

SUI VENTILATORI ELETTRICI
del Dott. LUIGI PASQUALINI.

(Largo sunto della Memoria pubblicata nella *Rivista Marittima*,
Dicembre 1893, Maggio 1894).

In questo interessante studio sui ventilatori elettrici il Prof. Pasqualini stabilisce una maniera assai logica e chiara di trattare la questione della ventilazione per mezzo di apparecchi meccanici aeromotori. Nel corso del suo lavoro, già abbastanza condensato in una cinquantina di pagine, la parte sperimentale si associa assai bene alla parte teorica e da considerazioni particolari ai ventilatori elettrici si passa a considerazioni generali sul movimento dell'aria nelle condotte complesse. Procureremo riassumere qui, più che il lavoro, le idee dell'A., principalmente per invogliare chi voglia acquistare idee chiare sugli apparecchi di ventilazione, a leggere lo studio completo.

Un fluido aeriforme si muove in una condotta per effetto di una differenza di pressione, ossia di una forza aeromotrice: alla radice quadrata di questa f. a. m. è proporzionale la velocità che si stabilisce, ossia la portata: il rapporto della differenza di pressione al quadrato della portata è quello che dicesi *resistenza* della condotta: in una condotta chiusa la massima differenza di pressione è

$$H = \int dh = Q^2 \int dr.$$

Ciò è noto a tutti. La resistenza di ogni singolo tratto di condotta è funzione della lunghezza, forma e dimensioni delle pareti, e della densità dell'aria: la resistenza alla densità 1 è una costante ρ della conduttura: alla densità δ è

$$r = \rho \delta.$$

Ogni circuito di ventilazione, con la bocca di aspirazione e quella di mandata nell'atmosfera, può sempre considerarsi come cir-

cuito chiuso, completato da un tratto di sezione infinitamente grande, nell'atmosfera: non esistenti i termini dell' $\int dr$ per esso tratto fuori che per due termini relativi alla resistenza delle bocche estreme. Per mantenere un flusso d'aria Q alla densità δ nella condotta di resistenza ρ è necessaria una differenza di pressione utile

$$h = \rho \delta Q^2,$$

ma la quantità Q di aria deve traversare anche il ventilatore, che presenta esso stesso una resistenza ρ_0 : quindi in realtà si richiede lo sviluppo di una f. a. m. totale:

$$H = Q^2 \delta (\rho + \rho_0).$$

La differenza $H - h$ è una perdita di carico nel ventilatore: la f. a. m. è una funzione della velocità del ventilatore: la portata una funzione della f. a. m., ossia della velocità, e della resistenza della condotta. Nella stessa condotta darà maggior effetto un ventilatore di maggior f. a. m. a parità di giri, e di minor resistenza interna: questi due dati caratterizzano un ventilatore, ma per la pratica è necessario conoscere il lavoro assorbito nell'unità di tempo. Scelte convenientemente le unità, millimetri d'acqua per le pressioni, metri per le velocità, metri cubi al secondo per le portate, (e giova osservare che ne deriva per unità di resistenza quella di una condotta che sotto la pressione di un millim. d'acqua lascia passare 1 m^3 d'aria della densità unitaria), scelti i watt come unità di potenza, in vista dell'applicazione del motore elettrico l'A. stabilisce la formula della potenza

$$(1) \quad P_{\text{watt}} = 9.81 QH + AN(H - BQ^2) + L_r$$

in cui

Q è la quantità d'aria per $1''$;

H la f. a. m.

N il numero dei giri per $1''$;

A e B due costanti del ventilatore;

L_r la potenza consumata per attrito sui perni a N giri.

