Appunti di Fisica Tecnica

Capitolo 17 - Argomenti vari

Ugelli e diffusori 1
Turbine 2
Parti principali 2
Turbine idrauliche (lettura) 3
Turbine a gas (lettura) 3
Turbine a vapore (lettura) 3
Impianti di compressione 4
Compressori dinamici 4
Cenni ai compressori volumetrici alternativi 6
Valvola di laminazione 7

UGELLI E DIFFUSORI

Gli **ugelli** sono dispositivi che velocizzano il flusso di un fluido, allo scopo di aumentare l'energia cinetica, a spese dell'entalpia. I **diffusori** hanno invece il comportamento opposto, nel senso che rallentano i flussi allo scopo di aumentare l'entalpia a spese dell'energia cinetica.

Possiamo renderci conto di questi concetti semplicemente applicando l'equazione di bilancio dell'energia valida per sistemi aperti (ossia il primo principio della termodinamica per questo tipo di sistemi): tale equazione, nella sua forma più generale, assume l'espressione

$$\left(h_1 + gz_1 + \frac{w_1^2}{2}\right)\dot{m}_1 + \dot{Q} = \left(h_2 + gz_2 + \frac{w_2^2}{2}\right)\dot{m}_2 + \dot{L} + \frac{dE_{V.C.}}{d\theta}$$

Questa equazione, come è noto, effettua un bilancio di energia tra due generiche sezioni 1 e 2. Facendo l'ipotesi di regime permanente, per cui le proprietà del sistema in ogni punto rimangono invariate nel tempo, sappiamo che $\frac{dE_{V.C.}}{d\theta} = 0$ ed inoltre che $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$, per cui possiamo riscrivere l'equazione nella forma

$$\dot{Q} = \left(\Delta h + g\Delta z + \frac{1}{2}\left(w_2^2 - w_1^2\right)\right)\dot{m} + \dot{L}$$

Possiamo inoltre fare altre 3 semplificazioni: in primo luogo, ugelli e diffusori non sfruttano alcun tipo di lavoro[1], per cui $\dot{L} = 0$; in secondo luogo, tali dispositivi comportano dei processi che avvengono a velocità estremamente elevata, tanto elevata da poterli ritenere adiabatici, per cui è

[1] Ricordiamo che, nei sistemi aperti, l'unico tipo di lavoro che può essere presente è il lavoro di elica

anche $\dot{Q} = 0$; infine, sono generalmente trascurabili le variazioni Δz di quota (pensiamo ad un condotto orizzontale nel quale sia inserito un ugello o un diffusore).

Con queste semplificazioni, possiamo concludere che, per ugelli e diffusori, il bilancio energetico dice che

$$\Delta h + \frac{1}{2}\left(w_2^2 - w_1^2\right) = 0$$

Questa equazione ci conferma quanto detto prima:

- un **ugello** ha l'effetto di aumentare la velocità del fluido: se $w_2 > w_1$, allora $\Delta h < 0$. Quindi l'aumento di velocità avviene a spese dell'entropia;
- un **diffusore** ha invece l'effetto di ridurre la velocità del fluido: se $w_2 < w_1$, allora $\Delta h > 0$. La diminuzione di velocità avviene a vantaggio dell'entropia;

TURBINE

Le turbine (insieme ai compressori che saranno esaminati dopo) sono altri tipici organi che rappresentano dei sistemi aperti.

Una **turbina** *è una macchina motrice di tipo rotativo, a flusso continuo, che trasforma in energia meccanica l'energia potenziale, cinetica o termica posseduta da un fluido.* Essa riceve in ingresso un fluido che, se è sufficientemente veloce (cioè dotato di sufficiente energia cinetica) mette in movimento le pale del sistema; viene così prodotta dell'energia meccanica, a spese della pressione del fluido, che, all'uscita, risulta inferiore rispetto all'ingresso. Il meccanismo è quello per cui si fa espandere il fluido ad alta pressione che arriva in ingresso e tale sbalzo di pressione viene usato per mettere in rotazione la turbina. Banalmente, si tratta dello stesso meccanismo usato per le girandole dei bambini: soffiando verso le pale, si provoca uno sbalzo di pressione che contribuisce a mettere in movimento le pale stesse.

