

## CUSCINETTI

I cuscinetti sono gli organi meccanici sui quali trovano appoggio gli alberi che ruotano in essi.

I cuscinetti si distinguono in due tipi:

- 1) cuscinetti di strisciamento.
- 2) cuscinetti di rotolamento.

I cuscinetti di strisciamento sono quelli in cui entrano direttamente a contatto l'organo rotante e quello fisso, salvo il sottile strato di lubrificante.

I cuscinetti di rotolamento sono quelli, invece, in cui il corpo rotante e quello fisso sono separati da alcuni corpi rotolanti, che possono essere sfere o rullini.

### Cuscinetti di strisciamento

Parametri specifici (fig. a, )

$$\text{pressione specifica } p = \frac{P}{ld} = \frac{P}{ld}$$

$$\text{gioco relativo } \psi = \frac{D - d}{d}$$

prodotto  $pv$

con  $v$  = velocità periferica relativa dell'albero rispetto al

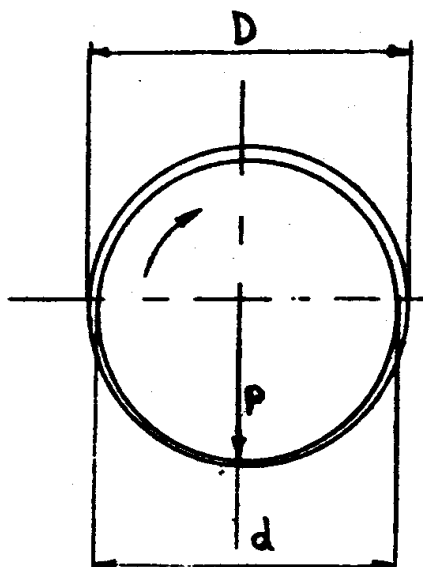


fig. a

supporto

$P$  = carico totale agente

$D$  = diametro foro

$d$  = diametro del perno

$l$  = lunghezza del supporto

L'andamento delle pressioni nel senso dell'asse  $x$ , può ritenersi parabolico (fig. c) e rappresentabile con la espressione seguente:

$$p = p_{\max} \left[ 1 - \left( \frac{2x}{l} \right)^2 \right]$$

con le condizioni

$$p = 0 \text{ per } x = \pm \frac{l}{2} \text{ cioè agli}$$

estremi

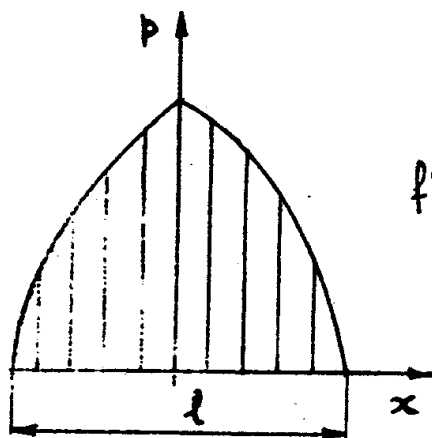


fig. c

$p = p_{\max}$  per  $x = 0$  al centro

Si ricava la derivata di  $p$  agli estremi, perchè la sfuggita di olio dipende da  $dp/dx$ .

$$\left[ \frac{dp}{dx} \right]_{x=\pm \frac{l}{2}} = \left[ \frac{4 \cdot 2x}{l^2} p_{\max} \right]_{x=\pm \frac{l}{2}} = \frac{4}{l} p_{\max} \quad (1)$$

Detto  $P$  il carico totale agente sul cuscinetto si vede facilmente che esso è proporzionale all'area del segmento parabolico, che è pari ai due terzi del prodotto della base per l'ordinata massima.

$$P = \frac{2}{3} p_{\max} l$$

da cui si nota che con  $P = \text{cost.}$

$$p_{\max} = \frac{2}{3} \frac{P}{l}$$

$$\left[ \frac{dp}{dx} \right]_{x=\pm \frac{l}{2}} = \mp \frac{6P}{l^2}$$

Quindi, a parità di P, un cuscinetto di lunghezza doppio di un altro dà luogo ad un  $p_{max}$  metà e ad una  $\frac{dp}{dx}$  agli estremi quattro volte minore. E' preferibile, quindi, costruire i supporti con l molto grande per diminuire la fuoriuscita d'olio, ma l'aumento della lunghezza del supporto comporta lo svantaggio sia di non consentire variazioni assiali dell'albero sia di variare la distribuzione della pressione e, quindi, della  $\frac{dp}{dx}$  per l'imperfetto parallelismo degli assi del perno e del cuscinetto dovuto a deformazioni elastiche di entrambi. In pratica, si arriva al compromesso di costruire per alberi molto carichi del supporto con  $l = 0,5 D$ .

