

L'ENERGIA TERMICA

RIVISTA TECNICA MENSILE SOTTO GLI AUSPICI DEL
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

PREMIATA DALLA REALE ACCADEMIA D'ITALIA

FILOTECNICA
TUTTI GLI STRUMENTI PER LA TERMOTECNICA

FILOTECNICA
OTTICA E MECCANICA DI PRECISIONE

UN NUOVO MARCHIO PER UN VECCHIO NOME

FILOTECNICA SALMOIRAGHI • MILANO
MILANO • ROMA • NAPOLI • TORINO • GENOVA

BIBLIOTECA NAZIONALE VERONA
- 2 FEB 1943
* RIVISTE *

PROPORZIONI
FILOTECNICA

1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000
11000
12000
13000
14000
15000
16000
17000
18000
19000
20000
21000
22000
23000
24000
25000
26000
27000
28000
29000
30000
31000
32000
33000
34000
35000
36000
37000
38000
39000
40000
41000
42000
43000
44000
45000
46000
47000
48000
49000
50000
51000
52000
53000
54000
55000
56000
57000
58000
59000
60000
61000
62000
63000
64000
65000
66000
67000
68000
69000
70000
71000
72000
73000
74000
75000
76000
77000
78000
79000
80000
81000
82000
83000
84000
85000
86000
87000
88000
89000
90000
91000
92000
93000
94000
95000
96000
97000
98000
99000
100000

Direttore: Dott. Ing. Dott. SERAFINO de CAPITANI

Comitato di Redazione:

BOGHETTO Dott. Prof. FORTUNATO - FAUSER Dott. Ing. GIACOMO - FERRETTI Dott. Ing. Prof. PERICLE
MEDICI Dott. Ing. Prof. MARIO - PADOVANI Dott. Prof. CARLO - ROBERTI Dott. Prof. GIORGIO
ROSSI Dott. Ing. LODOVICO - SAN NICOLO' Dott. Ing. Prof. RENATO

DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE: **MILANO** - PIAZZA CINCINNATO, 6 - TELEFONO 21-005

Condizioni d'abbonamento per il 1942: **ITALIA e COLONIE L. 40,—** - **ESTERO L. 60,—**

Gli abbonamenti sono pagabili presso tutte le Filiali del Regno e Colonie del **BANCO DI ROMA**

Un numero separato L. 4.—

L'ENERGIA TERMICA

RIVISTA TECNICA MENSILE

SOTTO GLI AUSPICI DEL

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

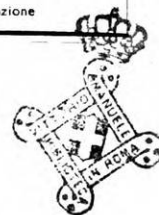
ORGANO UFFICIALE

"DEL COMITÉ INTERNATIONAL PERMANENT DU CARBONE CARBURANT,"

PREMIATA DALLA REALE ACCADEMIA D'ITALIA

<p>Condizioni d'Abbonamento per il 1942</p> <p>ITALIA E COLONIE . . . L. 40.- ESTERO L. 60.-</p> <p>Gli abbonamenti sono pagabili presso tutte le Filiali del Regno e Colonie del BANCO DI ROMA</p>	<p>DIRETTORE: Dott. Ing. SERAFINO de CAPITANI</p> <p>Direzione e Amministrazione: MILANO PIAZZA CINCINNATO, 6 - TEL. 21-005</p>	<p>PUBBLICITÀ (Chiedere tariffe e preventivi)</p> <p>Le inserzioni si ricevono direttamente presso la nostra Amministrazione</p>
---	---	--

SOMMARIO DEI N. 9-10



Articoli originali:

Dott. Ing. A. C. Robotti — Un metodo per il calcolo dell'aumento della pressione nei diffusori dei compressori centrifughi per motori d'aviazione pag. 94

Pericle Ferretti — Gli sviluppi logici del motore Diesel 104

Combustibili e Carburanti:

Il riordinamento dell'industria petrolifera romena 111

Motori:

Un motore italiano a combustione interna da 21.000 cav. effettivi 112

Turbine sovrapposte o turbine a condensazione? 114

Nell'industria:

Impianto di condizionamento d'aria estivo-invernale a bordo di motonavi 116

Dott. Ing. A. C. ROBOTTI

Un metodo per il calcolo dell'aumento della pressione nei diffusori dei compressori centrifughi per motori d'aviazione.

Eine Methode für die Druckzunahmeberechnung in den Austrittsleitapparaten der Zentrifugal-Kompressoren für Flugmotoren.

Une méthode pour calculer l'augmentation de la pression dans les diffuseurs des compresseurs centrifuges pour moteurs d'aviation.

Un metodo para el cálculo del aumento de la presión en los difusores de los compresores centrifugos para motores de aviación.

Il deciso orientamento della tecnica aeronautica verso il massimo aumento della quota nominale dei motori — orientamento imposto soprattutto dalle esigenze dell'impiego militare degli aeroplani — ha posto all'ordine del giorno tutti i problemi inerenti alla sovralimentazione.

