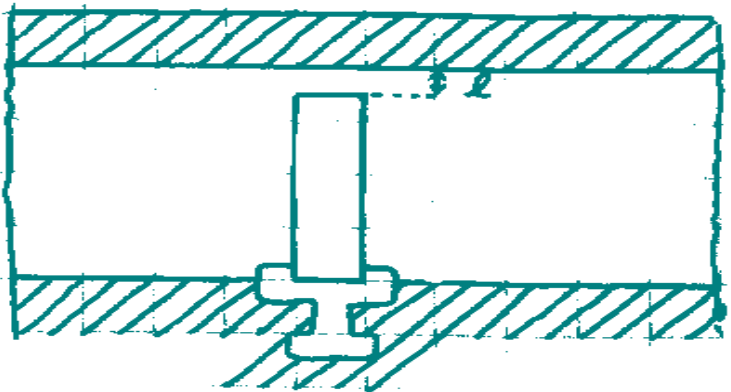


ASPETTI COSTRUTTIVI DELLE MACCHINE

Ora che abbiamo studiato le macchine siamo in grado di analizzare la filosofia che impone l'uno o l'altro tipo di costruzione, in funzione di quelle che sono le esigenze delle macchine. Per fare questo dobbiamo considerare il problema delle tenute del fluido. Fino ad adesso abbiamo ipotizzato che il fluido evolvesse in un vano palare, in maniera uniforme cioè abbiamo ipotizzato che tutta la portata che entra in un vano palare esce dopo aver lavorato uniformemente attraverso un contatto con le superfici palari in accordo con la teoria monodimensionale. Non abbiamo tenuto conto però del fatto che il vano palare, delimitato da due pale contigue, da una superficie solidale con la palettatura e quindi superficie mobile e poi è delimitato dalla superficie fissa che non è altro che quella interna della cassa della macchina. La cassa fissa della macchina delimiterà il vano palare sulla parte superiore cioè in corrispondenza dell'apice della pala. La tolleranza nulla di lavorazione può esistere solo sulla carta, per cui in definitiva noi avremo un certo gioco tra la superficie fissa, cioè la superficie della palettatura che altro non è che la superficie interna della macchina, e la superficie palare in corrispondenza dell'apice. Non tutta la portata del fluido potrà attraversare il vano palare, una piccola parte sfuggerà attraverso il gioco tra la superficie mobile e quella fissa. Se indichiamo con d il diametro in corrispondenza della tenuta noi potremmo dire che l'area attraverso la quale sfugge la portata che preferisce la strada del gioco è

$$: \Omega_p = p \cdot d \cdot e$$

Il valore di e è dell'ordine di qualche centesimo di mm. La tenuta su grande diametro presuppone una sezione a disposizione del fluido scioperante maggiore a parità di gioco. Dobbiamo esaminare due casi diversi tra loro il caso della macchina ad azione e il caso della macchina a reazione.



MACCHINA AD AZIONE ($R = 0$)

Nella palettatura rotorica non abbiamo un Δp , in quanto il fluido non espande in sede limite oppure espande pochissimo in sede reale quindi abbiamo un Δp praticamente nullo. Si può ammettere che il fluido fugga attraverso il gioco tra le superfici mobili e quelle fisse, in misura proporzionale all'area che esso ha a disposizione. Definiamo con η_v il rendimento volumetrico della macchina, inteso come rapporto tra la portata che effettivamente lavora nella palettatura e la portata totale a disposizione della stessa.

$$h_v = \frac{M}{M_t} = \frac{Q}{Q_t} = \frac{l}{l + e}$$

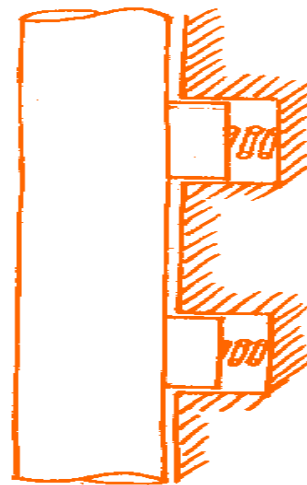
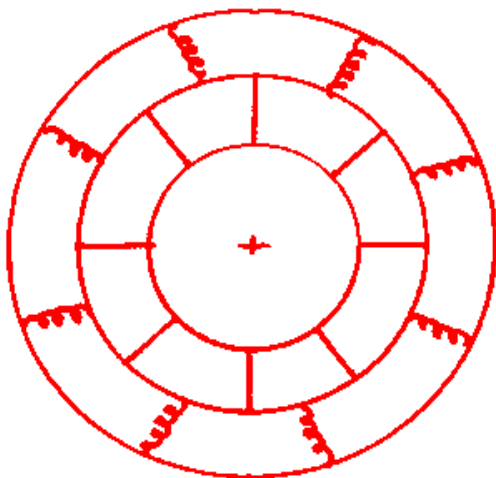
M portata in massa
l altezza della pala