Cosa importantissima è la scelta del materiale con cui costruire il cuscinetto. Questi materiali devono avere le seguenti caratteristiche:

- facilità di rodaggio
- incorporare piccoli elementi abrasivi
- presentare piccolo attrito e resistere il più a lungo possibile se la lubrificazione è insufficiente.

Le tabelle di fig. si riferiscono ai materiali più usati. I primi che entrano in questa classificazione sono i metalli bianchi, che sono delle leghe allo stagno e al piombo.

Indicando con:

r il raggio del perno

R il raggio del cuscinetto

l la lunghezza del cuscinetto

P carico totale agente

$E_1$  ed  $E_2$  i moduli di elasticità del materiale costituenti l'albero ed il cuscinetto.

La tensione massima di compressione nella zona di contatto si ottiene dalla formula di Hertz:

$$\sigma_{\max} = 0,417 \sqrt{\frac{PE\rho}{l}}$$

con

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}$$

$$\rho = \text{curvatura relativa} = \frac{1}{r} - \frac{1}{R} = \frac{R-r}{rR}$$

$$\sigma_{\max} = 0,417 \sqrt{\frac{2PE}{lR} \psi} \quad , \quad \sigma_{\max} = 0,91 \sqrt{p\psi}$$

Si ricava, quindi, che si possono ottenere delle pressioni specifiche molto alte facendo dei giochi relativi molto bassi.

Nelle costruzioni moderne si tende ad evitare i cuscinetti a strisciamento, salvo nelle macchine di precisione e di rifinitura in cui i giochi relativi dei cuscinetti di rotolamento introdurrebbero dei fortissimi errori.

Bisogna, poi, calcolare il calore prodotto per at-

trito. Il calore prodotto è dovuto al momento di attrito per la velocità:

$$Q = \frac{M_u}{A} = \frac{fpru}{A}$$

A = equivalente meccanico della caloria = 427 Kpm/Kcal

Questo calore viene smaltito da una parte dalla superficie laterale del cuscinetto stesso e del perno ed una parte dall'olio di lubrificazione.

### Cuscinetti di rotolamento

## CLASSIFICAZIONE DEI CUSCINETTI DI ROTOLAMENTO

La classificazione può essere fatta o riferendosi al momento con cui sono applicati i carichi, o al modo con cui sono costruiti.

1 - PER CARICHI RADIALI

adatti per carichi prevalentemente diretti perpendicolarmente all'asse di rotazione

- a Radiali rigidi con una o due corone di sfere (°).
- b Radiali orientabili con due corone di sfere (°°).
- c Radiali con una o due corone di rulli cilindrici (°).
- d Radiali orientabili con rulli a botte (°°).
- e A rullini (°).
- f Obliqui con una corona di sfere da montare a coppie contrarie o con due corone di sfere (°).
- g A rulli conici da montare a coppie con conicità contrapposte (°).

(°) Si oppongono ad ogni spostamento dell'albero dal suo asse.

(°°) Consentono piccoli disassamenti dell'albero.

2 - PER CARICHI ASSIALI

adatti per carichi agenti nella direzione dell'asse

- a Assiali a sfere a semplice o a doppio effetto (Carichi agenti nei due sensi).
- b Obliqui con una o due corone di sfere (Carichi agenti in uno o nei due sensi)
- c Radiali rigidi a sfere senza taglio per l'introduzione delle sfere (Per carichi in uno o nei due sensi).
- d Assiali orientabili a rulli

3 - PER CARICHI RADIO-ASSIALI  
adatti per carichi che possono scindersi in una componente radiale ed una assiale

- a Radiali rigidi a sfere (senza taglio per l'introduzione delle sfere).
- b Obliqui con una o due corone di sfere
- c A rulli conici
- d Assiali orientabili a rulli
- e Combinazione di un cuscinetto radiale ed uno assiale

### SCELTA DEI CUSCINETTI DAI CATALOGHI DEI COSTRUTTORI

In generale i cuscinetti terminano la loro vita per effetto dell'affaticamento delle piste interne. Il cuscinetto, a causa del carico applicato e, del numero di giri cui è stato assoggettato, perde la sua funzione tecnica. L'affaticamento, quindi, è funzione del numero di passaggi dei vari punti degli anelli sotto la linea di carico, cioè è funzione del numero di giri che il cuscinetto compie.