In particolare, ogni attenzione è oggi rivolta alla costruzione dei compressori centrifughi, dai quali i progettisti si sforzano di ottenere le massime prevalenze ed i massimi rendimenti. Fattori i quali influenzano entrambi rispettivamente la pressione e la temperatura di alimentazione e, in conseguenza, determinano — nei limiti imposti dal pericolo della detonazione — la potenza del motore.

Notoriamente, la teoria insegna che incrementi nella prevalenza e nel rendimento dei compressori, si possono ottenere moltiplicando gli stadi della compressione e ricorrendo al raffreddamento intermedio, in considerazione del fatto che il lavoro speso nella compressione isoterma è minore di quello speso nella compressione adiabatica.

Esigenze di economia, di semplicità, e soprattutto di ingombro — di importanza decisiva nei riguardi della installazione del motore a bordo di velivoli veloci — consigliano spesso tuttavia di ricercare un compromesso tra le prestazioni del compressore e il suo volume.

Per questo motivo si sono intensificate le ricerche sui perfezionamenti del compressore a comando meccanico ad uno stadio ed una velocità, e sulla massima quota di ripristino dei motori forniti di compressori di tale specie.

Così, mentre da un lato, per aumentare la prevalenza, si sono raggiunti e qualche volta superati i limiti sonori con la velocità di uscita dell'aria dalla girante, d'altro lato si è curato al massimo lo studio dell'aumento di pressione conseguibile nel diffusore, nonché il rendimento della diffusione stessa.

L'importanza del disegno del diffusore in sede di progetto dei compressori centrifughi per motori d'aviazione deriva dal fatto che le perdite fluidodinamiche più importanti subite dal fluido durante la compressione si verificano nel diffusore, in seno al quale la trasformazione dell'energia cinetica dell'aria mandata dalla girante, in energia di pressione, avviene con rendimento sempre assai minore dell'unità.

Tra i diversi metodi di calcolo dell'aumento di pres-

sione nel diffusore, offerti dalla letteratura specifica, forse nessuno consente risultati sicuri causa le numerose ipotesi semplificative, alle quali essi sono subordinati.

Per tale motivo crediamo non inutile presentare in questa nota un metodo di calcolo, il quale, attraverso i risultati di una serie di esperienze di diffusione effettuate presso l'Istituto Aeronautico di Mosca, ha dimostrato di consentire una pregevole approssimazione.

Il metodo sottoposto consiste nel porre a base dei

calcoli il lavoro di attrito dell'aria contro le pareti del diffusore, nella ipotesi che il calore di attrito così prodotto venga ceduto integralmente al fluido.

A tale scopo sono stati determinati sperimentalmente i coefficienti di attrito in diffusori delle forme più semplici, con angolo di apertura di 8°.

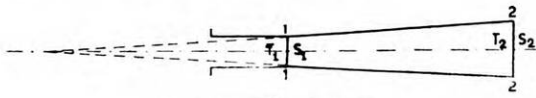


Fig. 1 - Diffusore conico.

Teoria del processo di diffusione.

Nel diffusore conico di fig. 1 siano noti: la temperatura T_1 , la pressione P_1 , la velocità c_1 , il volume specifico v_1 , dell'aria nella sezione 1-1, di superficie S_1 , nonché la superficie S_2 della sezione 2-2.

Se supponiamo che durante la trasformazione il calore di attrito venga ceduto integralmente all'aria, possiamo scrivere:

$$1) \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = \frac{k}{k-1} R (T_1 - T_2)$$

dove k ed R rappresentano rispettivamente l'esponente adiabatico e la costante di elasticità dell'aria.

La 1) può trasformarsi nella

$$2) \frac{c_1^2}{2g} \left[1 - \frac{c_2^2}{c_1^2} \right] = \frac{k R T_1}{k-1} \left[\frac{T_2}{T_1} - 1 \right]$$

Se esprimiamo il rapporto $\frac{c_2}{c_1}$ mediante la:

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

(in cui γ è il peso specifico dell'aria) ed il rapporto $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ mediante il rapporto delle temperature nel processo

politropico con esponente m : $\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{m-1}}$

introducendo tali espressioni nella 2) otteniamo:

$$3) \frac{c_1^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right] = \frac{k R T_1}{k-1} \left[\frac{T_2}{T_1} - 1 \right]$$

L'espressione $k g R T_1 = \lambda^2$, misura il quadrato della velocità del suono e per tanto effettuando la sostituzione predetta si ottiene:

$$4) \frac{k-1}{2} \left(\frac{c_1}{\lambda_1} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \left(\frac{1}{x} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right] = x - 1$$

dove con x si rappresenta il rapporto incognito $x = \frac{T_2}{T_1}$.