A seconda della natura del fluido operativo si distinguono turbine idrauliche, a gas ed a vapore.

Parti principali

Una turbina è costituita essenzialmente da un involucro a tenuta *(cassa)* in cui si trova una parte rotante (girante o rotore) e da due parti fisse (distributore e deviatore). La *girante*, collegata con l'albero motore, è azionata dal fluido che colpisce una serie di pale applicate alla sua parte periferica. II *distributore* è costituito da una serie di ugelli o di palette, solidali con la cassa, che convogliano il fluido verso la girante. II *deviatore* consiste in una serie di palette che ricevono il fluido all'uscita dalla girante e lo convogliano in una data direzione (per es., allo scarico o, in una t. a più stadi, verso la girante successiva).

Turbine idrauliche (lettura)

Le **turbine idrauliche** trasformano in energia meccanica l'energia cinetica di una massa d'acqua che scende da un livello a un livello inferiore[2].

Ne esistono di tre tipi fondamentali:

- la *t. Pelton*, ad azione (la pressione dell'acqua rimane costante dopo essere passata dalla girante), ad asse generalmente orizzontale, è particolarmente adatta agli alti dislivelli; ha la girante costituita da un disco alla cui periferia sono montate le palette con forma a doppio cucchiaio, contro le quali l'acqua viene portata da uno o più getti regolati da spine interne;
- la *t. Francis*, a reazione (la pressione diminuisce dopo il passaggio nella rotante), ad asse orizzontale o verticale, è usata per medi dislivelli e medie portate; sua caratteristica è la camera forzata a spirale, che dà un primo orientamento all'acqua e ne uniforma la pressione;
- la *t. Kaplan*, a reazione, ad asse generalmente verticale, impiegata nelle centrali idroelettriche di grande potenza, rappresenta il tipo più efficiente; l'elemento fondamentale è la girante a forma di elica, a 2 o più pale (fino a 6), mobili su un mozzo ogivale all'interno del quale si trovano i meccanismi automatici di variazione del passo.

Turbine a gas (lettura)

Se ne distinguono tre tipi: a ciclo aperto, a ciclo chiuso, di recupero.

Le **turbine a ciclo aperto**, o a *combustione interna*, sono azionate dai gas che si sviluppano nella camera di combustione del combustibile (in genere gas naturali o nafta pesante) miscelato con l'aria inviata da un compressore: dopo essere passati per le palette della girante, i gas di combustione si scaricano all'esterno. Sono impiegate negli impianti fissi di piccola potenza (detti *turbogas)* per la produzione di energia elettrica, oppure come motori nella propulsione navale e ferroviaria e, nella propulsione aerea, per azionare un'elica (turboelica) o un compressore.

Le **turbine a ciclo chiuso** sono in genere azionate da aria, spinta da un compressore in uno scambiatore di calore da cui, dopo essere stata riscaldata, passa nella turbina, dove si espande azionando la girante, per poi entrare in un refrigeratore. Una volta raffreddata, l'aria torna al compressore ed il ciclo ricomincia. Questo tipo di turbine è utilizzato negli impianti per la produzione di energia elettrica per grandi potenze o per grossi motori navali.

Le **turbine a gas di recupero usano**, come fluido operativo, i gas di scarico di motori a combustione interna alternativi o di caldaie a vapore.

Turbine a vapore (lettura)

In genere, queste turbine funzionano a circuito chiuso, collegate con un generatore di vapore ed un condensatore. Possono essere a salti di velocità, con un solo distributore e 3 o 4 giranti intervallate da un deviatore, o a salti di pressione, in cui più giranti sono separate da diaframmi forati attraverso i quali il vapore passa (per azionare la girante successiva) perdendo pressione.