Per la determinazione dei dati utili al progettista nella scelta dei cuscinetti, i costruttori ricorrono a risultati sperimentali ed a dati statistici. Le grandezze che compaiono generalmente nei cataloghi sono le seguenti:

FATTORE O COEFFICIENTE DI CARICO DINAMICO C è il carico dinamico sotto l'azione del quale il 90% di un



lotto di cuscinetti uguali supera 1.000.000 di giri prima che compaiono segni di affaticamento.

CARICO DINAMICO EQUIVALENTE P è un carico fittizio che produce dal punto di vista dell'affaticamento, lo stesso effetto del carico combinato reale.

NUMERO DI GIRI ESPRESSO IN MILIONI L:

$$L = \frac{60 n h}{10^6} \quad (1) \quad \begin{array}{l} n = \text{numero di giri al minuto} \\ h = \text{numero di ore} \end{array}$$

COEFFICIENTE DI CARICO STATICO (non rotante)  $C_0$  è il carico massimo consentito perchè a cuscinetto fermo non si abbiano a riscontrare deformazioni permanenti degli elementi rotolanti e delle piste.

$C_L$  Carico che un cuscinetto può sopportare senza affaticarsi per la durata di L milioni di giri.

Sono valide le seguenti relazioni

$$C_L = \frac{C}{L^{\frac{1}{m}}} \quad (2)$$

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^m \quad (3)$$

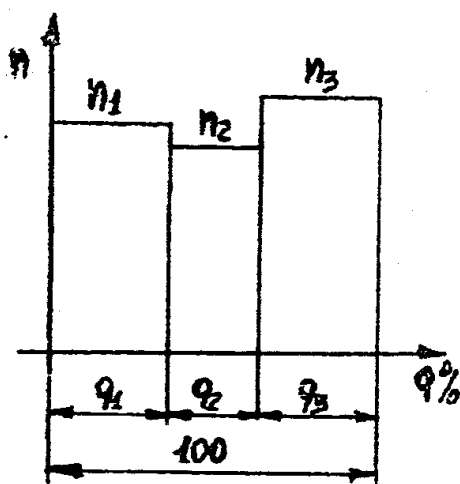
$m = 3$  per cuscinetti a sfera

$m = \frac{10}{3}$  per cuscinetti a rulli.

DETERMINAZIONE DEI VALORI MEDI DEL CARICO E DELLA VELOCITA'

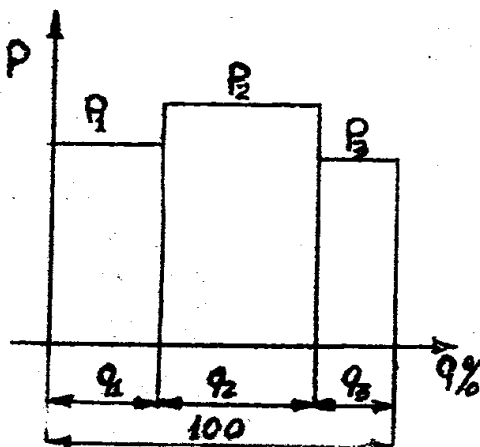
Il carico applicato P e la velocità variano generalmente col tempo. Per determinare il carico equivalente P ed il numero di giri medio si procede nei modo sotto riportati:

- a) - Carico costante e velocità variabile con legge a gradini



$$n_m = \frac{q_1}{100} n_1 + \frac{q_2}{100} n_2 + \dots \text{ giri/m}$$

- b) - Velocità costante e carico variabile con legge a gradini:



$$P_m = \sqrt[3]{\frac{P_1^3 q_1}{100} + \frac{P_2^3 q_2}{100} + \dots}$$

c) - Carico e velocità variabili con la medesima legge a gradini:

$$P_m = \sqrt[3]{P_1^3 \frac{n_1}{n_m} \frac{q_1}{100} + P_2^3 \frac{n_2}{n_m} \frac{q_2}{100} + \dots}$$

d) - Carico e velocità variabili con continuità:

$$n_m = \frac{\int_0^t n(t) dt}{T}; P_m^3 = \frac{\int_0^t P^3(t)n(t) dt}{\int_0^t n(t) dt}$$