Se $k = 1,4$ si ottiene in definitiva:

$$5) 0,2 \left(\frac{c_1}{\lambda_1} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \left(\frac{1}{x} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right] = x - 1.$$

Poichè c_1 e T_1 sono noti, è noto pure

$$\lambda_1 = \sqrt{k g R T_1} \text{ e pertanto è noto pure } \frac{c_1}{\lambda_1}.$$

Mediante la 5) si può quindi determinare il valore di $x = \frac{T_2}{T_1}$ se si conosce a priori il valore dell'esponente politropico m .

E' conveniente porre $m = 2$ poichè in realtà nei processi di diffusione $m \approx 1,8 \div 1,9$.

Noto il rapporto $\frac{c_1}{\lambda_1}$ l'equazione 5) può risolversi

graficamente attribuendo diversi valori ad x e determinando il rapporto S_2/S_1 .

Stabilendo dapprima i valori limiti di x , se $S_2/S_1 = 1$ è ovviamente: $x = 1$; se $S_1 = \infty$ e $S_2/S_1 = 0$ il valore di x è $1 + 0,2 \left(\frac{c_1}{\lambda_1} \right)^2$. Definiti in tale guisa i va-

lori limiti si può tracciare in coordinate x e S_2/S_1 una curva che si approssima al suo valore limite già per $S_2/S_1 = 4 \div 5$. Introducendo in luogo dell'esponente $m = 2$ l'esponente $m = k = 1,4$, si ottengono differenze non grandi nei valori di x , mentre la curva, alquanto sopraelevata rispetto alla precedente, tende allo stesso limite.

In fig. 2 sono tracciati i valori di x per i diversi va-

lori del rapporto $\frac{c_1}{\lambda_1}$.



Definita in tal modo la grandezza approssimata della temperatura nella sezione 2-2 del diffusore, determiniamo l'esponente m nella ipotesi che tutto il lavoro di attrito si trasformi in calore comunicato all'aria, mediante la

$$6) q_{1-2} = A R [T_2 - T_1] \left[\frac{k}{k-1} - \frac{m}{m-1} \right]$$

La quantità di calore q_{1-2} vale $A L_r$.

in cui L_r rappresenta il lavoro di attrito determinabile con la

$$7) L_r = \xi \frac{l}{r_m} \frac{c_1^2}{2g}$$

dove ξ , l , r_m rappresentano rispettivamente il coefficiente di attrito, la lunghezza del canale diffusore ed il suo raggio medio (rapporto fra la superficie della sezione retta e il suo perimetro).

Determinato in tal modo il valore di m , possiamo calcolare la pressione esistente nella sezione 2-2 mediante la

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}}$$

Determinazione sperimentale del coefficiente di attrito.

Allo scopo di poter introdurre nella 7) valori attendibili del coefficiente ξ (onde poter calcolare il lavoro di attrito L_a e, attraverso esso, definire l'esponente m , nonchè, infine, determinare il valore della pressione p_2 alla fine della diffusione), presso il Laboratorio Motori dell'Accademia Aeronautica Joukowsky di Mosca furono condotti esperimenti con tre tipi di diffusori

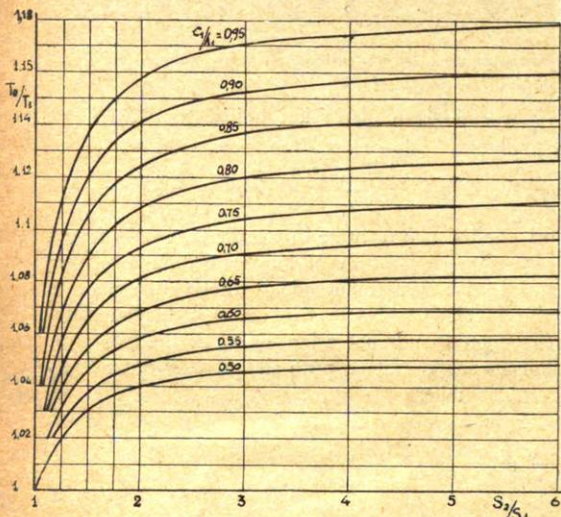


Fig. 2 — Variazioni del valore di T_2/T_1 in funzione di S_2/S_1 in un processo di diffusione con $k = m = 1,4$ per valori di $\frac{c_1}{c_0}$ variabili da 0,5 a 0,95.

delle forme più semplici, a sezione rispettivamente circolare, quadrata e rettangolare, con angolo di apertura costante di 8° .

L'attrezzatura per le prove è schematizzata in fig. 3; essa comprende un compressore centrifugo alimentante il diffusore nelle cui diverse sezioni vennero inseriti

manometri per la misura della pressione statica esistente. Le sezioni furono scelte in guisa che la loro superficie fosse 1,5; 2; 3; 4, etc. volte maggiore della sezione iniziale S_1 . Nel diffusore circolare la superficie dell'ultima sezione era 16 volte maggiore della prima. Tuttavia, poichè l'esperienza dimostrò che l'aumento della pressione nelle sezioni dopo la nona era trascurabile, nelle esperienze con diffusori a sezioni quadrate e rettangolari l'espansione si limitò alla sezione 9 volte maggiore di quella iniziale. Termometri opportunamente disposti, misuratori di portata e farfalle regolatrici del flusso a monte e a valle del compressore completavano l'apparato sperimentale.