Q portata volumetrica
 ϵ tolleranza meccanica

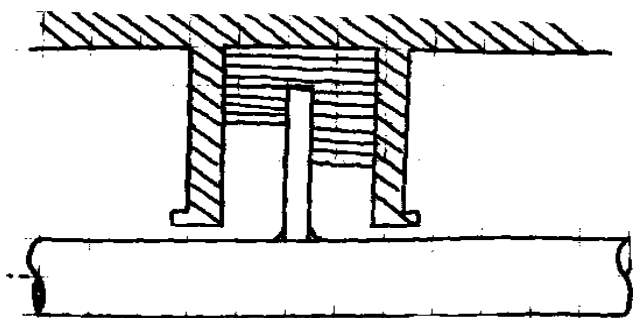
Il gioco meccanico ϵ (tolleranza) non può essere mai prossimo a zero, sia perché il recupero dei giochi sui cuscinetti merita poche attenzioni, sia perché le dilatazioni termiche delle parti metalliche indotte dalla temperatura del fluido impone di adottare giochi più elevati, in qualsiasi condizione di funzionamento. Quando non abbiamo Δp tra l'ingresso e l'uscita della palettatura e quindi sostanzialmente quando abbiamo stadi ad azione, il rendimento volumetrico può essere valutato con una certa approssimazione semplicemente, come rapporto tra l'area a disposizione del fluido nella palettatura e l'area totale disponibile nella stessa.

MACCHINE A REAZIONE

Nelle macchine a reazione il discorso è diverso perché viene a giocare un ruolo fondamentale non soltanto il rapporto delle aree che abbiamo considerato poco fa, ma anche il Δp al quale il fluido è soggetto all'interno della palettatura. Il rendimento volumetrico va valutato tenendo conto della riproduzione effettiva. Quando lo stadio è a reazione la palettatura rotorica necessita, dopo quella statorica, di una tenuta realizzata ad hoc per controllare il valore della portata perduta, cioè della portata che non lavora sulla palettatura inerte dal punto di vista della produzione di potenza per controllare che la portata del fluido attraverso i giochi sia inferiore ad una determinata portata riproduttiva.



Le tenute tradizionali a premi-presa possono essere presenti soprattutto in macchine di piccola taglia ma presentano un inconveniente di una durata nel tempo limitata per la sostituzione dell'organo di tenuta ogni tanto, ma in ogni caso possono sopperire a Δp dell'ordine di qualche frazione di bar. Analogamente per gli altri tipi di tenuta, come ad esempio quelli ad anelli di carbone e le tenute idrauliche ad anello liquido. La tenuta con un anello di carbonio può essere realizzata su un albero come in figura con un anello suddiviso in tanti settori e premuto sull'albero da una serie di molle.

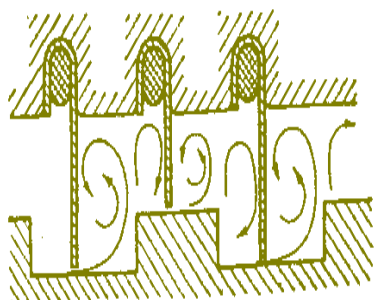


Analogamente al di sotto del bar si trovano le tenute idrauliche ad anello liquido, che agiscono schematicamente come in figura. In questo caso abbiamo un disco saldato all'albero tra due diaframmi anulari fissi sulla cassa, nello spazio compreso tra due diaframmi vi è un liquido. Questo per l'effetto di trascinamento, ad opera del disco rotante

e quindi della forza centrifuga che si instaura, si pone in una situazione di equilibrio nella quale il Δp tra monte e valle viene compensato dal dislivello del fluido nei due settori. Queste soluzioni non hanno interesse per le grandi macchine e quindi possono essere adottate soprattutto per macchine di piccola taglia.

