

Design e soluzioni costruttive dei cuscinetti volventi per la progettazione delle applicazioni



SKF®

SKF- Application Engineering



Design e soluzioni costruttive dei cuscinetti volventi per la progettazione delle applicazioni

Introduzione sulla scelta e sul dimensionamento dei cuscinetti

Parametri principali nelle diverse applicazioni

- Gioco interno
- Carico minimo
- Velocità e temperature

Tolleranze ed Applicazioni

- Carico rotante rispetto IR-OR
- Tolleranze dimensionali dei cuscinetti
- Tolleranze dimensionali per alberi ed alloggiamenti
- Tolleranze di forma e classi di precisione
- Lato di vincolo e lato libero
- Montaggio in contrapposizione
- Esempi applicativi

Danneggiamenti

- Classificazione differenti tipologie di danneggiamento dei cuscinetti
- Classificazione dei danneggiamenti dei cuscinetti secondo ISO
- Normali tracce di lavoro sulle piste e sui corpi volventi
- Tipiche anomalie di funzionamento e guasti / rotture conseguenti [RCFA]

Introduzione

1

Nuovi cuscinetti nel XX secolo

SKF è il leader tecnologico indiscusso

1907



1919



1939



1972



1995



1999



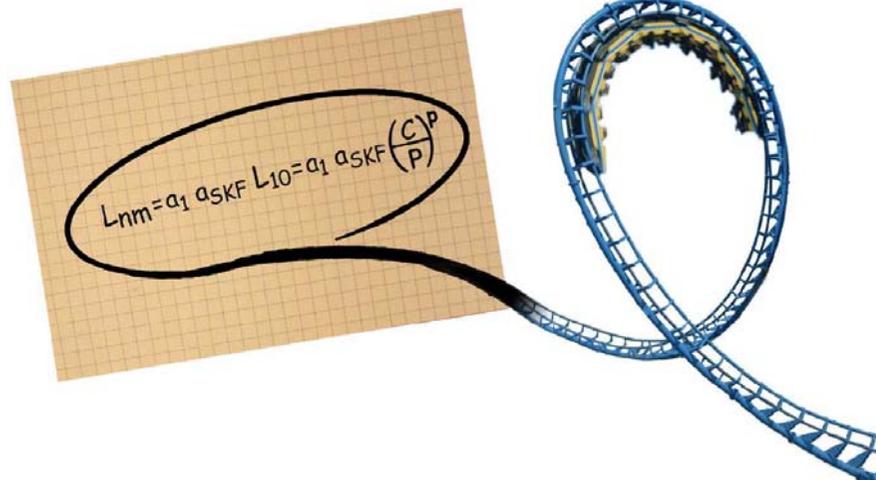
1900

Tutte le principali tipologie di cuscinetti sono state inventate da SKF

2000

SKF definisce gli standard nell' industria dei cuscinetti

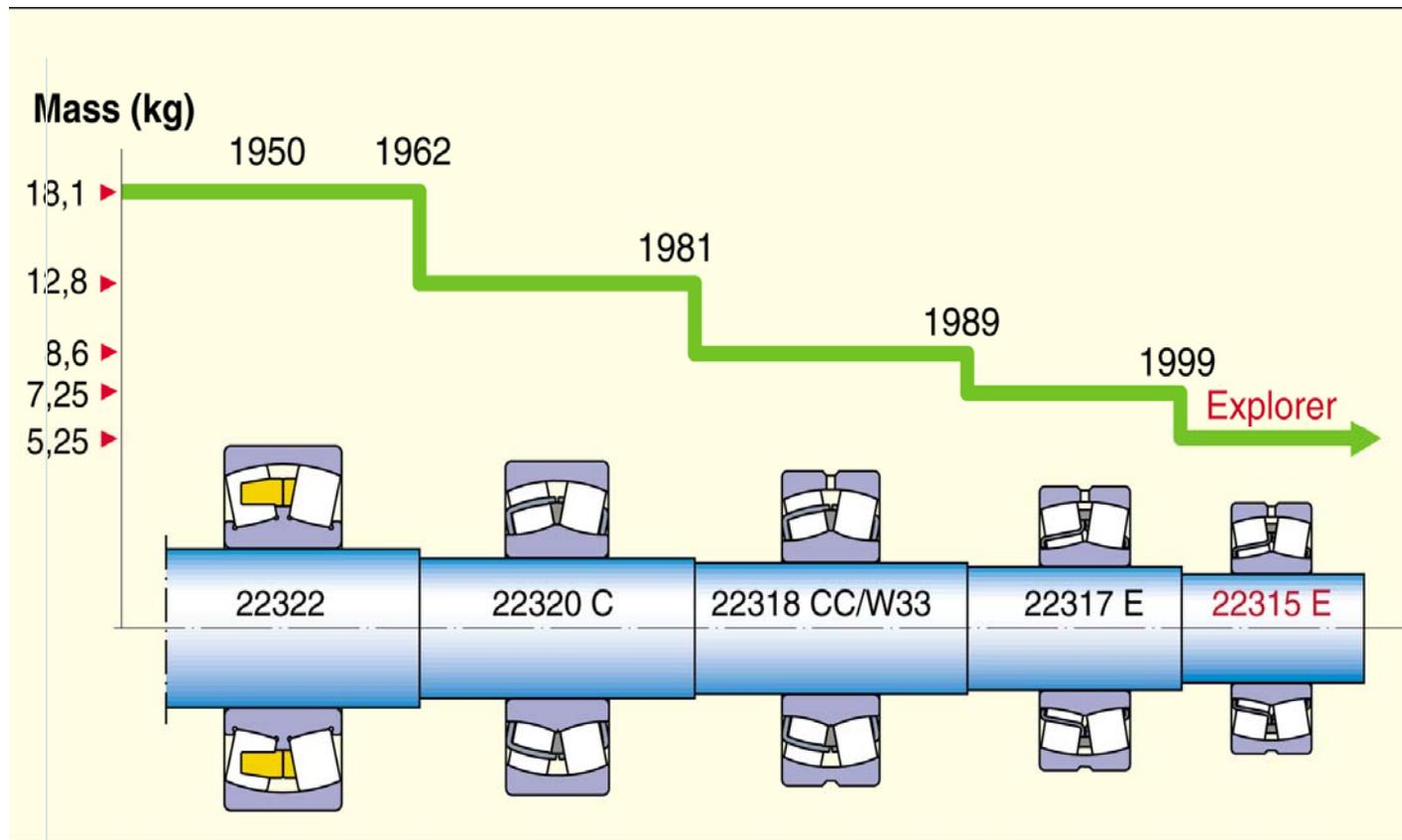
- 1947-1952: prima formula ISO Standard per il calcolo della durata, sviluppata da G.Lundberg e A. Palmgren (SKF)
- anni 80: nuova *Teoria SKF della durata*, sviluppata da E.Ioannides e T. Harris (SKF)
- 2004: DIN ISO 281, B1&4 in Germania la *Teoria SKF della durata* è standard



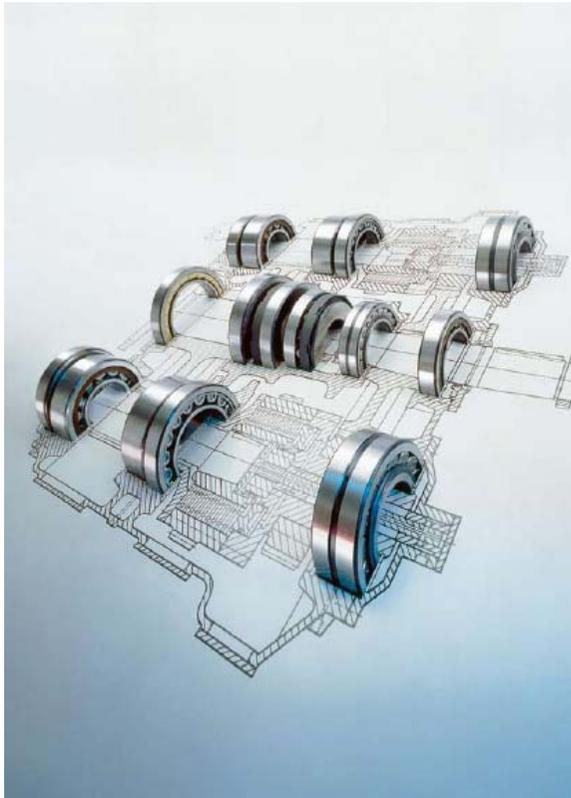
- 2006: L' INTERNATIONAL STANDARD ORGANISATION (ISO) ha adottato la "teoria SKF della durata" come nuovo metodo di calcolo ufficiale