Nel corso delle prove furono determinati:

la portata d'aria Q Kg/sec nel compressore e quindi nel diffusore;

la temperatura T_m dell'aria di mandata del compressore;

la pressione statica p nelle diverse sezioni del diffusore.

Elaborazione dei risultati.

La temperatura misurata T_m dell'aria nel condotto di mandata del compressore rappresenta la temperatura dell'aria alla velocità zero, poichè tale è approssimativamente la velocità dell'aria presso il bulbo del termometro a valle del compressore.

Dalla:

$$8) I_0 + A \frac{c_0^2}{2g} = I_1 + A \frac{c_1^2}{2g}$$

in cui I_0 e I_1 rappresentano rispettivamente i contenuti di calore dell'aria nelle sezioni 0—0 e 1—1 del tubo di mandata, nelle quali la velocità dell'aria è rispettivamente $c_0 = 0$, e c_1 si ha

$$9) I_0 = I_1 + A \frac{c_1^2}{2g} \quad \text{ovvero}$$

$$10) c_p T_0 = c_p T_1 + A \frac{c_1^2}{2g}$$

Mediante l'espressione della portata $Q = S c \gamma$ (γ = peso specifico dell'aria) si determina la velocità

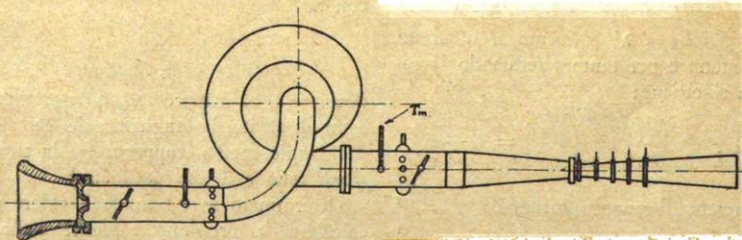


Fig. 3 — Attrezzamento sperimentale per esperienze di diffusione.

$$11) \quad c = \frac{Q}{S \gamma};$$

con la $\frac{p}{\gamma} = RT$ si determina γ , che introdotta nella 11) dà:

$$c = \frac{Q R T}{p S}.$$

Sostituendo $\frac{c_p}{A} = \frac{k}{k-1} R$ nella 10) otteniamo:

$$12) \quad \frac{k}{k-1} R T = \frac{k}{k-1} R T + \frac{Q^2 R^2 l^2}{2 Q S^2 p^2}$$

nella quale sono note tutte le grandezze ad eccezione di T , temperatura nella sezione S , determinabile mediante la stessa 12) (1).

Noto T , si può calcolare il volume specifico v in ogni sezione del diffusore e tracciare la rappresentazione grafica della trasformazione in coordinate p, v , dalla quale è facile risalire al lavoro di compressione dell'aria nel diffusore

$$L_p = \int_1^2 \frac{dp}{\gamma}$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla sezione iniziale e finale del diffusore.

La superficie tratteggiata di fig. 4 moltiplicata per

(2) Un metodo per la soluzione della 12) può essere il seguente: trasportando da un lato tutti i membri dell'equazione si ottiene

$$T^2 \frac{Q^2 R}{2g S^2 p^2} + \frac{k}{k-1} T - \frac{k}{k-1} T_m = 0$$

e dividendo per $\frac{k}{k-1} T_m$:

$$\frac{Q^2 R}{2g S^2 p^2} \frac{k-1}{k} T_m \left(\frac{T}{T_m}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_m}\right) - 1 = 0$$

$$\text{Ponendo } \frac{T}{T_m} = x; \quad \frac{Q^2 R}{2g S^2 p^2} \frac{k-1}{k} T_m = a$$

$$a x^2 + x - 1 = 0 \quad \text{onde } x = \frac{-1 + \sqrt{1+4a}}{2a}$$

Risolviendo $\sqrt{1+4a}$:

$$(1+4a)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2} 4a + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - 1\right) \frac{1}{2} (4a)^2 = 1 + 2a - 2a^2$$

$$\text{quindi } x = \frac{-1 + 1 + 2a - 2a^2}{2a} = 1 - a$$

$$e \quad \frac{T}{T_m} = 1 - a$$

Per definire T in ogni sezione del diffusore occorre determinare

$$a = \frac{Q^2 R}{2g S^2 p^2} \frac{k-1}{k} T_m$$

sostituendo ad S e p i valori che loro competono nelle varie sezioni.

le scale di p e di v rappresenta il predetto lavoro di compressione.

