

17 Cuscinetti a strisciamento

Cuscinetti sono quelle parti di macchina che servono per sostenere i perni e gli alberi, permettendone la rotazione col minimo attrito possibile.

Nei cuscinetti a rotolamento (a sfere o a rulli) ciò viene ottenuto con l'interposizione tra perno e supporto di una corona di corpi rotolanti;

Nei cuscinetti a strisciamento la riduzione dell'attrito viene affidata ad un velo di lubrificante, la cui pressione permette di sostenere il carico radiale. Questi ultimi si distinguono in due categorie:

- **cuscinetti idrostatici**, in cui la pressione dell'olio è fornita da un dispositivo esterno;
- **cuscinetti idrodinamici**, in cui l'olio è messo in pressione dallo stesso moto relativo tra perno e cuscinetto.

In questo corso ci occuperemo solo dei cuscinetti idrodinamici.

Dal punto di vista dinamico, il cuscinetto è proprio il velo d'olio che sostiene il perno; ma dal punto di vista costruttivo si chiama cuscinetto quell'elemento cilindrico che è inserito nel foro del supporto e sostiene il velo d'olio. Esso può essere in un sol pezzo, e in tal caso si chiama *boccola*, o in due metà, che si chiamano *bronzine*, o *gusci* se relativamente sottili. Le boccole sono usate per movimenti di rotazione lenta o di oscillazione, per rotazione a piccola velocità e sotto carichi leggeri; nei casi più impegnativi si usano le bronzine. Per esempio, in un motore alternativo lo spinotto è collegato al piede di biella mediante una boccola, mentre i cuscinetti posti tra testa di biella e albero a gomito sono bronzine; ugualmente bronzine sono usate nei cuscinetti di banco, tra albero a gomito e supporti fissi.

Il comportamento dei diversi tipi di cuscinetto è rilevabile qualitativamente dal diagramma di fig. 100; da esso si nota che la capacità di carico nei cuscinetti a rotolamento decresce con la velocità (curva A), che nei cuscinetti idrostatici essa rimane costante (curva D), e che nei cuscinetti idrodinamici aumenta con la velocità (curva C). La curva B si riferisce al caso di cuscinetti con lubrificazione imperfetta.

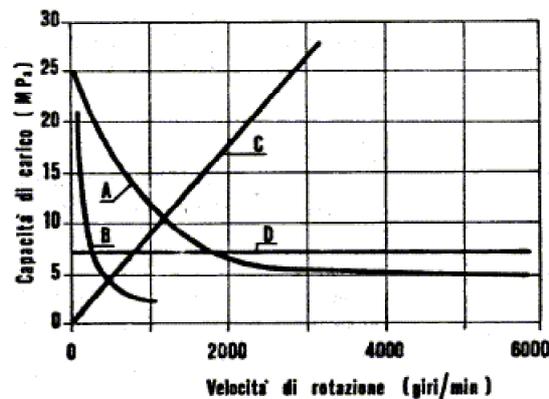


Figura 100: Capacità di carico dei cuscinetti

L'uso dei cuscinetti a strisciamento, rispetto a quelli a rotolamento, è consigliabile nei casi di elevate velocità o carichi molto forti e variabili.

Per quanto riguarda l'attrito, i cuscinetti a rotolamento presentano valori inferiori dell'attrito di primo distacco rispetto ai cuscinetti idrodinamici, e presentano perciò un vantaggio in caso di frequenti avviamenti sotto carico. Nei cuscinetti idrostatici l'attrito di primo distacco è praticamente nullo.

In condizione di regime i coefficienti di attrito sono paragonabili per tutti i cuscinetti.

L'andamento qualitativo del coefficiente d'attrito per cuscinetti a strisciamento in funzione della velocità è data dalla fig. 101.

