

5.1

1 Cuscinetti radenti (o a strisciamento)

1.1 Generalità

La funzione di un qualunque cuscinetto è quella di ridurre gli attriti che si sviluppano tra la superficie del perno, rotante, e quella del suo alloggiamento, fisso. Per quanto riguarda i cuscinetti a strisciamento, tale compito è svolto:

- dalla particolare natura del materiale di cui sono costituiti;
- dal lubrificante, che necessariamente deve essere sempre presente con una sottile pellicola interposta tra le superfici accoppiate.

Lo strato di lubrificante inserito tra le superfici di perno e cuscinetto deve avere una pressione sufficiente a sostenere il carico gravante sul cuscinetto stesso.

Se vengono meno le condizioni normali di lubrificazione, viene a mancare il film di lubrificante interposto tra i due organi. Il perno entra allora a diretto contatto con il cuscinetto con conseguenti surriscaldamenti, usura eccessiva ed elevate perdite di potenza per attrito. Questo può accadere, ad esempio, se il lubrificante è troppo fluido o se lo è diventato in seguito a un riscaldamento eccessivo, dovuto a sua volta a un sistema di raffreddamento inadeguato.

A seconda del tipo di lubrificazione, i cuscinetti a strisciamento si dividono in:

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

1.2 Materiali

I materiali utilizzati in un tipo di cuscinetto attualmente assai diffuso, la cosiddetta *boccola autolubrificante*, sono: per l'armatura esterna, acciaio o bronzo; internamente è presente uno strato di bronzo poroso ottenuto per sinterizzazione; la superficie di strisciamento è a base di PTFE (politetrafluoroetilene – teflon) o POM (polioossimetilene).

Altri materiali utilizzati sono:

- i materiali fibrorinforzati (FRP), che hanno elevata resistenza meccanica e rilevante modulo di elasticità. Possono essere realizzati con fibre di carbonio, di aramide o di vetro;
- i *metalli antifrizione*, ossia leghe composte da:
 - alluminio-stagno;
 - stagno-zinco;
 - rame-stagno (*bronzi*);
 - rame-stagno-piombo (*bronzi al piombo*);
 - rame-piombo e piombo-stagno-antimonio cui talvolta viene aggiunto il bismuto (*metalli bianchi*) o il fosforo (*metalli rosa*).

In particolari applicazioni viene utilizzato anche il nylon.

Le caratteristiche principali che devono possedere i materiali per cuscinetti radenti sono:

- ridotto coefficiente d'attrito: nei cuscinetti in bronzo, bronzo sinterizzato, PTFE o POM esso è compreso tra 0,02 e 0,20;
- buona resistenza meccanica;
- buona resistenza alla corrosione, che può verificarsi a causa della presenza di acidi organici nel lubrificante;
- capacità di inglobare i piccoli frammenti metallici prodotti per usura delle su-

- perfici a contatto e che, trasportati dal lubrificante, si interpongono tra perno e cuscinetto;
- durezza il più possibile costante al variare della temperatura. La durezza deve essere inferiore a quella del materiale di cui è costituito il perno; infatti è più conveniente se l'usura si manifesta sul cuscinetto anziché sul perno;
- buona aderenza al supporto al quale è applicato il cuscinetto;
- buona capacità di smaltimento del calore che si produce per attrito, ossia elevata conducibilità termica;
- elevato adsorbimento del lubrificante. L'adsorbimento è la capacità di un corpo solido poroso di fissare un liquido, in questo caso l'olio lubrificante, sulla sua superficie;
- buona resistenza all'abrasione, cioè all'asportazione superficiale di materiale per effetto dell'azione ripetuta dell'attrito;
- buona resistenza all'usura;
- *velocità di strisciamento* elevata; devono cioè consentire elevati valori della velocità relativa (velocità di strisciamento) tra perno e cuscinetto.

1.3 Utilizzazione

I cuscinetti a strisciamento sono impiegati nei più svariati settori: dal settore aerospaziale a quello automobilistico, in agricoltura e in edilizia, nei settori energetico, medico, ferroviario, industriale (sistemi di sollevamento, pompe e motori idraulici o pneumatici, macchine agricole, macchine tessili, elettrodomestici ecc.).