Determinata quindi la velocità nella sezione generica del diffusore

$$c = \frac{Q}{S} v$$

mediante la

$$13) \quad L_r = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} = - \int_1^2 \frac{dp}{\gamma} = L_r$$

si può determinare il lavoro L_r dissipato in attrito fra la prima sezione e quella generica:

$$14) \quad l_r = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} = \int_1^2 \frac{dp}{\gamma}$$

Ricavato in tal modo il lavoro di attrito tra la prima e le successive sezioni del diffusore separate dalla di-

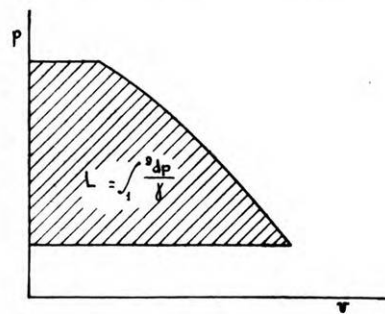


Fig. 4 — Calcolo del lavoro equivalente all'aumento di pressione.

stanza $l_1, l_2 \dots$ ecc.; e conoscendo i raggi medi delle sezioni, è possibile determinare i coefficienti d'attrito ξ dell'aria

$$16) \quad L_r = \xi \frac{l_1 - 2c_1^2}{2g} \quad \text{da cui } 17) \quad \xi = \frac{L_r}{l_1 - 2c_1^2} \cdot \frac{r_m}{2g}$$

dove ξ si riferisce alla velocità iniziale.

Come si vede ξ viene determinato in base alla velocità nella prima sezione.

L'esperienza ha dimostrato che il coefficiente ξ determinato in questo modo varia con la lunghezza del diffusore e col rapporto delle sezioni finali a quella iniziale. Una complicazione nasce dal fatto che, se si considera come sezione iniziale una sezione successiva alla $r-1$, allora la distanza tra la prima e la seconda sezione considerata è differente, com'è facile riscontrare esaminando la fig. 5. Invero la distanza tra S_1 ed $S_2 = 2S_1$ è diversa dalla distanza tra le sezioni S_2 e la sezione $S_4 = 2S_2$. Non è quindi lecito impiegare il coefficiente ξ ricavato dalla 17), inquanto ξ diminuisce col crescere delle sezioni.

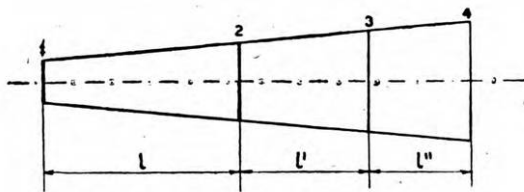


Fig. 5 — Variazione della distanza tra le sezioni esaminate.

Onde ricavare il vero valore di ξ riferito alla velocità dell'aria, il lavoro di attrito è stato determinato mediante la

$$18) L_r = \xi \int_1^2 \frac{dl}{r_m} \frac{c^2}{2g}$$

nella quale figurano le grandezze variabili c , dl , r_m .

Sull'asse dell'ascisse fu riportata la lunghezza del diffusore dalla sezione 1—1 a tutte le successive, mentre sull'asse delle ordinate vennero riportati i valori di $\frac{c^2}{2g r_m}$ tracciando quindi la curva con i valori delle varie sezioni del diffusore, nelle quali erano noti c e r_m (fig. 6).

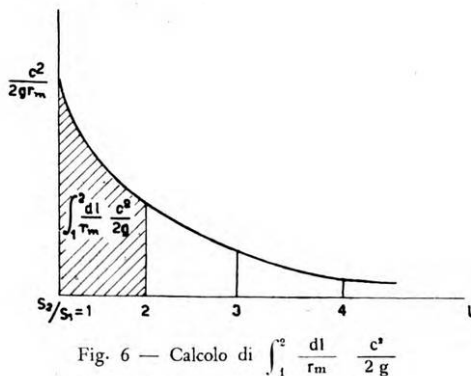


Fig. 6 — Calcolo di $\int_1^2 \frac{dl}{r_m} \frac{c^2}{2g}$

La superficie tratteggiata nel diagramma, moltiplicata per la scala, rappresenta l'integrale

$$\int_1^2 \frac{dl}{r_m} \frac{c^2}{2g}$$

Nota così il valore di L_r si può ricavare il vero valore di ξ riferito alla velocità di efflusso:

$$\xi = \frac{L_r}{\int_1^2 \frac{dl}{r_m} \frac{c^2}{2g}}$$

Con tale sistema fu determinato ξ per tre tipi di diffusori a sezione circolare, quadrata e rettangolare.

Caratteristiche geometriche dei diffusori sperimentati.

Le caratteristiche geometriche dei diffusori (fig. 7-9) sono riportate nelle tabelle I e II e III insieme con diversi valori del rapporto S_2/S_1 , tra la superficie in cui si misurava la pressione e quella iniziale.

Tabella I. (Fig. 7) - Diffusore quadrato.