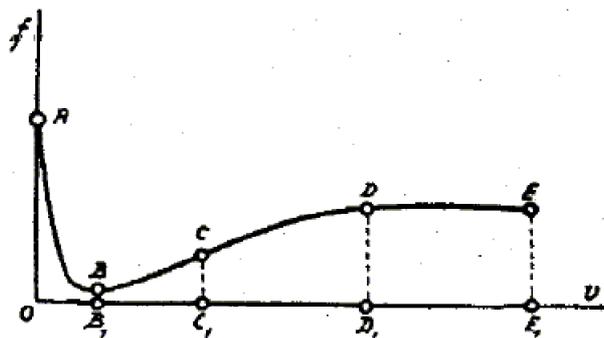


Figura 101: Andamento qualitativo del coefficiente d'attrito in un cuscinetto a strisciamento in funzione della velocità.

Quando il perno è fermo (punto A) non c'è praticamente lubrificante fra esso e il cuscinetto, sicché il valore dell'attrito è molto elevato (p. e. $f = 0.14$ per perno in acciaio e cuscinetto di bronzo); tale valore prende il nome di attrito di primo distacco.

All'aumentare della velocità il perno diventa sempre più in grado di trascinare del lubrificante sotto di sé, per cui l'attrito diminuisce rapidamente (condizione di lubrificazione imperfetta). Quando si raggiungono le condizioni di progetto si ha il valore minimo del coefficiente d'attrito (punto B = lubrificazione perfetta).

Seguitando a crescere la velocità il coefficiente d'attrito aumenta in maniera quasi lineare con la velocità per effetto della legge di Newton (vedi sotto), ma oltre un certo punto (D in fig. 101) comincia a diminuire l'attrito per effetto dell'aumento di temperatura del lubrificante (qui supposto liquido, come è di solito).

L'andamento del coefficiente d'attrito con la velocità e col carico per cuscinetti a rotolamento è dato nella fig. 102. Si noti che al crescere della velocità il coefficiente d'attrito cresce in maniera monotona.

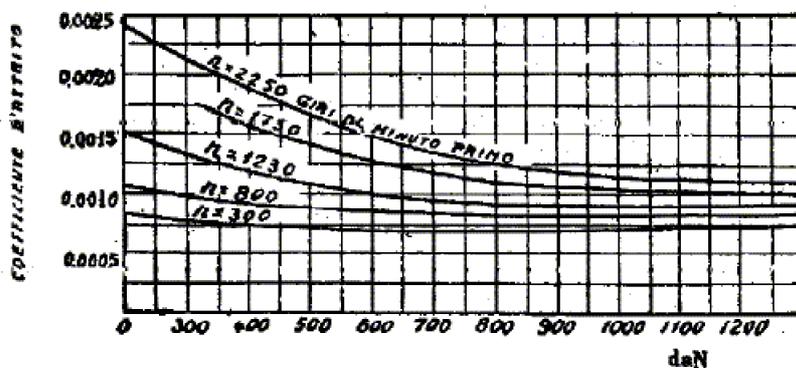


Figura 102: Andamento del coefficiente d'attrito in un cuscinetto a rotolamento in funzione del carico (in ascissa) e della velocità (parametro delle curve).

Le dimensioni d'ingombro, a parità di capacità di carico, sono maggiori in senso assiale per i cuscinetti radenti, e maggiori in senso radiale per quelli volventi.

I cuscinetti a rotolamento sono più rumorosi, anche se il rumore può rivestire carattere diagnostico di eventuali rotture; però le rotture dei cuscinetti a strisciamento sono di solito meno gravose per gli alberi e i supporti.

Per quanto riguarda il costo, i cuscinetti radenti sono più economici per produzione di grande serie, mentre per piccolissime serie, o per pezzi singoli, il rapporto si inverte, in quanto il cuscinetto a rotolamento si trova in commercio a prezzo contenuto, mentre quello a strisciamento deve essere costruito "in casa".

Nella lavorazione delle sedi, risulta più costoso il cuscinetto volvente, mentre minore ne è il costo operativo.