1.4 Condizioni di funzionamento

Le condizioni di funzionamento di un cuscinetto a strisciamento lubrificato sono rappresentate nel *diagramma* (o *curva*) di *Stribeck* (**Figura 1**) nell'ipotesi di carico e viscosità costanti. Da questo diagramma si possono fare le seguenti osservazioni:

1. Il coefficiente d'attrito f inizialmente assume il valore massimo: siamo nelle condizioni di *attrito statico*, per il quale la velocità relativa è pressoché nulla: settore (a). Se la velocità è molto ridotta la lubrificazione è carente: le due superfici entrano in contatto e di conseguenza si verifica usura. Questa situazione riguarda in genere tutte quelle applicazioni che presentano avviamenti e arresti frequenti o movimenti oscillanti.
2. All'aumentare della velocità relativa (velocità di strisciamento) le superfici accoppiate risultano separate soltanto da uno strato estremamente ridotto, molecolare, di pellicola di lubrificante; si ha il funzionamento ad *attrito limite*: settore (b).

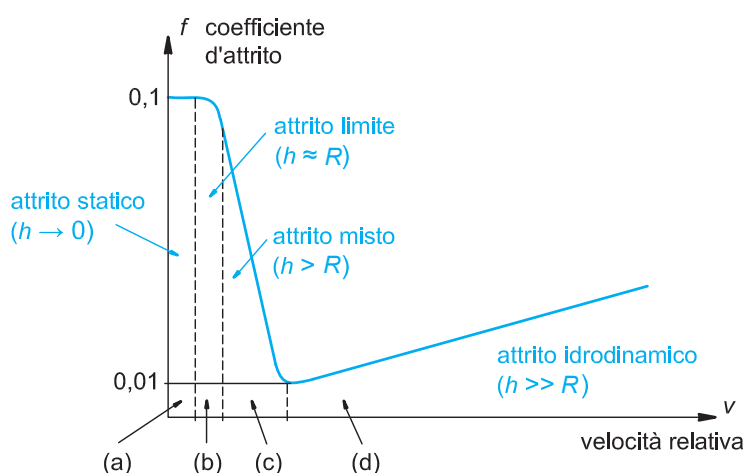


Figura 1
Diagramma (o curva) di Stribeck.
Ipotesi: carico = cost.
e viscosità = cost.

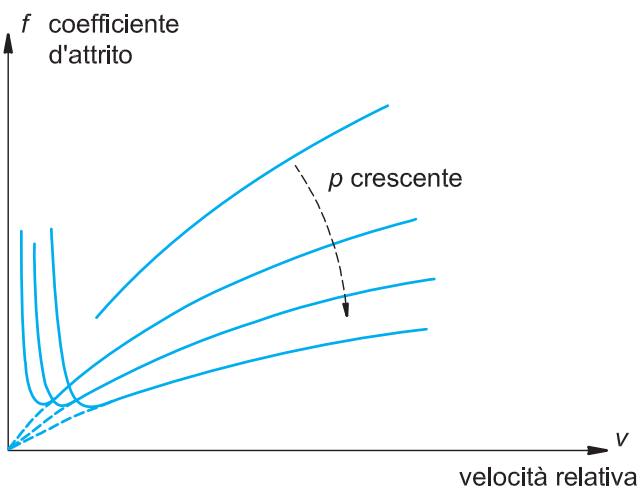
3. Man mano che la velocità relativa aumenta, il funzionamento diviene ad *attrito misto*: una parte del carico viene sostenuta dal contatto diretto, la parte rimanente dalla pressione p esercitata dal fluido presente nel *meato*: settore (c). Per *meato* si intende lo spazio, occupato dal lubrificante, tra due superfici accoppiate.

