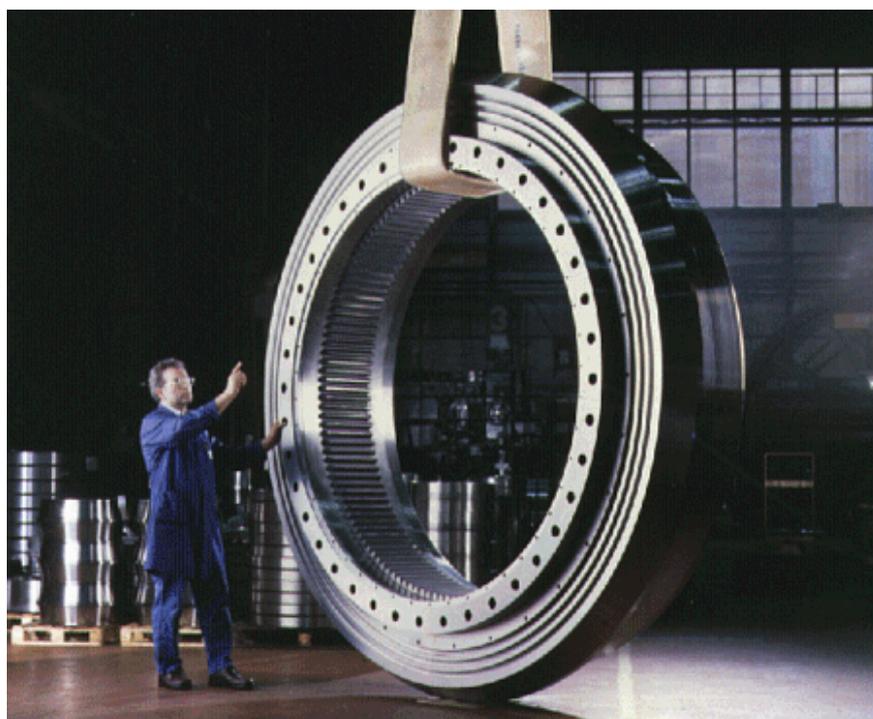


# CUSCINETTI

Carmine Napoli

## CUSCINETTI





## Definizioni

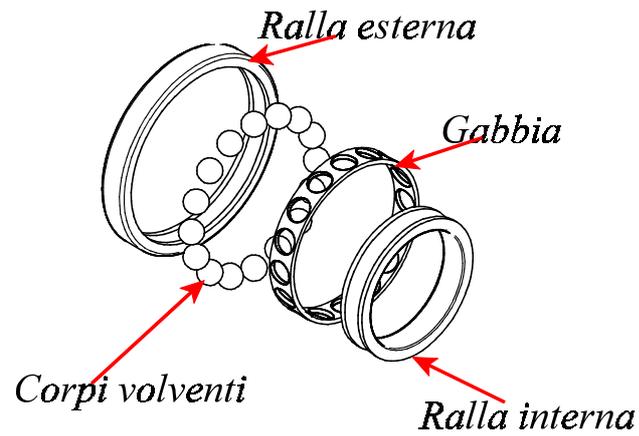
**Cuscinetto:** Organo meccanico di collegamento fra un elemento rotante ( un albero) ed un supporto

**Cuscinetto di strisciamento o bronzina:** il contatto avviene per strisciamento con coefficiente di attrito medio di  $\mu= 0,008$ , si possono avere anche valori di  $\mu=0,08$

**Cuscinetti di rotolamento (volventi):** il contatto avviene con interpolazione di elementi rotolanti quali sfere, rulli, coni, il coefficiente di attrito pari mediamente a  $\mu= 0,001 \div 0,005$  (molto più basso della bronzina)