17.1 LUBRIFICANTI E VISCOSITÀ

I lubrificanti possono essere solidi, liquidi, gassosi o semisolidi. I più diffusi sono quelli liquidi, in particolare l'olio, ma si usano anche i siliconi, l'acqua (o emulsioni acqua-olio) e altre fluidi. Il principale lubrificante semisolido è il grasso. Tra i lubrificanti solidi si annoverano: la grafite, il bisolfuro di molibdeno, la steatite, l'ossido di piombo, il sapone, la mica, la polvere di vetro e alcune materie plastiche. Tra i gas sono usati l'aria, l'idrogeno e l'azoto.

Varie sono le caratteristiche che un buon lubrificante deve presentare, ma tra esse la più importante è la viscosità. La definizione di viscosità η risale alla legge di Newton relativa alla tensione di taglio τ trasmessa tra due lastre piane e parallele a distanza y , per effetto della velocità v relativa e della presenza di un fluido interposto.

$$\eta = \frac{\tau}{v/y}$$

L'unità di misura della viscosità nel Sistema Internazionale disgraziatamente non ha nome ed è il Pa · s; universalmente usati sono invece il Poise (P), vecchia unità CGS, e soprattutto il centipoise (cP): $1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Unità anglosassone è il reyn (in onore di Osborne Reynolds) pari a $1 \text{ lb}_f \text{ s} / \text{in}^2$ e a $6894.757 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Si definisce viscosità cinematica il rapporto tra la viscosità e la densità; nel SI si misura in $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Unità usuali sono lo Stokes (St) e più ancora il centistokes (cSt): $1 \text{ cP} = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Sono molto in uso delle scale pratiche di viscosità, derivate dalle misure effettuabili con i viscosimetri, ossia i gradi Engler, usati in Europa, i secondi Saybolt, usati nei paesi anglosassoni e i secondi Redwood. Si tratta sempre di misure della viscosità cinematica e la conversione in unità assolute (cSt) si effettua con abachi, tabelle (es. la tab. 24) e formule empiriche. Altri due abachi di conversione sono quelli delle figg. 103 e 104.

La variazione della viscosità con la temperatura è abbastanza ben conosciuta per i fluidi usuali, per esempio la viscosità dei gas aumenta con la temperatura e quella dei liquidi diminuisce con la legge di de Guzman-Andrade

$$\eta = \eta_{\infty} \exp\left(\frac{E}{kT}\right)$$

Per gli oli lubrificanti, si usa la seguente legge, utilizzata dall'ASTM:

$$\ln \ln(\eta + \gamma) = k - c \ln T. \quad (1)$$

Tale legge non è estremamente diversa da quella di Andrade, visto che si scrive

$$\eta + \gamma = \exp\left(\frac{e^k}{T^c}\right).$$

Tabella 24: Correlazione tra scale di viscosità cinematica

Viscosità cinematica (cSt)	Scala Engler (gradi)	Scala Redwood (secondi)	Scala Saybolt (secondi)
2	1,14	31	32
6	1,48	41	46
10	1,84	52	59
14	2,22	65	74
18	2,65	78	90
25	3,46	105	120
35	4,71	144	164
45	5,99	184	209
60	7,92	245	279
80	10,60	326	371
100	13,2	406	463
150	19,9	620	700
200	28,8	820	940
300	40,0	1230	1410
500	66,0	2040	2320
700	93,0	2820	3250
1000	133,0	4100	4750