### DETERMINAZIONE DEL CARICO EQUIVALENTE

Quando il carico sul cuscinetto non è nè perfettamente assiale nè perfettamente radiale, per il calcolo del proporzionamento o di durata del cuscinetto, bisogna sempre basarsi sul carico equivalente da ricavarsi con le seguenti formule:

a) Cuscinetti radiali a sfere e a rulli:

$$P = XVF_r + YF_a$$

$F_r$  = Carico radiale

$F_a$  = Carico assiale

$X$  = Coefficiente radiale

$Y$  = Coefficiente assiale

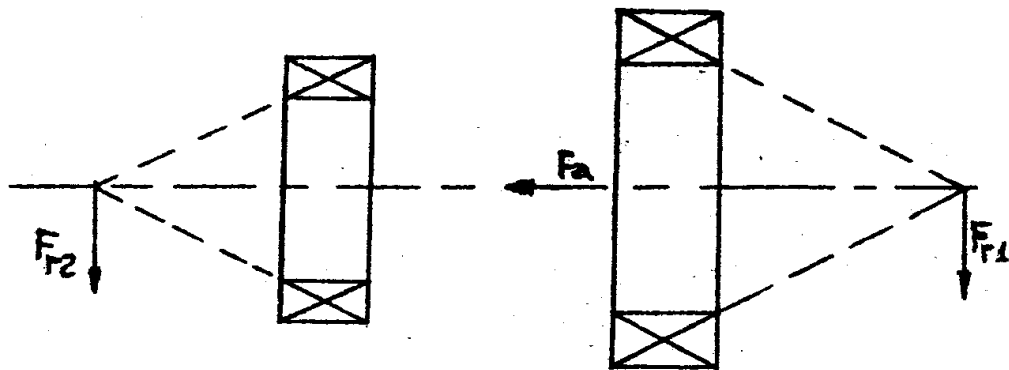
$V$  = Coefficiente di rotazione

} Valori tabellati

I coefficienti  $X$  ed  $Y$  dipendono dal tipo di cuscinetto impiegato e dal rapporto  $F_a/VF_r$  tra carico assiale e carico radiale.

Il coefficiente  $V$  vale 1, ma se ruota l'anello esterno vale 1,2.

b) Cuscinetti obliqui ad una corona di sfere o a rulli conici applicati a coppie:



$$P_1 = X_1 V F_{r1} + Y_1 (e_2 F_{r2} + F_a)$$

$P_1$  Carico equivalente sul cuscinetto 1

$F_{r1}$  Carico radiale sul coefficiente 1

$F_{r2}$  Carico radiale sul cuscinetto 2

$F_a$  Carico assiale

$X_1$  Coefficiente radiale } del cuscinetto 1

$Y_1$  Coefficiente assiale }

$V$  Coefficiente di rotazione

$e_2 F_{r2}$  Reazione assiale del cuscinetto 2 dovuta al carico radiale  $F_{r2}$ .

Si noti che per effetto del carico  $F_{r2}$  sul cuscinetto 2, si determina una reazione assiale sull'albero che viene a sommarsi alla  $F_a$ , da qui la presenza della  $e_2 F_{r2}$  nella formula.

### PRINCIPALI REGOLE DI MONTAGGIO DEI CUSCINETTI A ROTOLAMENTO

- 1) Scelta degli accoppiamenti opportuni fra anelli e le loro sedi nei cuscinetti radiali.
- 2) Accertarsi che i forzamenti con interferenza non producono pericolosi sovraccarichi sui corpi rotolanti.
- 3) Far coincidere l'asse dell'albero con quello del cuscinetto riducendo al minimo gli errori di eccentricità e di parallelismo.
- 4) Qualora il provvedimento (3) fosse impossibile ricorrere a cuscinetti radiali oscillanti o a cuscinetti spinti con sedi sferiche.

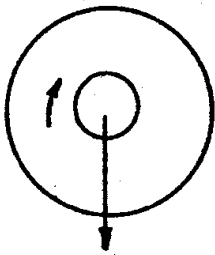
- 5) Nel caso di più cuscinetti radiali o di spinta che sopportino l'albero far sì che ad uno solo di essi sia affidata la registrazione assiale dell'albero onde evitare pericolosi sovraccarichi.
- 6) Nel montaggio di un cuscinetto di spinta a doppio effetto prevedere delle molle di precarico che evitino l'allontanamento degli anelli con successivo gioco assiale che determinerebbe la rapida usura degli stessi quando la rotazione avviene ad alta velocità in assenza di carico.