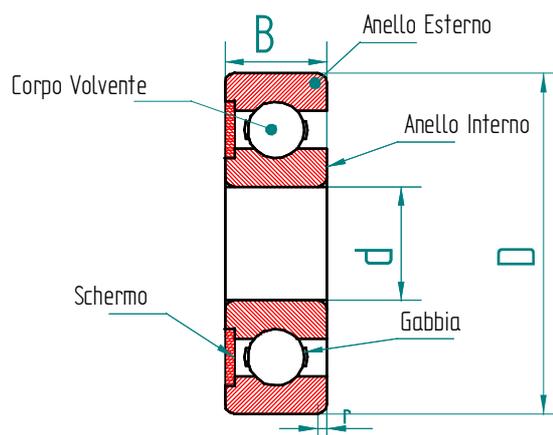
L'uso dei cuscinetti di rotolamento inizia in epoca molto lontana, si conoscono cuscinetti di rotolamento utilizzati dai romani (in questo caso le sfere erano di legno) o di collegamenti dei mozzi delle ruote dei carri in epoca medievale.

## Elementi di un cuscinetto volvente



Gli elementi del cuscinetto sono: anello interno  
anello esterno  
gabbia  
elemento di rotolamento (sfera, rullo, cono)  
lubrificante, che pur non essendo un elemento costruttivo, è sempre presente.

## Elementi di un cuscinetto volvente



## Elementi di un cuscinetto volvente

Gli **anelli** sono gli elementi di accoppiamento del cuscinetto con l'albero ed il foro, sono di acciaio temprato al cromo.

La **gabbia** serve:

- a distanziare i corpi volventi
- evitare il contatto diretto tra i corpi volventi
- evitare che i corpi volventi fuoriescano dalle sedi

non deve

- partecipare alla trasmissione del moto

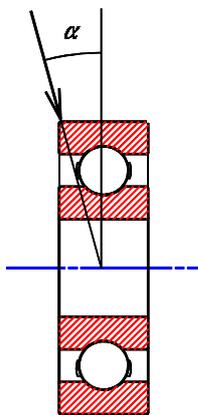
sono fatte

- di lamiera stampata in questo caso sono leggere il costo degli stampi è alto per cui si usano per alte produzioni
- massicce sono di ottone, acciaio, leghe leggere, si ottengono per asportazione di truciolo
- gabbie in poliammide, rinforzate con fibre di vetro possono funzionare fino a temperature di  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$  come limite superiore, hanno un punto di fusione pari a  $+255\text{ }^{\circ}\text{C}$

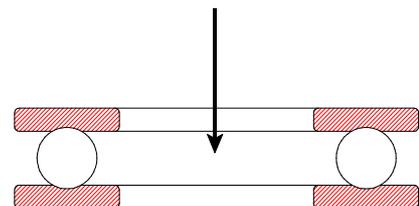
La scelta se non ci sono altre motivazioni è quella economica.

## TIPI DI CUSCINETTI VOLVENTI

I cuscinetti si classificano in base alla direzione del carico

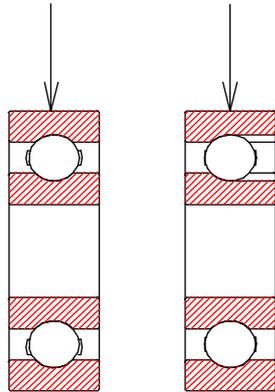


- $0 < \alpha < 45$  cuscinetti radiali
- $45 < \alpha < 90$  cuscinetti assiali



## CUSCINETTI RADIALI AD UNA CORONA DI SFERE

### Carico



**A**

**B**

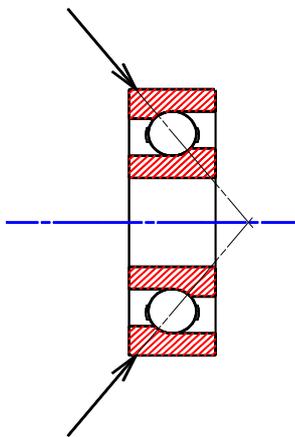
Sono i cuscinetti più diffusi

Vengono chiamati a gola profonda  
Hanno buona capacità di carico  
Supportano anche carichi combinati

Il cuscinetto B della figura presenta un intaglio per la introduzione delle sfere, ciò permette l'introduzione di un maggior numero di corpi volventi, supportano carichi maggiori