LA TENUTA A LABIRINTO

La tenuta fondamentale nelle turbomacchine è quella a labirinto, la quale è fondata su un principio di funzionamento che è rigorosamente termofluidodinamico. Esso è fondato sul fatto che il fluido attraversando una successione di celle comunicanti tra loro attraverso una piccola sezione di passaggio subisce attraverso ogni sezione un'accelerazione, dopo di che, nelle celle dove viene ospitato, subirà un rallentamento pressoché totale, cioè acquisterà velocità molto basse rispetto alla velocità di flusso da una cella all'altra tali che l'energia cinetica diventerà trascurabile. Ma nel frattempo il fluido avrà perduto pressione avendo subito un'espansione adiabatica al limite isoentropica. Il fluido attraverso una successione di espansioni accompagnate da un'accelerazione e poi attraverso un recupero di entalpia, ma a pressioni più basse, si sposterà passando attraverso tutte le cellette messe in serie, da un ambiente a pressione maggiore ad uno a pressione minore e si sposterà coinvolgendo una portata che è facilmente controllabile a livello progettuale. Supponiamo di avere una certa superficie



cilindrica che può essere ad esempio quella di un albero o quella di un tamburo indifferentemente, quindi può essere una tenuta di piccolo o grande diametro, un diaframma il quale è solidale ad una struttura come in figura. In definitiva avremo un elemento tubolare sul quale sono saldati tanti elementi toroidali i quali vanno a fare tenuta sempre attraverso un certo gioco sull'albero o sul tamburo. Normalmente gli elementi anulari che costituiscono queste celle, terminano, con parti realizzate in metallo tenero. Ogni volta che il fluido passa da

una cella a quella successiva, subisce un'espansione accompagnata da una caduta entalpica, accelerazione del fluido e scambio di calore con l'esterno sostanzialmente nullo. Una volta che il fluido si trova dentro le celle sacrifica la propria energia cinetica e riacquista entalpia sacrificando energia cinetica a pressione costante.

DETERMINAZIONE GRAFICA DEL NUMERO DELLE CELLETTE

Se consideriamo il piano H-S del fluido che ci interessa, un gas o un vapore, possiamo effettuare graficamente il progetto della tenuta a labirinto. Questo progetto consiste essenzialmente nel valutare il numero di cellette necessario affinché, la portata che sfugge attraverso le tenute, non sia superiore ad un limite che il progettista si prefigge di realizzare. Per fare una valutazione grafica immaginiamo di preventivare una portata perduta pari a $M_p = \rho c \Omega_p$ dove $\Omega = \pi d \epsilon$ (d è il diametro sul quale la tenuta va realizzata). In prima approssimazione si può confondere ρ con ρ_A e cioè con la densità del fluido a monte che è nota

Per le velocità c avremo $c = \frac{M_p}{\rho_A \Omega_p}$ $\Omega_p = p d \epsilon = \text{gioco meccanico (dato del progetto)}$

Il salto entalpico associato all'espansione del fluido è dato dall'equazione dell'energia, trascurando l'energia cinetica sino alla velocità di efflusso (la velocità massima che il fluido raggiunge in corrispondenza della sezione di tenuta).

$\Delta h \cong \frac{c^2}{2}$ quindi siamo in grado di progettare la tenuta

Supponiamo di conoscere le condizioni A del fluido sull' isobara p_A (vedi figura).

Se ricaviamo la caduta entalpica Δh attraverso le considerazioni precedenti, possiamo immaginare che nel passaggio attraverso la prima sezione di tenuta il fluido subisce un'espansione che in prima approssimazione possiamo ritenere isoentropica sino alla caduta entalpica che abbiamo valutato. Il fluido nelle cellette acquista entalpia a pressione pressoché costante e così via nel passaggio attraverso le sezioni di tenuta seguenti. Quando raggiungiamo la pressione p_B ci accorgiamo di aver effettuato un certo numero di espansioni isobare isoentropiche per cui possiamo valutare graficamente il numero di cellette necessarie per realizzare la tenuta labirintica secondo i dati di progetto, rispettando la portata perduta.

