicatore per ogni secondo Kg.m.	Indicatore ridotto (mol. tipl. per 9[8] Kg.m.)	UTILE SULL'ALBERO DEL VOLANTE		
								in kg.m.	in cav. vap.	
1	11,802	10,30	1,141	11121,327	2202,022	1910,85	2149,65	1719,72	22,929	
2	11,051	"	1,073	10457,531	2070,591	1796,85	2021,40	1617,12	21,561	
3	12,901	"	1,252	12203,244	2416,242	2096,85	2358,90	1887,12	25,161	
4	11,381	"	1,007	9815,229	1843,415	1686,45	1897,20	1517,76	20,237	
5	11,090	"	1,076	10487,772	2076,578	1802,10	2027,25	1621,80	21,624	
6	10,918	"	1,060	10331,820	2045,700	1775,25	1997,10	1597,68	21,302	
7	12,298	"	1,193	11627,971	2302,338	1998,00	2245,75	1796,60	23,976	
8	12,635	"	1,226	11949,822	2366,064	2053,20	2309,85	1847,88	24,639	
9	12,446	"	1,208	11774,376	2341,326	2023,05	2275,95	1820,76	24,277	
10	12,592	"	1,222	11910,834	2358,345	2046,60	2302,35	1841,88	24,558	
11	12,592	"	1,222	11910,834	2358,345	2046,60	2302,35	1841,88	24,558	

Il volume generato dallo stantuffo nella corsa semplice essendo  $d = 0,445$ ;  $L = 0^{\text{m}},610$  sarà:

$$V = \frac{\pi d^3}{4} L = 0^{\text{mc.}},099.134.$$



13. *Discussione dei diagrammi ottenuti* — Nella *Tav. I* sono designati alla scala naturale i diagrammi avuti coll'indicatore delle pressioni.

La *figura 1<sup>a</sup>* rappresenta il diagramma preso sul cilindro piccolo; quello preso sul cilindro grande è rappresentato dalla *fig. 2<sup>a</sup>*.

Sul cilindro piccolo si presero quattro diagrammi, *fig. 3<sup>a</sup>*, corrispondenti ai quattro gradi di espansione: il diagramma segnato 1 vale per la minima espansione, e quello segnato 4 è relativo alla massima espansione.

Si fecero anche sul cilindro grande due esperienze facendo variare l'espansione, e i quattro diagrammi ottenuti risultarono poco differenti l'uno dall'altro.

Tutte le esperienze i cui risultati sono contenuti nei due quadri precedenti, furono eseguite impiegando la minima espansione.

Non credo superfluo analizzare questi diagrammi.

Considero primieramente quello del cilindro piccolo, *fig. 1<sup>a</sup>*.

La parte del contorno che corrisponde alla corsa diretta è  $BCDE$ , e quella che corrisponde alla corsa retrograda è  $EFGA$ .

La prima parte consta del periodo di ammissione  $ABC$ , del periodo di espansione  $CD$ , e del periodo di anticipazione alla scarica  $DE$ .

Penetrato il vapore nella camera del cilindro, che è in comunicazione coll'indicatore, la sua pressione cresce sino in  $B$  a volume costante, dove diventa la massima corrispondente alla massima apertura della luce d'ammissione; questa luce va poi richiudendosi, e la pressione diminuisce da  $B$  sino in  $C$ , il quale essendo un punto di inflessione è precisamente quello in cui cessa l'introduzione e comincia il periodo di espansione  $CD$ .

Il periodo  $BC$  corrisponde al periodo  $A'B'$  a pressione costante del diagramma teorico, *Tav. II, fig. 3<sup>a</sup>*, e il periodo  $CD$  si riferisce al periodo  $B'C'$  dello stesso diagramma teorico.

L'anticipazione alla scarica si opera principalmente, affinchè lo stantuffo in principio della corsa retrograda incontri una contropressione più piccola.

La parte del contorno relativa alla corsa retrograda del piccolo

stantuffo, si divide nei tre periodi  $EF$ ,  $FG$  e  $GA$ , corrispondenti al periodo  $C'D'$  a pressione variabile del diagramma teorico.