Sono quasi sempre multiple, accoppiate direttamente ad alternatori per la produzione di energia elettrica, oppure accoppiate mediante riduttori alle eliche marine per la propulsione navale.

[2] Sono usate, tipicamente, nelle **centrali idroelettriche**.

IMPIANTI DI COMPRESSIONE

Si definiscono **compressori** quelle macchine operatrici termiche[3] nelle quali si somministra energia a fluidi comprimibili al fine di accrescerne la pressione. Se il fluido utilizzato non è comprimibile, allora non si parla più di compressori ma semplicemente di **pompe**.

In generale, per una pompa o un compressore, sussiste la seguente definizione: indicata con p_1 la pressione del fluido a monte del dispositivo e con p_2 quella a valle, si definisce rapporto di compressione la quantità $\beta=p_2/p_1$. Tale rapporto di compressione non va confuso con quello definito, a suo tempo, per i motori a combustione interna, sia ad accensione comandata (ciclo Otto) sia ad accensione spontanea (ciclo Diesel), in quanto lì si faceva riferimento al rapporto tra volumi specifici prima e dopo la compressione.

I compressori di più larga applicazione si classificano in 3 categorie: centrifughi, assiali ed alternativi. I **compressori centrifughi** ed i **compressori assiali** sono raggruppati nella categoria generica dei **compressori dinamici**, in quanto, in entrambi i casi, è presente un flusso continuo di fluido. Al contrario, i **compressori alternativi** sono costituiti da un volume che alternativamente si riempie e si vuota del fluido da comprimere.

Compressori dinamici

Consideriamo per il momento dei compressori dinamici e facciamone una analisi quantitativa. Si tratta evidentemente di sistemi aperti per i quali si può ritenere valida l'ipotesi di regime stazionario: di conseguenza, il primo principio della termodinamica assume la ben nota espressione

$$\left(h_1+gz_1+\frac{w_1^2}{2}\right)\dot{m}+\dot{Q}=\left(h_2+gz_2+\frac{w_2^2}{2}\right)\dot{m}+\dot{L}$$

Dividendo ambo i membri per la portata massica, possiamo anche scrivere che

$$\left(h_1+gz_1+\frac{w_1^2}{2}\right)+q=\left(h_2+gz_2+\frac{w_2^2}{2}\right)+\ell$$

dove, adesso, q ed ℓ sono, rispettivamente, calore specifico scambiato e lavoro specifico scambiato.

Possiamo inoltre trascurare sicuramente le variazioni di energia potenziale e cinetica, come anche possiamo trascurare il calore scambiato q (data l'estrema velocità con cui avviene il processo), per cui concludiamo che

$$\boxed{\Delta h=-\ell}$$

Si tratta perciò di calcolare il lavoro compiuto dal compressore (o dalla pompa). A tal fine ci basta applicare l'equazione di bilancio dell'energia meccanica, la quale, scritta in forma assolutamente generale, dice che

$$\int_1^2 vdp+g(z_2-z_1)+\frac{1}{2}\left(w_2^2-w_1^2\right)+R=-\ell$$

[3] Ricordiamo che si definisce **macchina operatrice** una macchine che riceve lavoro meccanico e lo utilizza per scopi particolari (come appunto la compressione di un fluido). Si parla poi di **macchina operatrice termica** per specificare che essa utilizza, per i propri scopi, un fluido.