Possono essere con uno schermo o con 2 schermi

## CUSCINETTI OBLIQUI AD UNA CORONA DI SFERE

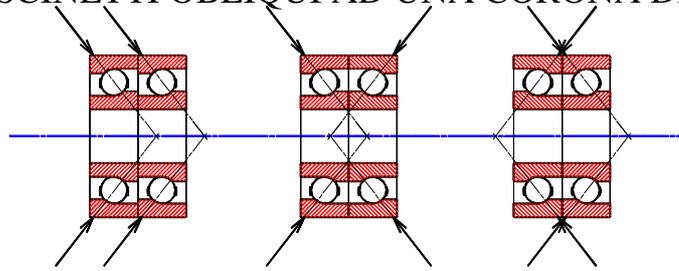


Il contatto sfera gola è obliquo

L'intersezione tra la direzione del carico e l'asse del cuscinetto non avviene al centro del cuscinetto, ma in un punto più o meno distante.

Nella schematizzazione per il calcolo si deve tener presente l'effettiva intersezione della direzione della forza e l'asse del cuscinetto.

## CUSCINETTI OBLIQUI AD UNA CORONA DI SFERE



Devono essere montati a coppia per bilanciare le spinte assiali, vi sono diverse possibilità di accoppiamento, in figura

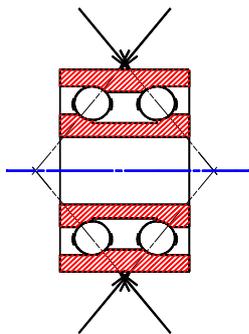
- accoppiamento in tandem
- accoppiamento a X
- accoppiamento ad O

Quando devono essere messi a coppia i cuscinetti sono lavorati anche sui lati.

Nella schematizzazione si deve tenere conto dell'effettivo punto in cui avviene il contatto tra la direzione della forza e l'asse dell'albero.

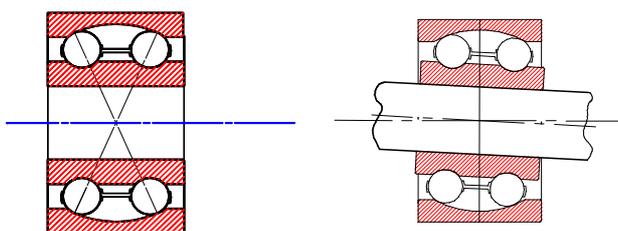
Si noti infine come le diverse disposizioni fanno nascere dei momenti di reazione che hanno valore massimo se la disposizione è a O e minimo se a X

## CUSCINETTI OBLIQUI A DUE CORONE DI SFERE



Sono come i precedenti.  
Si costruiscono senza gioco  
Sono adatti per i mandrini delle macchine utensili  
Sopportano carichi assiali nei due sensi

## CUSCINETTI RADIALI ORIENTABILI A SFERA



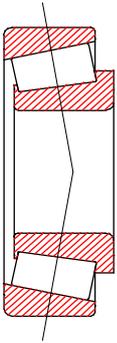
Ci sono due corone di sfere unite da una gabbia  
Servono nel caso non ci sia coassialità tra l'albero ed il supporto.

## CUSCINETTI RADIALI AD UNA CORONA DI RULLI CILINDRICI



Si impiegano per carichi elevati, le piste sono cilindriche ed hanno degli orletti per non avere la fuoriuscita.

Nel caso di spazi ristretti



Cuscinetti a rulli conici

Come i cuscinetti a rulli, ma possono sopportare carichi radiali ed assiali.  
L'anello interno è sfilabile

Cuscinetti a rullini: Si utilizzano se lo spazio è limitato

## I CEDIMENTI DEI CUSCINETTI

La vita dipende

- carico esterno
- dalla velocità di rotazione

La fine di un cuscinetto può avvenire

- per presenza di ruggine o sporcizia
- usura
- errori di montaggio
- difetti costruttivi dei supporti
- lubrificazione non idonea
- per affaticamento delle piste o dei corpi volventi

La durata dei cuscinetti volventi fortemente caricati è limitata dall'apparire di sfaldamenti di fatica (spalling), con distacco di piccole particelle di materiale dalle superfici interessate al rotolamento. Tale fenomeno è accompagnato da un improvviso aumento della rumorosità dovuta al passaggio dei corpi volventi sulle zone danneggiate.