Il primo termine, si capisce, è il lavoro per vincere gli attriti nella condotta: il secondo, generalmente trascurato o messo

male a calcolo, è dovuto alla pressione statica che si esercita sulle palette del ventilatore. Se il ventilatore funziona a bocca chiusa, a comprimere aria in un ambiente chiuso, tale pressione antagonista è la stessa f. a. m. H : se invece vi è una qualche portata, questa pressione è la f. a. m. diminuita di un qualche cosa proporzionale al quadrato della velocità, ossia della portata. La formula mostra, derivando, che per

$$Q > \frac{9.81 H}{2ANB\delta},$$

aumenta il lavoro sull'asse al diminuire della portata: pei ventilatori elicoidali il prodotto AB è grande, cosicchè praticamente si ha il maggior assorbimento di lavoro quando il ventilatore lavora a bocca strozzata: il contrario accade nei ventilatori centrifughi nei quali il lavoro speso è massimo quando minima è la resistenza della condotta esterna.

Non è massima in tal caso l'effetto utile: è facile riconoscere che si ha il massimo effetto quando la resistenza della condotta è doppia di quella del ventilatore. Il rendimento poi si ha in generale dalla espressione

$$\eta = \frac{9.81 QH}{9.81 QH + AN(H - BQ^2\delta) + L_r}$$

L'A. mostra poi come sperimentalmente si possano dedurre i valori di A e B per un dato ventilatore. Si esige una misura preliminare del termine L_r : conviene da molte osservazioni dedurre la curva

$$L_r = \phi(N).$$

Il numero dei watt assorbiti dal ventilatore potrà determinarsi in ogni caso misurando i volt e gli ampère necessari al motore elettrico e togliendo i watt perduti per effetto Joule nei conduttori. Da una misura a bocca chiusa ($Q = 0$) si ha per la (1)

$$P_{\text{watt}} = ANH + L_r$$

dove A , e in questa misura si devono leggere volt, ampère, millimetri d'acqua di pressione e giri.

Da una ulteriore esperienza a bocca più o meno aperta si deduce B dalla (1) con le stesse misure di prima, più una mi-

sura della portata Q , alla quale misura si può sostituire una misura di h , pressione utile per l'efflusso, ed è lo stesso perchè si può sempre calcolare la portata come radice quadrata della perdita di carico $H - h$ nel ventilatore divisa per la resistenza, ove questa sia già nota. Tutte queste misure sono difficili a fare con esattezza e perciò è sempre conveniente fare delle serie di esperienze. Nel caso dei ventilatori centrifughi pei quali non si manifestano certe complicazioni che appaiono negli elicoidali, si può osservare a bocca chiusa che la f. a. m. H è proporzionale al quadrato del numero dei giri. Conviene dunque fare una serie di misure a velocità differenti e dedurre il valore medio della costante

$$K = \frac{H}{N^2 \delta}$$

in seguito di che alla velocità N conviene assegnare la f. a. m. $KN^2 \delta$ anzichè la osservata. Quindi da una serie di osservazioni a bocca chiusa e a velocità differenti si può calcolare il valore medio di

$$A = \frac{P - L_r}{KN^3 \delta}.$$

Similmente conviene dedurre B da una serie di osservazioni a bocca aperta. Necessariamente la misura della resistenza interna esige una misura di portata: esige poi una misura di pressione che può risparmiarsi col calcolo. Se alla velocità di N giri, cui corrisponde la f. a. m. H si ha la portata Q la pressione utile è

$$H_0 = \frac{H - 1000 \frac{Q^2}{2g s^2} \delta}{Q^2}$$

Molte tabelle di dati sperimentali persuadono il lettore della esattezza dei ragionamenti e lo invogliano a verificarle con un ventilatore elettrico. Non sono necessari molti mezzi per fare queste esperienze che conducono alla costruzione del diagramma del ventilatore, dal quale a colpo d'occhio si possono vedere tutti i possibili stati di funzionamento dell'apparecchio.

Il diagramma è costituito da varii sistemi di curve:

1. Il sistema delle caratteristiche del motore elettrico: ogni curva è tracciata per $N =$ costante ed ha per ascisse gli

ampère nell'armatura e per ordinate i volt di f. c. e. m.: il rettangolo delle coordinate ci dà dunque i watt utili. Nel caso dei motori in serie, generalmente adoperati, queste caratteristiche sono curve omologiche: le ordinate di una curva hanno un rapporto costante con le corrispondenti di un'altra curva.