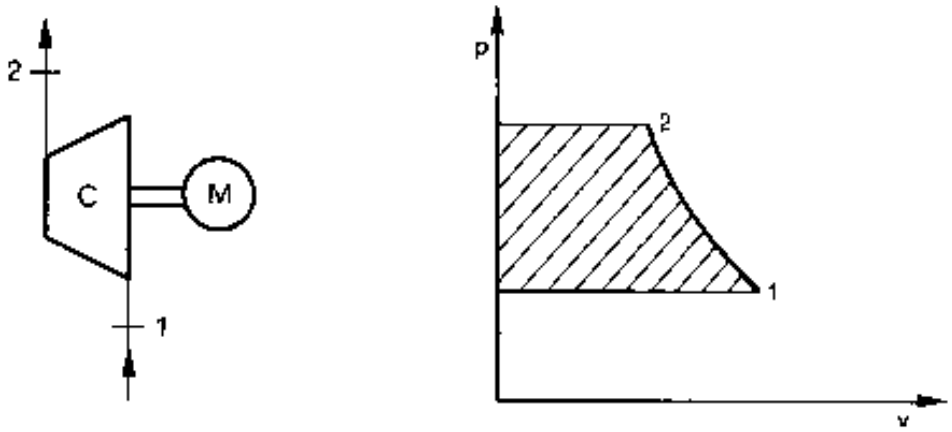
Trascurando ancora una volta le variazioni di energia cinetica e potenziale e trascurando anche le perdite di carico[4], otteniamo che

$$\boxed{\ell = -\int_1^2 \mathrm{vdp}}$$

Questa relazione si semplifica ulteriormente nel caso di una pompa, in quanto il volume specifico rimane costante (la sostanza si ritiene incomprimibile) e quindi si ha semplicemente che $\ell = -\mathrm{v}\Delta\mathrm{p}$.

Ad ogni modo, l'espressione di ℓ suggerisce una serie di considerazioni:

- in primo luogo, dato che il compressore è, per definizione, una macchina operatrice, ℓ è sempre negativo, in quanto si tratta di lavoro che il sistema subisce;
- in secondo luogo, il lavoro è sempre lavoro di elica, come accade per qualsiasi sistema aperto;
- ancora, quella espressione suggerisce una interpretazione grafica di ℓ: infatti, se consideriamo il piano di Clapeyron *p*,*v* e rappresentiamo la trasformazione 1→2 (cioè appunto la compressione adiabatica), otteniamo quanto segue:



(a sinistra è indicato il simbolo di un compressore)

Come si nota, il lavoro di compressione rappresenta, a meno del segno, l'area tratteggiata, compresa tra la linea della trasformazione e l'asse delle ordinate.

A volte, è possibile approssimare la trasformazione che il fluido subisce nella macchina mediante una trasformazione politropica; questo consente di risolvere l'integrale di vpd prima considerato: riprendendo allora le stesse considerazioni fatte nel capitolo dei sistemi aperti, si ha che

$$n \neq 1 \longrightarrow \int_1^2 \mathrm{vdp} = p_1 v_1 \frac{n}{n-1}\left(1 - \frac{v_1^{n-1}}{v_2^{n-1}}\right)$$

$$n = 1 \longrightarrow \int_1^2 \mathrm{vdp} = p_1 v_1 \ln\frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln\frac{p_1}{p_2}$$

dove ovviamente *n* è l'indice della politropica in questione.

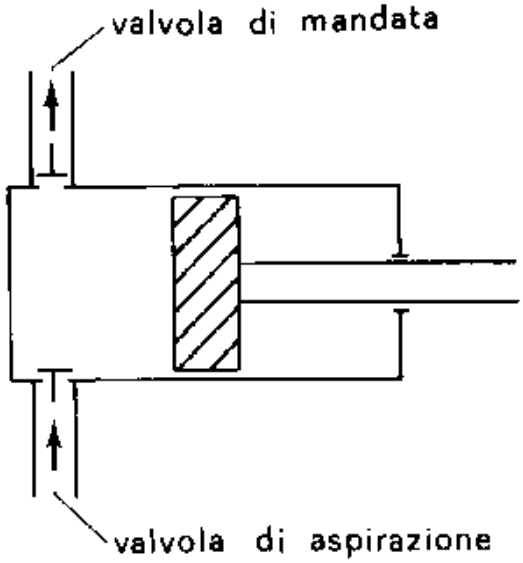
[4] Quando abbiamo introdotto, a suo tempo, gli impianti termici motori ed operatori, abbiamo detto che, nello studio molto qualitativo che noi ne facciamo, le perdite di carico sono sicuramente trascurabili.