SRB SKF Explorer

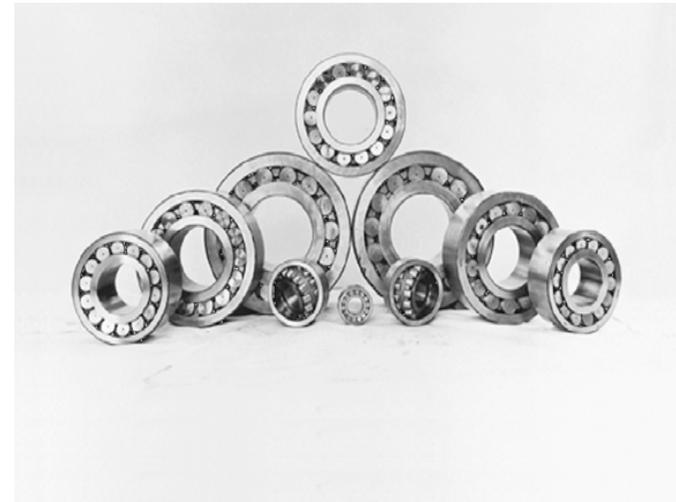
Incremento della densità di potenza



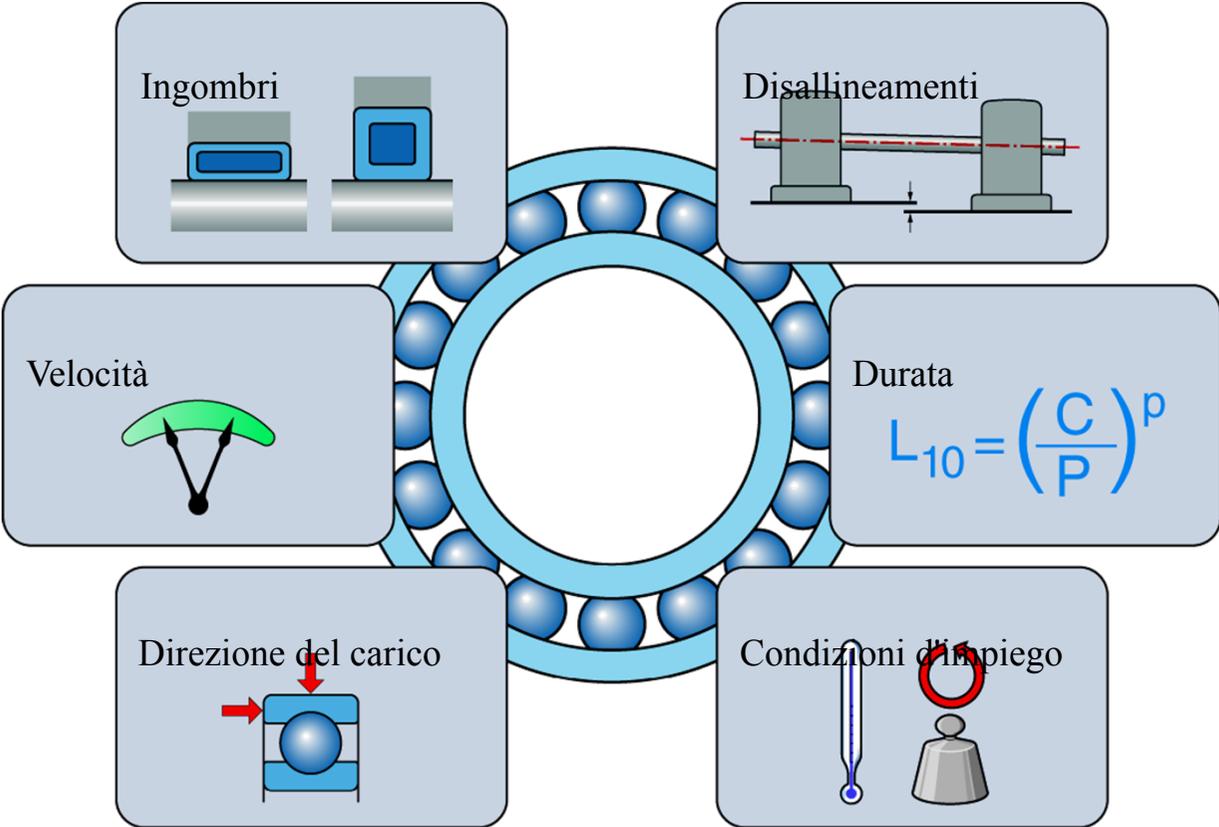
A cosa serve un cuscinetto?