2. Il sistema delle curve di egual potenza che sono iperboli equilateri: il rettangolo delle coordinate ci dà ancora dei watt.

3. Il sistema di curve di egual portata. Per costruire tali curve si calcola P per $Q = \text{costante}$ e per N variabile. Alla velocità N_1 corrisponde la potenza P_1 : l'iperbole P_1 taglia la caratteristica N_1 in un punto che appartiene alla curva $Q =$ alla costante che si considera.

Si completa il diagramma con altre curve.

Per ogni velocità si ha una certa portata massima: a N_1 giri $Q_{1\text{max}}$: la curva di portata costante $Q_{1\text{max}}$ taglia la caratteristica N_1 in un punto al disopra del quale non è evidentemente possibile il funzionamento del ventilatore. Tutti questi punti sulle varie caratteristiche ci determinano una curva di massime portate, curva che è anche di resistenza $=$ costante, perchè la massima portata si ha con la resistenza minima, con quella cioè del ventilatore e della sua bocca di uscita.

Il campo di funzionamento del complesso ventilatore elettrico è limitato inferiormente dalla curva di portata 0, ossia di resistenza costante infinitamente grande: tra queste due curve si potrebbero tracciare tutte le curve di resistenza costante, lo che complicherebbe assai il diagramma: perciò conviene costruire quelle sole curve che possono servire in vista d'una data applicazione.

Passando dall'apparecchio aeromotore alle condutture d'aria, l'A., continuando nello stesso metodo di ragionamento, stabilisce per esse condotte teoremi analoghi a quelli che si verificano nei circuiti elettrici.

1. Un complesso di condutture diramate da un medesimo punto e convergenti in un medesimo punto presenta una resistenza di cui la radice quadrata è data dal prodotto delle radici delle resistenze dei singoli rami diviso per la somma delle radici stesse.

2. In un circuito qualunque chiuso di una rete di condotte d'aria la somma algebrica delle forze aeromotrici uguaglia la somma algebrica dei prodotti delle resistenze dei varii rami pei quadrati delle rispettive portate.

Nell'applicazione alla ventilazione non si può non tener conto delle variazioni di temperatura e di pressione in quanto chè portano delle differenze di volume: la differenza di temperatura stabilisce poi delle f. a. m. le quali possono aggiungersi od opporsi a quelle stabilite dall'apparecchio aeromotore.

Ora è facile, almeno teoricamente, tener conto di ciò. Poichè fra due punti di una conduttura si ha la differenza di pressione

$$\Delta h = \rho \delta Q^2$$

se B è la pressione, e t la temperatura, riducendoci a 0° e alla pressione barometrica di 760 dovremo porre

$$\Delta h = \rho \delta_0 (1 + \alpha t) \frac{760}{B} Q_0^2$$

dove δ_0 è la densità a 0° e Q_0 il volume a 0° e 760 mill. di pressione.

Perciò la f. a. m. diventa

$$H = Q_0^2 \int \frac{\rho \delta_0 (1 + \alpha t) 760}{B}$$

e tutto quello che si è detto è applicabile in generale purchè si assuma per portata il volume ridotto a 0° e 760° e nel calcolare la resistenza dei varii tratti si ritenga la densità eguale a quella a 0° moltiplicata per il binomio di dilatazione e per il rapporto delle pressioni. Ciò riguardo al calcolo delle resistenze delle condutture, per le quali nel lavoro del Dott. Pasqualini si trovano i soliti coefficienti ridotti però in vista delle unità scelte. Riguardo alla f. a. m. introdotta per le differenze di temperatura essa in un circuito chiuso è data da

$$\int \frac{\delta_0}{1 + \alpha t} dh$$

il quale integrale deve essere esteso a tutto il circuito, percorrendolo sempre in un senso: se esso risulta positivo, si ha una

f. a. m. che tende a far muovere l'aria nel senso della eseguita integrazione. In pratica, divise le condutture in tratti in cui la temperatura sia costante, si avrà la f. a. m. dalla somma

$$H = \delta_0 \sum \frac{\Delta h}{1 + \alpha t}$$

essendo Δh la differenza d'altezza fra le sezioni estreme di ciascun tratto di conduttura.