Il primo periodo  $DF$  accenna ad una compressione del fluido, la quale si spiega facilmente se si pone mente alla disposizione delle manovelle e degli organi della distribuzione del vapore.

Infatti le manovelle facendo un angolo di  $90^\circ$  fra di esse, gli stantuffi motori dei due cilindri si muovono per metà della loro corsa in direzione opposta, e la corsa del piccolo cilindro precede sempre quella del cilindro grande. Una cosa analoga succede per le valvole di distribuzione ognuna delle quali fa colla rispettiva manovella un angolo eguale a  $90^\circ$  più l'angolo di precessione.

Risulta pertanto dalla posizione relativa degli stantuffi e delle valvole distributrici dei due cilindri che il vapore dopo essere penetrato in una delle camere del cilindro piccolo, e in essa compiuto il periodo di espansione, comincia ad uscirne senza essere subito ammesso nel grande cilindro. Infatti va chiudendosi l'orifizio d'introduzione del vapore del cilindro grande e il fluido resta perciò compresso nel piccolo cilindro per una certa porzione della corsa, e poscia viene introdotto nel cilindro grande dove si espande. L'ultima espansione è esattamente la stessa come se le corse dei due stantuffi fossero simultanee.

Durante il secondo periodo  $FG$  il vapore esce dal cilindro piccolo, ma prima che lo stantuffo giunga al fine della sua corsa comincia una nuova introduzione di vapore in  $G$ ; la pressione aumenta allora rapidamente secondo la curva  $GA$ , che costituisce il periodo di anticipazione all'introduzione.

I vantaggi di questa anticipazione di vapore sono:

1° Si ha economia di fluido, poichè i canali d'introduzione del vapore nel cilindro si trovano già pieni dello stesso quando ne giunge una nuova quantità dalla caldaia.

2° La pressione di questo nuovo vapore congiunta a quella del vapore compresso è già capace di far avanzare lo stantuffo in principio del colpo successivo.

Considero ora il diagramma preso sullo stantuffo grande.

La parte del contorno relativa alla corsa diretta è la  $HKL$ , la quale, dopo quello che si è detto precedentemente, si compone



di un periodo d'introduzione, e di un periodo di espansione e del periodo di anticipazione alla scarica *KL*.

La parte del contorno relativa alla corsa retrograda è la *LMN* composta del periodo *LM* della contrapressione costante, e del periodo *MN* di anticipazione all'introduzione.

Come già dissi i diagrammi 1 e 4 della *fig. 3°* sono relativi alla minima ed alla massima espansione. Si vede che dal diagramma 1 al 4 diminuisce il periodo della piena pressione, ed aumenta quello dell'espansione.

14. *Quantità di carbone bruciato per cavallo-vapore all'ora.* — Dai risultati numerici esistenti nei due quadri precedenti si ha la media del lavoro indicato e ridotto il quale è svolto sullo stantuffo di ciascun cilindro nel 1"; e sono:

per il piccolo cilindro	29, 228	cavalli-vapore
» grande	28, 974	» »

Quindi il lavoro indicato ridotto totale svolto sugli stantuffi dei due cilindri è di 58, 202 cavalli-vapore.

Il lavoro disponibile sull'albero del volante sarà di 46, 561 cavalli-vapore.

Nelle otto ore di esperimento si bruciarono 720 chilogrammi di carbone di mediocre qualità; quindi la quantità di combustibile bruciato all'ora per cavallo-vapore indicato è di chilogrammi 1,456 e per cavallo-vapore disponibile sull'albero del volante è di chilogrammi 1,933.

Insegna la pratica, che per le migliori macchine a vapore il consumo di combustibile per cavallo e per ora non è mai minore di chilogrammi 1, 50, quando il combustibile sia di buona qualità; si può quindi concludere che la macchina e in complesso la caldaia sono capaci della massima economia di combustibile, epperò soddisfanno a quanto si può richiedere dai motori a vapore del medesimo sistema.

15. *Effetto utile totale della macchina.* — Chiamasi effetto utile totale di una macchina a vapore, il rapporto fra il calore raccolto che si è convertito in lavoro, e il calore speso.