4. Per velocità relative ancora maggiori lo spessore h della pellicola di lubrificante diviene sensibilmente maggiore delle rugosità R delle due superfici a contatto: la lubrificazione è di tipo *idrodinamico*: settore (d). Il funzionamento che si ottiene è privo di usura in quanto lo strato lubrificante è sufficientemente spesso per impedire il contatto diretto delle due superfici accoppiate.

In **Figura 2** è rappresentato l'andamento delle curve di Stribeck al variare del carico, ovvero della pressione p esercitata dal fluido all'interno del meato. Come si può notare, all'aumentare della velocità relativa il coefficiente di attrito f aumenta sempre più lentamente man mano che cresce la pressione del fluido.

Figura 2

Andamento delle curve di Stribeck al variare del carico p .



In generale per i materiali tipici dei cuscinetti a strisciamento la pressione del fluido interposto tra le due superfici accoppiate varia tra i 5 e i 10 MPa. Se la velocità di strisciamento è molto bassa, si possono ammettere valori fino a 20 MPa.

1.5 Classificazione

Analogamente ai perni che vi si accoppiano, i cuscinetti radenti si suddividono in cuscinetti *portanti* (o *radiali*) e cuscinetti *di spinta* (o *assiali*). Nei cuscinetti radiali le forze hanno direzione prevalentemente normale all'asse; nei cuscinetti assiali, la direzione dei carichi è prevalentemente parallela all'asse.

CUSCINETTI A STRISCIAMENTO PORTANTI – CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

I cuscinetti a strisciamento portanti possono essere realizzati:

- in un unico pezzo (*boccole*, *bussole*);
- in due metà (*bronzine*, *semigusci*, *gusci*).



Figura 3

Grano di arresto.

Boccole (bussole)

Nel caso delle *boccole*, l'accoppiamento con la sede del supporto è realizzato con una leggera interferenza. Questo accorgimento serve a evitare spostamenti assiali o rotazioni del cuscinetto durante il funzionamento. Talvolta, a questo scopo, per maggiore sicurezza, si usano *grani di arresto* (*viti senza testa*) (**Figura 3**).

**Figura 4**

- a Boccola cilindrica liscia;
b boccole con flangia.

Le boccole consentono ai perni accoppiati sia i movimenti rotatori, sia gli spostamenti assiali. Dal punto di vista costruttivo possono essere *lisce* (o *diritte*) (**Figura 4a**) o *con flangia* (**Figura 4b**). Le *boccole lisce* possono sopportare solo carichi radiali, mentre quelle *con flangia* possono sopportare sia carichi radiali sia carichi assiali, questi ultimi in un solo verso.

Boccole autolubrificanti

Le *boccole autolubrificanti* sono particolari cuscinetti radenti che possono essere impiegati anche in condizioni di scarsa lubrificazione. Sono generalmente composte da un'armatura esterna in acciaio o bronzo, uno strato di bronzo poroso *sinterizzato* e uno strato finale superficiale costituito da un polimero termoplastico. Il polimero termoplastico può essere: PTFE (politetrafluoroetilene), POM (poliossimetilene), PPS (polifenilensolfuro) ecc.

La *sinterizzazione* è un processo tecnologico mediante il quale il materiale (ferro o bronzo) finemente polverizzato viene sottoposto a pressioni e temperature elevate.

La massa finale che si ottiene è più o meno porosa – o più o meno compatta –, a seconda del tipo di trattamento.

Le boccole ottenute per sinterizzazione possono presentare una struttura:

- sostanzialmente *porosa*, con incameramento del lubrificante negli alveoli;
- fondamentalmente *compatta*. In questo caso, se ad esempio si usa come materiale bronzo premiscelato con grafite, la grafite assume il ruolo di lubrificante.

Le boccole autolubrificanti possono essere utilizzate anche in assenza di impianti di lubrificazione e in ambienti chimici aggressivi o in presenza di acqua o polvere.

Se l'armatura della boccola è in acciaio, è presente un rivestimento esterno costituito da un sottile strato protettivo di rame (ramatura) o di stagno (stagnatura).