$\frac{S_2}{S_1}$	Lato del quadrato cm.	Lunghezza l dalla sezione iniziale cm.	Superficie della sezione S_2 cm. ²	Perimetro della sezione cm.	Raggio medio cm.
1	2,21	0	4,88	8,84	0,55
1,5	2,71	3,58	7,34	10,83	0,68
2	3,13	6,59	9,79	12,52	0,78
3	3,83	11,6	14,67	15,32	0,96
4	4,42	15,9	19,54	17,68	1,1
5	4,95	19,6	24,46	19,75	1,24
6	5,42	23,0	20,37	21,68	1,36
7	5,85	26,1	34,22	23,4	1,46
8	6,25	28,9	39,10	25,0	1,56
9	6,63	31,8	43,96	26,55	1,66

Tabella II. (Fig. 8) - Diffusore piatto.

Un lato a della sezione rettangolare del diffusore rimane costante e = 1,1 cm.

$\frac{S_2}{S_1}$	Lato del rettangolo b cm.	Lunghezza l dalla sezione iniziale cm.	Superficie della sezione S_2 cm. ²	Perimetro della sezione cm.	Raggio medio cm.
1	2,21	0	2,43	6,62	0,367
1,5	3,32	7,86	3,64	8,84	0,414
2	4,32	15,89	4,86	11,04	0,439
3	6,62	31,5	7,29	15,44	0,471
4	8,85	47,5	9,73	19,9	0,488
5	11,94	63,2	12,15	24,28	0,496
6	13,25	79,04	14,58	28,7	0,508
7	15,44	94,8	17,00	32,9	0,516
8	17,68	110,1	19,45	37,6	0,519

Tabella III. (Fig. 9) - Diffusore circolare.

$\frac{S_2}{S_1}$	Diametro della sezione cm.	Lunghezza dalla sezione iniziale cm.	Superficie della sezione S_2 cm. ²	Raggio medio cm.
1	2,5	0	4,91	0,625
1,5	3,06	4,0	7,36	0,765
2	3,45	7,43	9,82	0,861
3	4,33	13,08	14,73	1,032
4	5,0	17,86	19,63	1,25
5	5,6	22,15	24,55	1,4
6	6,13	25,94	29,45	1,53
7	6,61	—	34,35	1,65
8	7,07	—	—	1,77
9	7,5	—	44,2	1,87

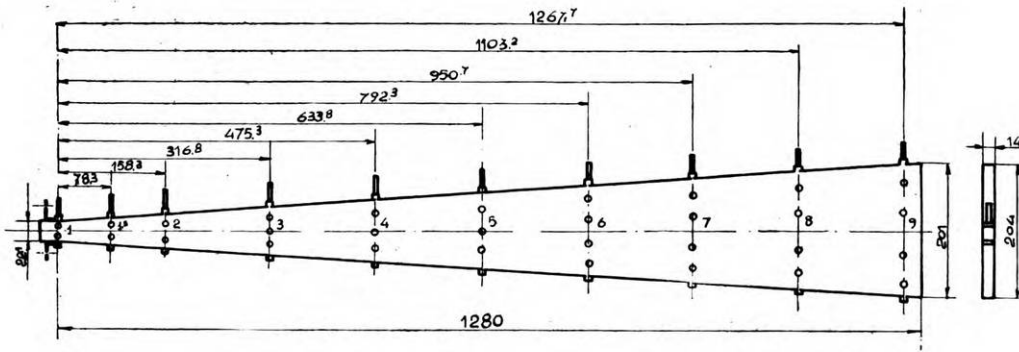


Fig. 7 — Diffusore a sezione quadrata.

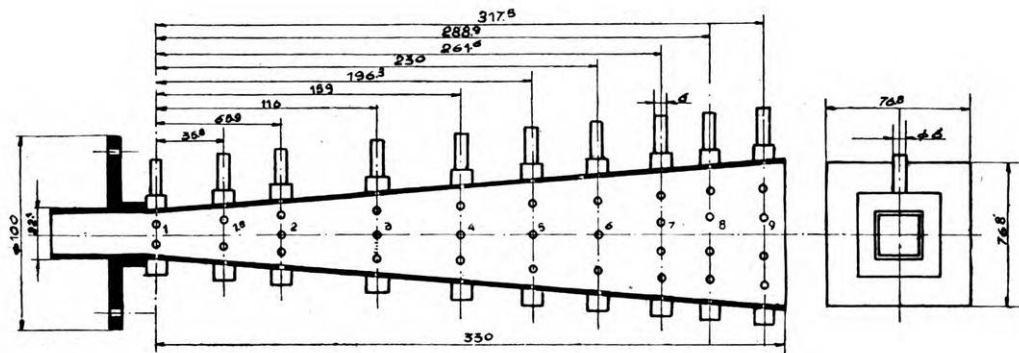


Fig. 8 — Diffusore a sezione rettangolare.