Un secondo tipo di danneggiamento per fatica è il cosiddetto affaticamento superficiale (surface distress). Altri tipi di danneggiamenti prematuri delle piste sono dovute a lubrificazione inadeguata o a difetti di fabbricazione.

**L'affaticamento superficiale** è caratterizzato da alterazioni superficiali conseguenti a deformazioni micro-plastiche disomogenee, originate da piccole particelle solide contenute nel lubrificante sporco, che si inseriscono nei contatti di tipo hertziano fra anelli e corpi volventi

Una volta intrappolate le particelle provocano sulla superficie sollecitazioni concentrate che danno luogo localmente a uno stato di sollecitazione molto elevato che produce nel duro acciaio dei cuscinetti delle piccole deformazioni plastiche localizzate, disposte in modo molto disomogeneo su un sottile strato superficiale.

L'esposizione continua delle superfici a tali condizioni porta alla formazione di fessure, che si propagano nella zona adiacente alla parte deformata. Alla fine si staccano piccole schegge di materiale.

Subito dopo, può insorgere l'usura e dalla superficie si possono staccare altre piccole schegge: questo, a sua volta, contribuisce ad accrescere ulteriormente la rumorosità e ad aumentare il gioco interno del cuscinetto.

**Il danneggiamento per fatica di rotolamento** parte dalla formazione di grosse fessure sotto la superficie di contatto, che, prime della sfaldatura, si propagano parallelamente alla superficie, nelle zone dove le sollecitazioni del carico sono di valore massimo.

Le sfaldature sono dovute all'emergere in superficie delle fessure, oppure possono essere innescate da fessure superficiali di entità sufficienti da superare la piccola distanza che

separa la superficie dalla zona alterata. Queste fessure possono derivare da impronte relativamente grandi esistenti sulla superficie provocate dalla frantumazione di grosse particelle presenti nel lubrificante e penetrate tra i contatti .

La frantumazione delle particelle tende ad estendere la zona danneggiata attorno all'impronta come conseguenza delle deformazioni plastiche della concentrazione di sollecitazioni residue nei dintorni. Il successivo rotolamento può allora creare una fessura superficiale, Una volta formate, le fessure possono propagarsi per l'azione del lubrificante che penetra al loro interno.

## **Il lubrificante.**

Le pressioni di contatto concentrate all'interno di un cuscinetto sono molto elevate, esse creano un attrito molto alto

## **DATI PER IL CALCOLO**

Coefficiente di carico  $C$  riflette il valore della capacità di carico e dipende dal numero di dimensione dei corpi volventi, rapporto di osculazione<sup>1</sup>, angolo di contatto, diametro primitivo

Coefficiente di carico statico  $C_0$  è il carico che produce una deformazione totale<sup>2</sup> di 1/1000 del diametro del corpo volvente  
corrisponde ad una pressione Hertziana

- 4600 N/mm<sup>2</sup> cuscinetti orientabili a 2 corone di sfere
- 4200 N/mm<sup>2</sup> tutti i tipi a sfera
- 4000 N/mm<sup>2</sup> tutti i tipi a rulli

Coefficiente di carico dinamico  $C$  È la capacità di carico di un cuscinetto sottoposto a sollecitazione dinamica, è il carico per il quale il 90% di un gruppo di cuscinetti raggiunge 1.000.000 di giri prima di fermarsi per fatica

---

<sup>1</sup>Osculazione: In tutti i cuscinetti con i corpi volventi e piste a profilo curvo, i raggi di curvatura della pista e del corpo volvente sono differenti, il raggio della pista è maggiore. - Osculazione (raggio pista-raggio sfera)/raggio pista

<sup>2</sup>Deformazione totale si intende la somma della deformazione delle piste e dei corpi volventi

## CALCOLO DEI CUSCINETTI

Nella scelta dei cuscinetti si deve far notare come non possa essere calcolata con certezza assoluta un carico a cui tutti i cuscinetti di un lotto loro resistono, ma si deve fare una analisi statistica.