Funzionamento delle boccole autolubrificanti multistrato

Il periodo iniziale di funzionamento dell'accoppiamento perno-cuscinetto (periodo di *rodaggio*) è caratterizzato da un forte attrito. Per effetto di questo attrito parte del polimero inglobato nelle porosità del bronzo viene trasferita dalla superficie del cuscinetto a quella del perno. Tra le due superfici si viene così a interporre uno strato di polimero. Dato il basso coefficiente d'attrito di questo strato si ottiene, nella prosecuzione del funzionamento, un rallentamento dell'usura delle superfici stesse.

Caratteristiche delle boccole autolubrificanti

Le principali caratteristiche delle boccole autolubrificanti sono:

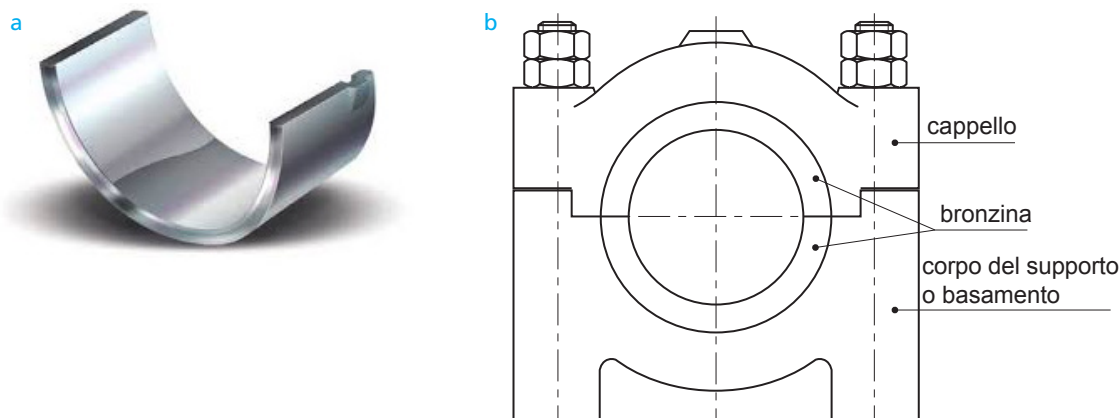
- alta temperatura di fusione, inferiore comunque a quella dei perni ad esse accoppiati; se si ha un eccessivo calore prodotto per attrito è infatti preferibile, dal punto di vista economico, la fusione della boccola anziché quella del perno;
- buona resistenza alla corrosione;
- notevole silenziosità;
- ingombro limitato;
- costi contenuti;
- capacità di sopportare alti carichi;
- standardizzazione delle dimensioni;
- assenza o riduzione degli impianti di lubrificazione;
- assenza di manutenzione;
- ampia scelta dei materiali, a seconda delle caratteristiche dell'ambiente in cui vengono impiegate.

Bronzine

La *bronzina* può essere considerata come una boccola tagliata diametralmente in due parti; una delle due metà (*semiguscio*) (**Figura 5a**) è alloggiata nel *cappello*, che costituisce la parte superiore del supporto, l'altra nel *corpo* o *basamento* del supporto, che ne costituisce la parte inferiore. Il cappello è collegato al basamento tramite bulloni (**Figura 5b**).

Figura 5

a Semiguscio; **b** bronzina inserita in un supporto.



Nei motori alternativi a c.i. sono impiegate sia boccole sia bronzine: nel piede di biella è inserita una boccola (spinotto); sono invece bronzine i cuscinetti interposti tra la testa di biella e l'albero a gomiti, nonché i cuscinetti di banco, tra l'albero a gomiti e i supporti fissi.

Nota bene

Confronto tra i cuscinetti a strisciamento e i cuscinetti a rotolamento

I cuscinetti a strisciamento presentano i seguenti vantaggi rispetto ai cuscinetti a rotolamento:

- quando sono utilizzati per perni di diametri o molto grandi o molto piccoli risultano più economici;
- sono preferibili nei casi di carichi elevati e variabili nel tempo.

D'altra parte, i cuscinetti a strisciamento sono caratterizzati da un coefficiente d'attrito notevolmente superiore a quello dei cuscinetti a rotolamento.