Il lavoro esaminato si chiude con un esempio numerico di calcolo per la ventilazione di certi ambienti. Piuttosto che riassumere cifre diremo qualche parola sui mezzi impiegati per fare le dette esperienze sui ventilatori elettrici. Sono stati usati vari tipi di ventilatori elicoidali della compagnia americana C. & C., costruiti dalla Società Edison a Milano. Alla bocca di mandata si applicavano secondo i casi tubi di zinco, di vario diametro e lunghezza, muniti talvolta di valvole a farfalla. Le portate erano misurate coi ben conosciuti areometri di Richard. È sempre necessario misurare le velocità di efflusso in vari punti della bocca di mandata ed assumere valori medi. Le pressioni si misuravano con manometri ad acqua, e sempre con due o tre, perchè disponendo di lievi lunghezze di tubi non si riusciva ad avere pressione uniforme alla bocca di efflusso, e si adottava il valore medio letto. Il numero dei giri del ventilatore era desunto da un tachimetro a indicazione continua le cui indicazioni erano state trovate esattissime nei limiti dell'errore di lettura previa taratura mediante un diapason elettromagnetico: giova notare che è della massima importanza commettere il minimo errore nella determinazione del numero dei giri, che nelle formule, esplicitamente o implicitamente entrano sempre alla terza potenza.

In quanto al motore elettrico, trattandosi di motore in serie, si aveva in circuito, un amperometro Ayrton e Perry abbastanza esatto e un voltmetro Weston ai poli. La resistenza elettrica del motore è stata determinata a caldo, con molte misure frenando il motore e misurando ancora la corrente e la differenza di potenziale ai poli e calcolando il rapporto E/I , metodo dei più pratici nelle applicazioni industriali, specialmente trattandosi di piccole resistenze. La corrente era fornita a una dinamo Vic-

toria compound: è indispensabile avere grande costanza di potenziale per l'alimentazione del motore elettrico onde non essere condotti talvolta ad errori grossolani per la variazione del numero dei giri.

DOTT. GIULIO MARTINEZ.

R I V I S T A

Comptes Rendus, — Maggio 1894.

19. — H. GILBAULT. *Emissione dei suoni* (pp. 1037-1039). — L'A. espone il seguito degli studi sull'emissione dei suoni di cui ha dato conto in una precedente Nota ¹⁾. Ora egli ha messo in calcolo l'attrito interno che si può sviluppare in un corpo in vibrazione trovando così in qual modo doveva esser modificata la formola stabilita prima per esprimere la legge di decrescenza delle amplitudini di una sorgente sonora.

M. DUFOUR. *Uguaglianza delle velocità di propagazione di onde elettriche cortissime nello spazio e lungo fili conduttori* (pp. 1039-1042). — L'A. ha trovato con apparecchi e metodo che in questa Nota descrive, che anche per lunghezze d'onda cortissime, cioè fino a cm. 8,5, le velocità di propagazione delle onde elettriche nello spazio e lungo i fili conduttori restano uguali. Sarasin e de la Rive ²⁾ avevano stabilito questa proposizione per lunghezze d'onda fra 80 cm. e 8 m., e l'Hertz ³⁾ per lunghezza d'onda di 30 cm. circa.

20. — P. VILLARD. *Sulle proprietà fisiche del protossido d'azoto puro* (pp. 1096-1099). — L'A. espone due metodi per ottenere ben puro il protossido d'azoto, metodi che sono applicabili anche ad altri gas. Riporta il risultato delle misure fatte per determinare la densità del protossido d'azoto puro liquido e quella del suo vapor saturo a diverse temperature. Stabilisce infine per valore della temperatura critica il valore 33°,8; allora il volume,

¹⁾ *Nuova Cimento* — Terza Serie, Tomo 35, pag. 84.

²⁾ *Archives des Sciences phys. et natur.* t. XXIX, p. 358 e 441, (1893).

³⁾ *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* p. 19.