Considerato un lotto di cuscinetti dello stesso tipo potremo trovare un carico per il quale una percentuale del 90% del lotto resiste senza rompersi per almeno 1.000.000 di cicli, detto carico di dirà Carico Dinamico

Durata Base è la durata del 90% del lotto considerato sotto il carico dinamico

Durata D'Esercizio durata effettiva in esercizio

Durata Specificata è la durata fornita da un ente o autorità basata su particolari velocità e carichi.

Consideriamo un albero che ruota sia

n = numero di giri al minuto

h = ore di funzionamento

La durata in milioni di cicli si ottiene con la formula

$$L = \frac{60 n h}{10^6}$$

Inversamente si possono trovare le ore di funzionamento

$$h = \frac{10^6 L}{60 n}$$

Definendo i seguenti termini.

C = Coefficiente di carico dinamico (si ricava dal catalogo)

P = Carico dinamico equivalente sul cuscinetto

p = esponente che vale 3 se sfere 10/3 se rulli

$L_{10}$  = durata base in milioni di cicli

Le norme forniscono come formula che lega i termini di sopra la formula

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

Indicando con  $C_L$  il carico che il cuscinetto può sopportare per L milioni di cicli

$$C_L = \frac{C}{L^{\frac{1}{p}}} \quad C = C_L \cdot L^{\frac{1}{p}}$$

Nel caso che il cuscinetto è applicato ad una ruota di cui si conosce il diametro D si ha

$$L_D = \frac{\pi D}{1000} L_{10}$$

La Durata base corretta, serve a tener conto del materiale, dell'affidabilità desiderata e della lubrificazione

$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10}$  sostituendo la formula di  $L_{10}$  si ha

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

$L_{na}$  = durata corretta in milioni di giri

$a_1$  = fattore correttivo della durata relativo alla affidabilità

$a_2$  = fattore correttivo della durata relativo al materiale

$a_3$  = fattore correttivo della durata relativo alle condizioni di funzionamento

Valori $a_1$	affidabilità %	Lna	a1
90	L10a	1	
95	L 5a	0,62	
96	L4a	0,53	
97	L3a	0,44	
98	L2a	0,33	
99	L1a	0,21	

Valori di  $a_2$ , per acciai della Riv SKF si ha  $a_2 = 1$

$a_3$  si calcola mediante dei diagrammi.

Il velo migliore di lubrificante è  $h \cong v^{0,73} v_1^{0,73}$  dove

$v$  = viscosità cinematica dell'olio usato

$v$  = velocità di rotazione cuscinetto

posto come  $v_1$  = viscosità cinematica dell'olio di riferimento, si definisce

K rapporto di viscosità 
$$K = \frac{v}{v_1}$$

dove 
$$v_1 = \frac{4500}{\sqrt{n d_m}} \left( \frac{1000}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$
 per  $n < 1000$  giri /minuto

$$v_1 = \frac{4500}{\sqrt{n d_m}}$$
 per  $n \geq 1000$  giri al minuto

e  $d_m$  = diametro medio del cuscinetto 
$$d_m = \frac{D + d}{2}$$

In generale si deve avere  $K > 1$

$K = 4$  è la condizione ideale di velo, con essa si ha la separazione completa tra i corpi volventi e le piste di rotolamento

## ANALISI DEI CARICHI

### Carico dinamico equivalente

È quel carico ipotetico costante come intensità direzione e verso, che agisce radialmente su un cuscinetto radiale o assialmente su un cuscinetto assiale che, se applicato, avrebbe sulla durata dei cuscinetti la stessa influenza dei carichi agenti in realtà sul cuscinetto stesso.

$$P = X F_r = Y F_a$$

P = carico dinamico equivalente, N

$F_r$  = carico radiale effettivo

$F_a$  = carico assiale effettivo

X fattore relativo al carico radiale sul cuscinetto

Y fattore relativo al carico assiale sul cuscinetto

Per i cuscinetti radiali è importante il fattore  $F_a/F_r$  pari ad e definito dalle tabelle