In ogni caso è indispensabile che ogni applicazione venga studiata singolarmente non a disegno ultimato bensì all'inizio del progetto tenendo in debito conto dell'influenza del complesso degli organi sul perfetto funzionamento del o dei cuscinetti.

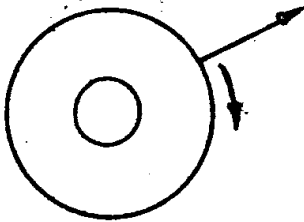
#### SCHEMI PER LA VALUTAZIONE DEI TIPI DI ACCOPPIAMENTO

Per carico rotante si intende la condizione per cui durante una rotazione, tutti i punti della circonferenza dell'anello vengono sottoposti una volta al carico. In questa condizione con l'accoppiamento libero l'anello è soggetto ad un movimento epicicloidale e ne consegue la laminazione delle sedi:

- a) Carico rotante rispetto all'anello interno.



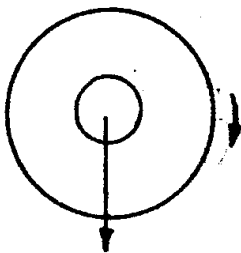
Anello interno rotante  
e carico fisso sull'a  
nello interno



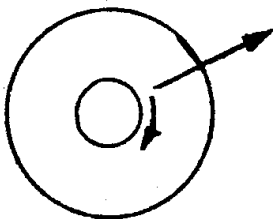
Anello esterno rotante  
e carico rotante sull'a  
nello esterno

Anello inter  
no forzato  
Anello ester  
no anche li-  
bero

b) Carico rotante rispetto all'anello esterno.



Anello esterno rotante  
e carico fisso sull'a  
nello interno



Anello interno rotante  
col carico e quello e-  
sterno fisso

Anello inter  
no può esse  
re montato  
libero  
Anello ester  
no montato  
forzato

VANTAGGI DEI CUSCINETTI DI ROTOLAMENTO RI-  
SPETTO A QUELLI DI STRISCIAMENTO

a) basso coefficiente di attrito

b) facilità di messa in moto

- c) economia di lubrificazione
- d) riduzione delle spese di manutenzione
- e) pulizia della macchina e del prodotto per l'assenza di gocciolamenti
- f) maggiore regolarità di marcia
- g) facile intercambiabilità

### ESEMPI DI PROPORZIONAMENTO DEI CUSCINETTI

Le formule scritte permettono di determinare o il carico  $C_L$  di un fissato cuscinetto soggetto ad una durata ed una velocità determinata, oppure la durata  $h$  in ore di un cuscinetto soggetto a determinate condizioni di carico e di velocità, oppure di determinare il cuscinetto di una determinata serie, che sottoposto ad un fissato numero di giri al minuto, abbia una determinata durata in ore.

1° Esempio.

Determinare il carico ammissibile  $C_L$  del cuscinetto 2DAVP radiale orientabile a una corona di rulli cilindrici funzionante a 10.000 giri al minuto e per una durata di 10.000 ore.

Dal catalogo si ricava  $C = 1.350 \text{ Kg}$

$$L = \frac{60 \text{ nh}}{10^6} = \frac{60 \times 10000 \times 10000}{10^6} = 6.000 \text{ milioni di giri}$$



$$C = \frac{C}{L^{1/m}} = \frac{1.350}{6.000^{3/10}} = \frac{1.350}{13,6} = 99,3 \text{ Kg}$$

2° Esempio.

Determinare la durata in ore del cuscinetto dell'esempio precedente, sottoposto ad un carico radiale di 540 Kg e ad una velocità di 100 giri/minuto.

$$L = \frac{1.350}{540} \frac{10}{3} = 21,5 \text{ milioni di giri}$$

$$h = \frac{10 \times 21,5}{60 \times 100} = 3.583 \text{ ore}$$

3° Esempio.

Determinare il cuscinetto a rulli che sottoposto a un carico radiale costante di 500 Kg e funzionante a 5.000 giri al minuto, abbia una durata teorica non inferiore al le 20.000 ore.

$$L = \frac{60 \times 5.000 \times 20.000}{10^6} = 6.000 \text{ milioni di giri}$$

$$C = P(L)^{1/m} = 500(6.000)^{3/10} = 6.800 \text{ Kg}$$

Il cuscinetto a rulli 12 DAVP ha un coefficiente di carico di catalogo di 7.400 Kg., quindi, risponde alle richieste.

N.B. - Negli esempi si sono usati i dati e la nomenclatura riportati dalle tabelle dei cataloghi della RIV.

-----  
-----  
-----