Sieno  $P$  il peso di combustibile consumato per cavallo all'ora, 7763 il potere calorifico del combustibile,  $\frac{1}{425}$  l'equivalente calorifico del lavoro. Il calore raccolto in un'ora mentre brucia il peso  $P$  di carbone è:

$$\frac{75 \times 3600''}{425} ;$$

e il calore speso nello stesso tempo è 7763  $P$ .

Indicando con  $\varepsilon$  l'effetto utile totale della macchina si ha:

$$\varepsilon = \frac{75 \times 3600''}{425 \times 7763 P} .$$

Ponendo in luogo di  $P$  il valore trovato precedentemente risulta:

$$\varepsilon = 0,042$$

Terminerò con questo le poche pagine scritte, e mi terrò per compensato delle mie fatiche se esse saranno accolte con indulgenza dalla egregia Commissione Esaminatrice a cui le presento.

BRUNO SALVATORE.





# TESI LIBERE





**Dal Corso****DI MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA PRATICA**

Ruote a cassette o cucchiai — Loro descrizione e teoria.

**Dal Corso****DI MACCHINE A VAPORE E FERROVIE**

Meccanismi di distribuzione ad espansione fissa.

**DAL CORSO DI COSTRUZIONI**

Travate rettilinee — Relazione fra i momenti inflettenti su tre appoggi successivi.

**DAL CORSO DI GEOMETRIA PRATICA**

Riduzione di un angolo al centro di stazione.





Fig. 1.<sup>a</sup> Cilindro piccolo

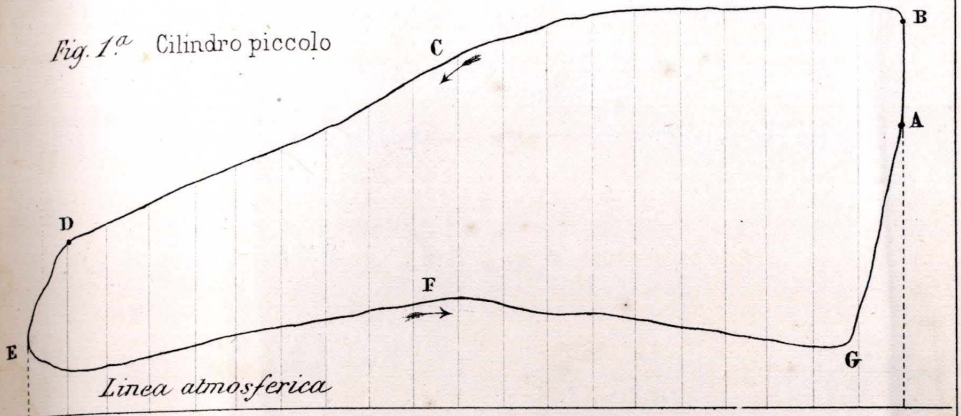


Fig. 2.<sup>a</sup> Cilindro grande

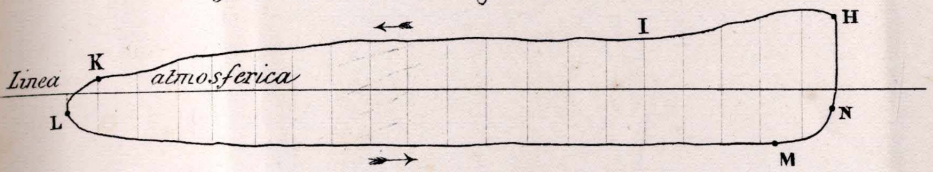


Fig. 3.<sup>a</sup> Cilindro piccolo con gradi differenti di espansione.