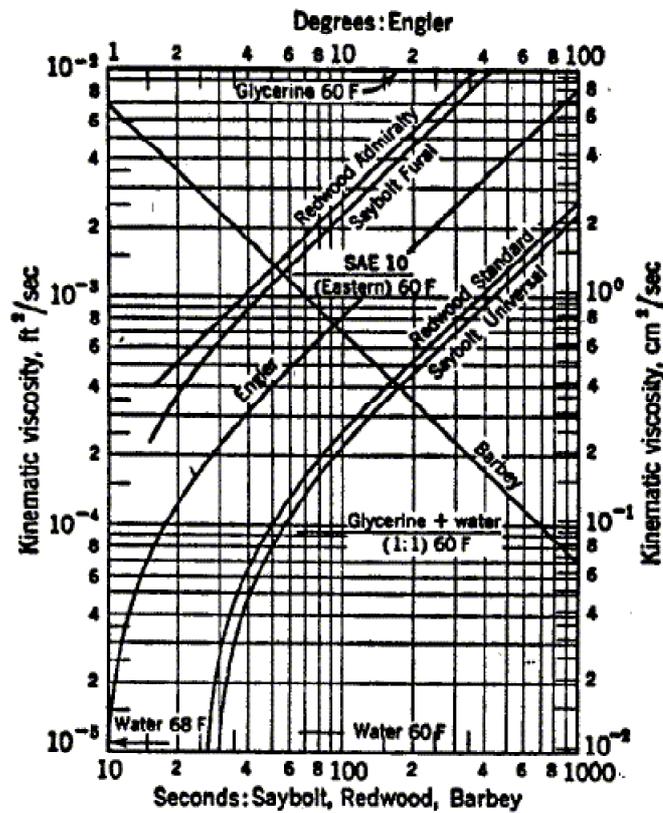


Figura 103: Correlazione tra scale di viscosità cinematica

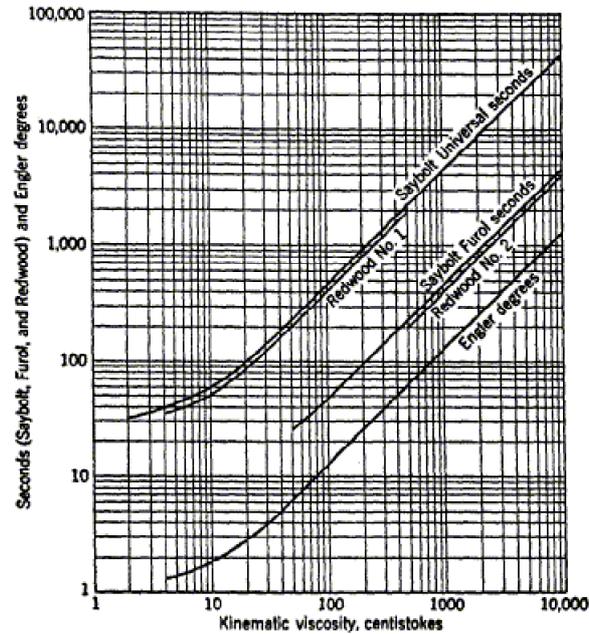


Figura 104: Correlazione tra scale di viscosità cinematica

non troppo diversa da quella di Andrade. Sulla legge (1) è basata la celebre fig. 105 che si riferisce agli oli SAE; da un esame di questo diagramma ho trovato $\gamma \approx 0.74$ cP.

L'influenza della pressione sulla viscosità può essere invece quasi sempre trascurata.

Informazioni sulle viscosità di alcuni fluidi sono contenute nelle figure 106 e 107.

Anche se non c'entra troppo con l'argomento dei lubrificanti, non resisto alla tentazione di inserire la figura 108, che riporta un'applicazione alla viscosità di vari fluidi della legge degli stati corrispondenti. Come al solito, questa legge non è rigorosa, ma dà un'idea molto precisa dell'andamento delle proprietà dei fluidi con la pressione e la temperatura. Per quanto riguarda la viscosità la citata figura 108 mostra molto bene la diminuzione della viscosità della temperatura per i liquidi e l'aumento per gas e vapori. Inoltre, per questi ultimi, viene posta in evidenza la quasi indipendenza della viscosità dalla pressione, come affermato dalla legge di Maxwell, una delle più conosciute conseguenze della teoria cinetica dei gas.