Queste relazioni, insieme alla figura di prima, mostrano che il lavoro di compressione risulta, in valore assoluto, una funzione crescente dell'esponente della politropica. Non solo, ma esse evidenziano anche che il lavoro, a parità di rapporto di compressione, diminuisce al diminuire del volume specifico iniziale v_1: questo suggerisce che, dovendo comprimere un gas, è conveniente effettuare la compressione alla più bassa temperatura iniziale possibile. Infatti , ammettendo per il suddetto gas un comportamento da gas perfetto, la relazione pv=RT indica che, a parità di pressione iniziale, il volume specifico iniziale è tanto minore quanto lo è la temperatura iniziale.

Se il fluido è un liquido, cioè una sostanza incomprimibile, abbiamo detto che si parla di pompe e che il lavoro di compressione è valutabile semplicemente come $\ell = -v\Delta p$. In generale, tale lavoro assume valori molto piccoli, in conseguenza del fatto che il volume specifico è usualmente di alcuni ordini di grandezza inferiore a quello dei gas.

Cenni ai compressori volumetrici alternativi

Questo tipo di compressore è nient'altro che un sistema cilindro-pistone dotato di due valvole automatiche, una di **aspirazione** e una di **mandata**:



Il fluido viene introdotto nel cilindro, attraverso la valvola di aspirazione, durante un tratto della corsa del pistone, dal *punto morto superiore* al *punto morto inferiore*[5]. Quando il pistone raggiunge il punto morto inferiore, la valvola di aspirazione si chiude ed il pistone viene mosso nuovamente verso il punto morte inferiore, al fine di aumentare la pressione del fluido. Quando è stato raggiunto il desiderato valore di pressione, viene aperta la valvola di mandata ed il fluido fuoriesce alla pressione desiderata.

E' evidente, dalla descrizione fatta, che si tratta di sistemi aperti in regime non permanente.

[5] Si veda, in proposito, quanto detto nel capitolo degli impianti termici e, in particolare, nel paragrafo sul motore a 4 tempi.

VALVOLA DI LAMINAZIONE

Nel capitolo sui sistemi aperti abbiamo ampiamente parlato del fenomeno della laminazione, che consiste semplicemente in una diminuzione di pressione cui è soggetto un fluido che scorre in un condotto. Tale diminuzione di pressione è ottenuta tramite una strozzatura inserita nel condotta, cui si dà appunto il nome di **valvola di laminazione**.

Il motivo per cui aumenta la pressione è semplice: la strozzatura aumenta la resistenza al moto del fluido e noi siamo costretti a compensare tale resistenza (in modo da mantenere il regime stazionario) spendendo maggiore energia (ad esempio, dobbiamo aumentare la potenza della pompa che determina il flusso del fluido nel condotto).

In effetti, una variazione di pressione si potrebbe anche ottenere mediante una turbina, ma la valvola di laminazione è evidentemente molto più facile e più economica da realizzare. D'altra parte, la turbina ha il vantaggio di produrre energia, che invece viene dissipata dalla valvola di laminazione.

Non solo, ma la trasformazione che avviene in corrispondenza della valvola di laminazione è irreversibile, il che significa che l'energia persa non può in alcun modo essere recuperata.

L'analisi quantitativa del fenomeno della laminazione è già stata fatta in precedenza: in particolare, ricordiamo che la laminazione è caratterizzata da entropia finale uguale all'entropia iniziale, il che però non significa che il processo è isoentalpico, in quanto si tratta di un processo reversibile.

Se a subire la laminazione è un gas a comportamento perfetto, sappiamo che l'entalpia dipende solo dalla temperatura: allora, se risulta $\Delta h=0$, risulterà necessariamente anche $\Delta T=0$.

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**
e-mail: sandry@iol.it
sito personale: http://users.iol.it/sandry
succursale: http://digilander.iol.it/sandry1