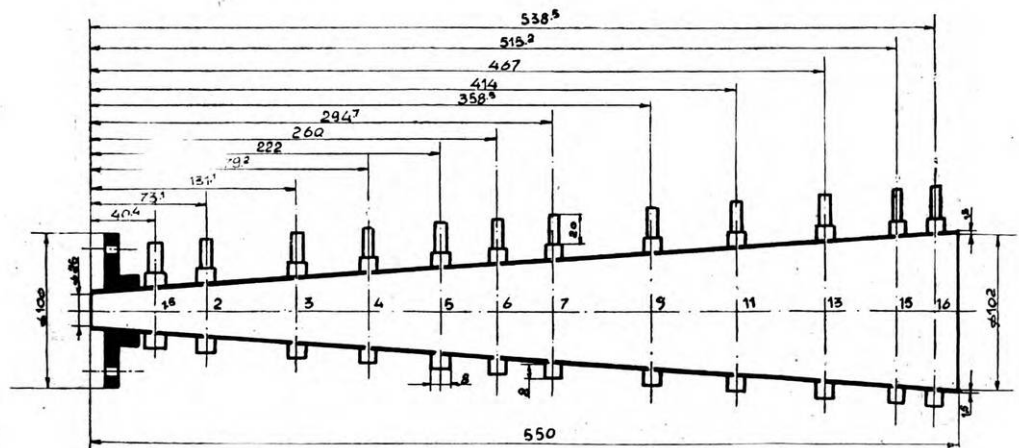


Fig. 9 — Diffusore conico

I valori dei coefficienti ξ ottenuti come valore medio dei risultati di numerose prove eseguite con i diffusori sopra descritti sono i seguenti:

Per il diffusore a sezione quadrata $\xi = 0,055 \div 0,06$
 Per il diffusore a sezione rettangol. $\xi = 0,05$
 Per il diffusore circolare $\xi = 0,085 \div 0,09$

Come si vede, il valore del coefficiente ξ risulta diverso a seconda del tipo di diffusore, attingendo il suo valore massimo per il diffusore a sezione circolare ed il minimo per quello a sezione rettangolare.

Inoltre il coefficiente stesso varia alquanto con la lunghezza del diffusore assumendo pertanto valori diversi per diversi valori del rapporto S_2/S_1 , come si può verificare dalla tabella seguente.

Diffusore		S_2/S_1					Velocità nella sezione iniziale m/sec.
		1,5	2	3	4	5	
Quadrato Prova	N. 1	0,058	0,057	0,053	0,051	0,049	147
	N. 2	0,058	0,058	0,054	0,052	—	152,8
	N. 3	0,063	0,06	0,056	0,053	—	218,5
Piatto »	N. 1	0,043	0,037	0,032	0,033	—	217,5
	N. 2	0,06	0,045	0,041	0,04	—	257,5
Conico »	N. 1	0,10	0,09	0,086	0,081	0,079	272,5

La giustificazione di tale risultato può consistere nel fatto che il coefficiente ξ che noi calcoliamo mediante il rapporto

$$\frac{L_r}{\int_1^2 \frac{dl}{r_m} \frac{c^2}{2g}}$$

può riflettere due fenomeni: l'attrito e la diminuzione di energia dovuta alla espansione del fluido nel diffusore. E' presumibile che il coefficiente di attrito dell'aria si presenti sensibilmente costante nei diversi tipi di diffusori (quadrato, piatto, conico) mentre il coefficiente che esprime la dilatazione dell'aria assume valori tanto maggiori quanto più sentitamente tale fenomeno si manifesta; il che giustificerebbe il valore minimo di ξ , verificato per il diffusore piatto nel quale l'aria si espande soltanto in direzione delle due pareti divergenti; mentre nel diffusore quadrato l'espansione avviene in 4 direzioni e in quello circolare in tutte le direzioni.

Anche la velocità di efflusso dell'aria nel diffusore è apparsa dagli esperimenti avere scarsa influenza sulla grandezza di ξ . Le prove furono fatte con velocità variabili da 150 a 270 m/sec, come quelle più vicine alle velocità occorrenti nella pratica dei diffusori dei compressori.

Occorre far presente che il coefficiente ξ determinato nel modo anzidetto mediante il calcolo del lavoro di attrito L_r , dimostrò di attingere in quasi tutte le prove, valori non verisimili dopo la sezione $S_2/S_1 = 4$.

Sino a quella sezione L_r aumenta; dopo, incomincia a diminuire alquanto; dal chè si deduce che oltre tale sezione il proceso di diffusione non si svolge più adiabaticamente, ma che col crescere della superficie del diffusore lambita dal fluido diventa sensibile il calore ad essa ceduto dall'aria.

Nel diagramma p. v. la curva rappresentativa del processo di compressione presenta un ginocchio proprio in corrispondenza della sezione $S_2/S_1 = 4$.

Prove con diffusori a pareti termicamente isolate malauguratamente non furono eseguite.

Determinazione del valore della pressione dell'aria nel diffusore mediante il coefficiente di attrito — ricavato dalle esperienze descritte.