### Carico variabile sul cuscinetto

Il carico di solito non è costante, ma risulta variabile allora si fa riferimento ad un valore

medio  $F_m$  dato dalla relazione

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{F_1^3 U_1 + F_2^3 U_2 + F_3^3 U_3 + \dots}{U_t}}$$

Dove  $F_m$  è il carico medio

$U_t$  è il numero complessivo di giri

Se il numero di giri risulta costante e la  $F$  varia da un minimo  $F_{\min}$  ad un massimo  $F_{\max}$  allora

$$F_m = \frac{F_{\max} + 2 F_{\min}}{3}$$

Tabella Cuscinetti radiali rigidi ad una corona di sfere (SKF) parziale pag 190

Dimensioni Ingombro			Coffi. Di carico		Carico Lim.	Velocità di base		Massa	Nome
d	D	B	Dinam.	Statico	Fatica	Lubrificazione			
mm	mm	mm	N	N	N	Grasso	Olio	kg	
						giri/l'	giri/l'		
35	47	7	4.750	3.200	166	13000	16000	0,030	61807
	55	10	9.560	6.200	290	11000	14000	0,080	61907
	62	9	12.400	8.150	375	10000	13000	0,11	16007
	62	14	15.900	10.200	440	10000	13000	0,16	6007
	72	17	25.500	15.300	655	9000	11000	0,29	6207
	80	21	33.200	19.000	815	8500	10000	0,46	6307
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1020	7 500	9 000	0,63	6308
45	58	7	6 050	4 300	228	9 500	12 000	0,040	61809
	68	12	14 000	9 800	465	9 000	11 000	0,14	61909
	75	10	15 600	10 800	520	9 000	11 000	0,17	16009
	75	16	20 800	14 600	640	9 000	11 000	0,25	6009
	85	19	33 200	21 600	915	7 500	9 000	0,41	6209
	100	25	52 700	31 500	1340	6 700	8 000	0,83	6309

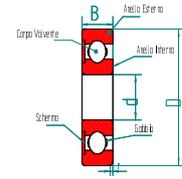
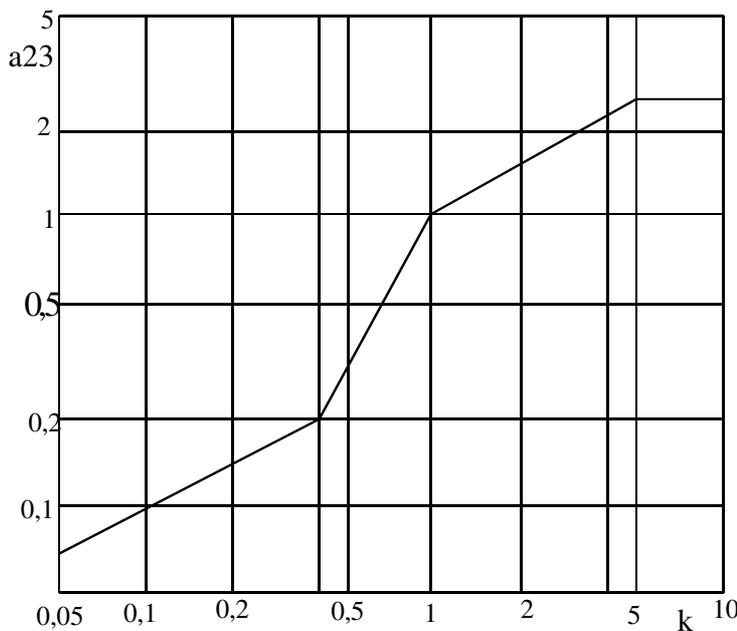


Diagramma  $K = v/v_1$



Si deve avere  $k > 1$

$k = 4$  condizioni ideali

per  $k < 0,4$  condizioni sfavorevoli

per  $0,4 < k < 1$  pulizia normale

per  $k > 4$  pulizia normale

per  $k > 4$  vita infinita

# Diagramma viscosità