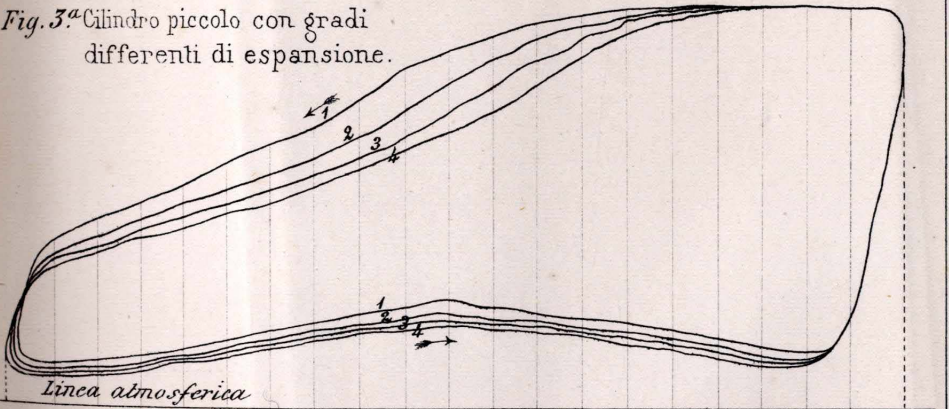




Fig 1<sup>a</sup> Sezione verticale secondo la x y  
Scala di 1/16

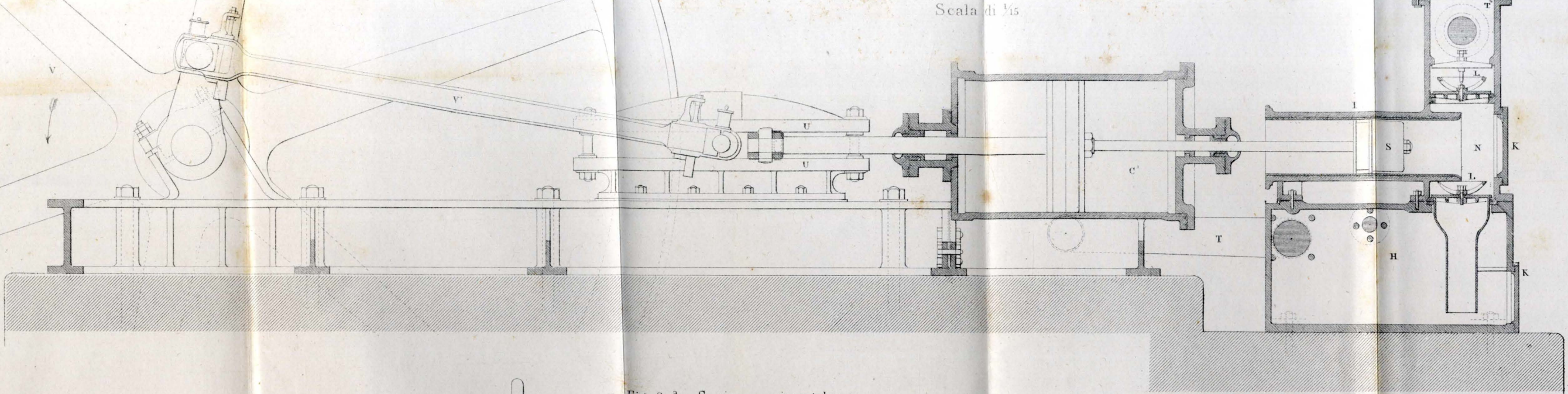


Fig 2<sup>a</sup> Sezione orizzontale

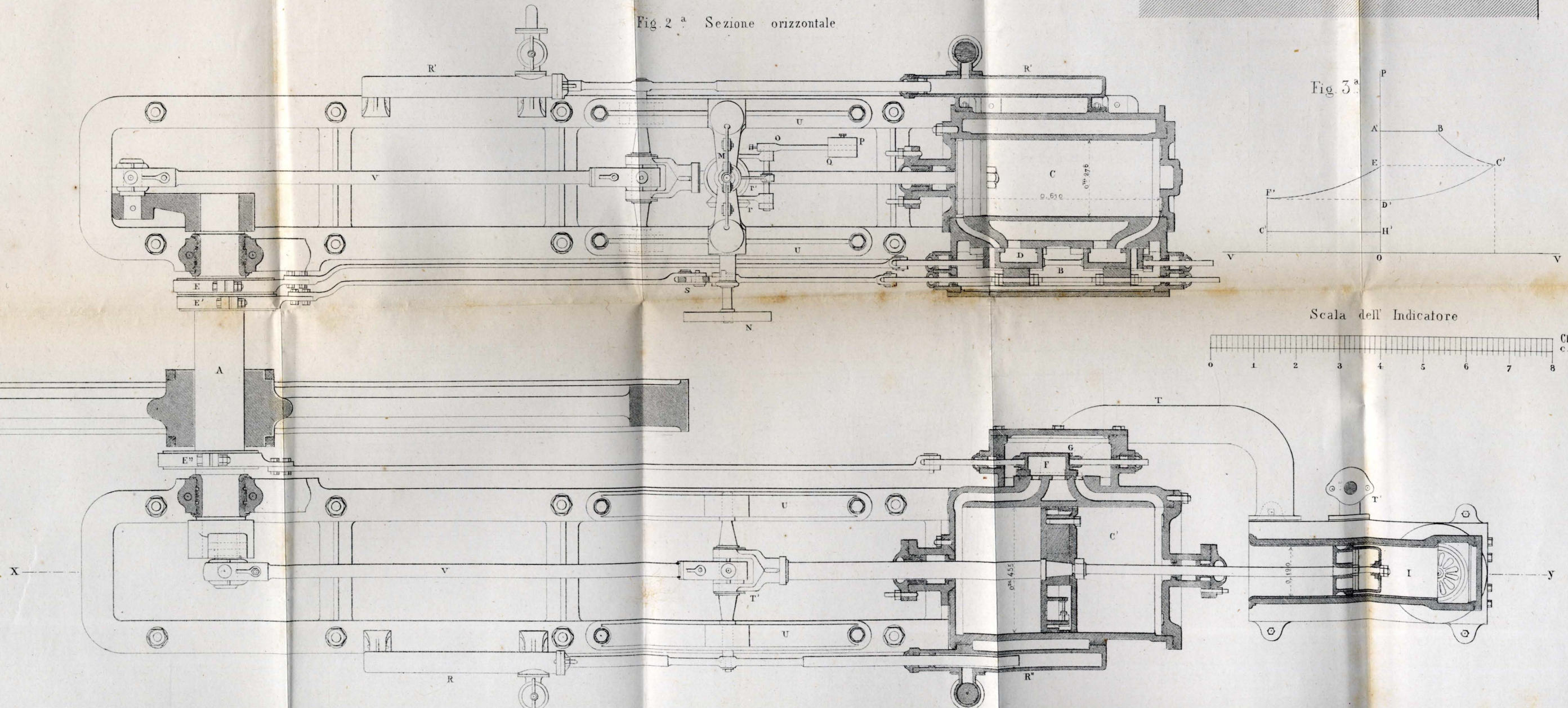
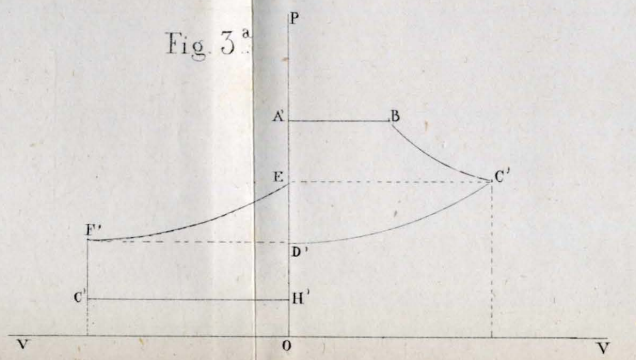
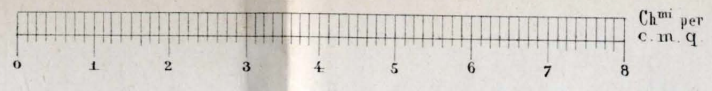


Fig 3<sup>a</sup>



Scala dell' Indicatore









## ERRATA-CORRIGE.

Pag. 15, *avece di leggere nella formola:*

$$S = \frac{1}{3} h \left\{ (a + b) + \mathbf{2} (a' + a'' + a^{\vee} + \dots) + \mathbf{4} (a'' + a^{\text{IV}} + a^{\text{VI}} + \dots) \right\}$$

leggesi  $\mathbf{4}$   $\mathbf{2}$

Pag. 15, linea 16, *avece di due leggesi quattro*

» » » 17 » quattro » due