Nel diffusore in esame, di caratteristiche geometriche note, si conoscono la velocità c_1 del fluido nella sezione iniziale, la velocità del suono λ_1 , la pressione p_1 , il volume specifico v_1 , la temperatura T_1 .

Si vuol determinare la grandezza di c_2, p_2, T_2, v_2 dell'aria all'uscita del diffusore. L'aumento di pressione avviene mediante una trasformazione ad esponente $m = 2$. Introducendo tale esponente nella

$$(5 \text{ ripetuta}) \quad 0,2 \left(\frac{c^2}{\lambda_1} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \left(\frac{1}{x} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right] = x - 1$$

nella quale è $\frac{T_2}{T_1} = x$ si può ricavare T_2 .

Per $m = 2$ l'equazione 5) può essere risolta mediante sostituzioni impiegando per x vari valori (da $x = 1$ fino a $x = 1 + 0,2 \frac{c_1}{\lambda}$, il chè corrisponde al caso $S_1/S_2 = 0$, ovvero $S_2 = \infty$) e determinando il rapporto S_2/S_1 . La curva dei valori di T_2/T_1 in funzione di S_2/S_1 dimostra che dapprima T_2/T_1 sale rapidamente e poscia più lentamente.

La trasformazione può svolgersi in realtà secondo un esponente $m \neq 2$, ma prossimo a tale valore; la temperatura T_2 subirà perciò una variazione piccola e pertanto l'errore nella valutazione T_2 provocato dall'ipotesi aprioristica di $m = 2$ sarà trascurabile.

Si può determinare ora il valore di p'_2 mediante la

$$\frac{p'_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}}$$

dove p'_2 è la pressione esistente nelle sezioni del diffusore calcolata in base all'ipotesi $m = 2$.

E' necessario ripetere il calcolo per 3-4 sezioni intermedie tra l'entrata e l'uscita del diffusore. Per tali sezioni verranno determinati il volume specifico v' e la velocità c' essendo nota la portata Q .

Conoscendo in ogni sezione c' e r_m , calcoliamo $\frac{(c')^2}{2g r_m}$

e tracciamo la curva dei valori di tali rapporti al variare delle lunghezze dl del diffusore, riportate in ascisse.

La superficie compresa fra la curva e la corrispondente ordinata, moltiplicata per la scala del diagramma e per il coefficiente di attrito ξ ottenuto dalle prove

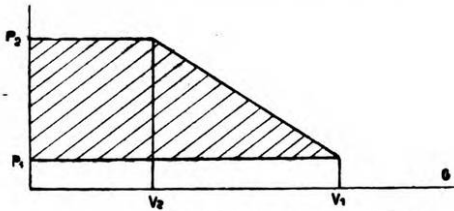


Fig. 10 — Lavoro di compressione dell'aria.

precedentemente descritte (Fig. 10) misura il lavoro di attrito

$$L_r = \xi \int_1^2 \frac{(c')^2}{2g r_m} dl$$

Supponendo che tutto l'attrito sia trasformato in calore q_{1-2} si può determinare il vero esponente polipropico m secondo il quale avviene la trasformazione:

$$q_{1-2} = AR [T_2 - T_1] \left[\frac{k}{k-1} - \frac{m}{m-1} \right]$$

Il valore di m così determinato può essere introdotto nella

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}}$$

mediante la quale si può calcolare p_2 e, finalmente, attraverso l'equazione di continuità, c_2 .

Per rendere l'idea della approssimazione ottenibile con il metodo di calcolo esposto, si è calcolata la varia-

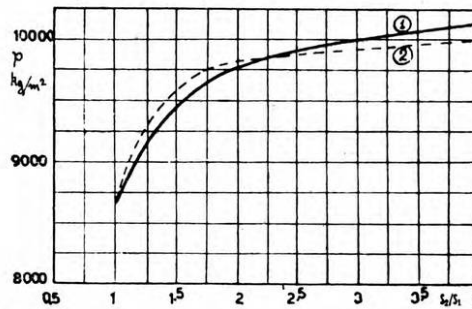


Fig. 11 — Calcolo della pressione raggiunta nel diffusore essendo noti nella sezione 1-1: $C_1 = 218,5$ m/ec.;

$T_1 = 297,50$.

$p_1 = 8655$ kg/m²; $Q = 0,106$ kg/sec; $S_1 = 0,000488$ m².

(1) Valori di p_2 misurati; (2) Valori di p_2 calcolati.

zione di pressione nel diffusore a sezione quadrata, misurando p_1, c_1, S_1, T_1, v_1 nella sezione 1-1 e calcolando poscia p_2 nelle varie sezioni.

Nella Fig. 11 sono riportate, a scopo comparativo, due curve rappresentative dei valori di p ottenuti dal calcolo e dalla esperienza. Si può vedere che i valori calcolati sono abbastanza prossimi a quelli misurati in sede di esperienze e che l'approssimazione è soddisfacente per valori di $S_2/S_1 = 2 \div 3$, occorrenti nella pratica dei diffusori dei compressori per motori d'aviazione.