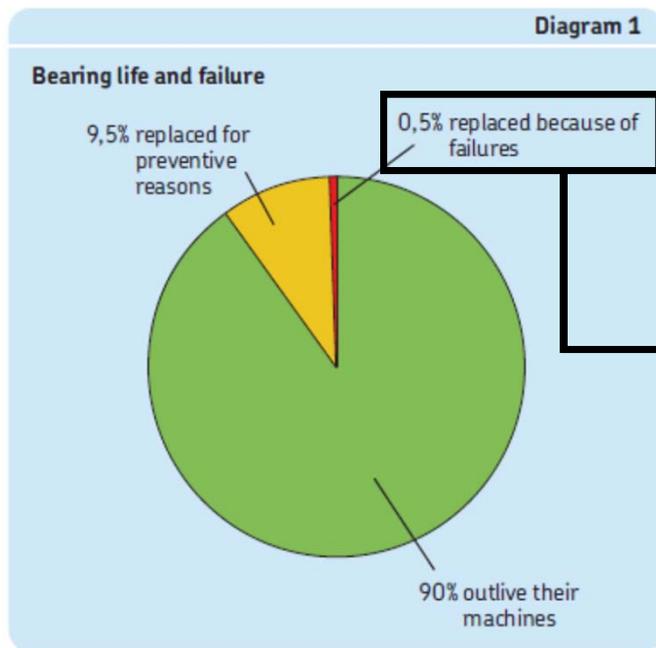
- Ridurre l'attrito
- Supportare i carichi
- Guida



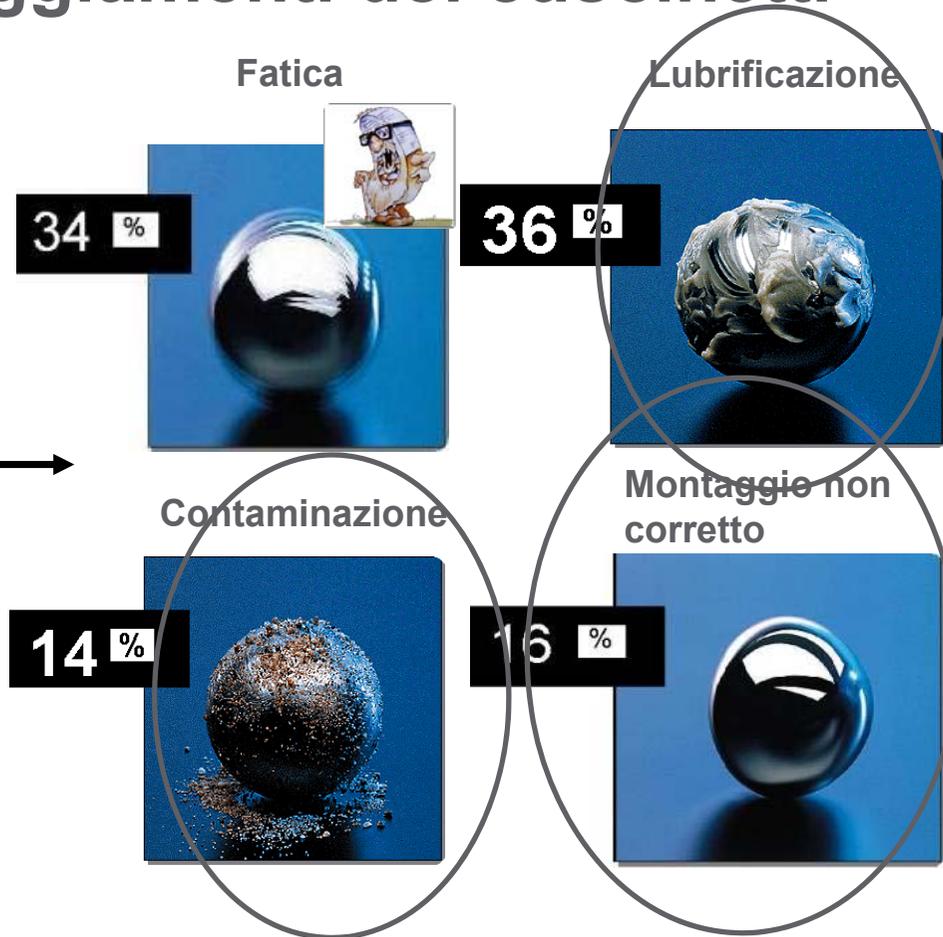
Criteri di scelta di un cuscinetto



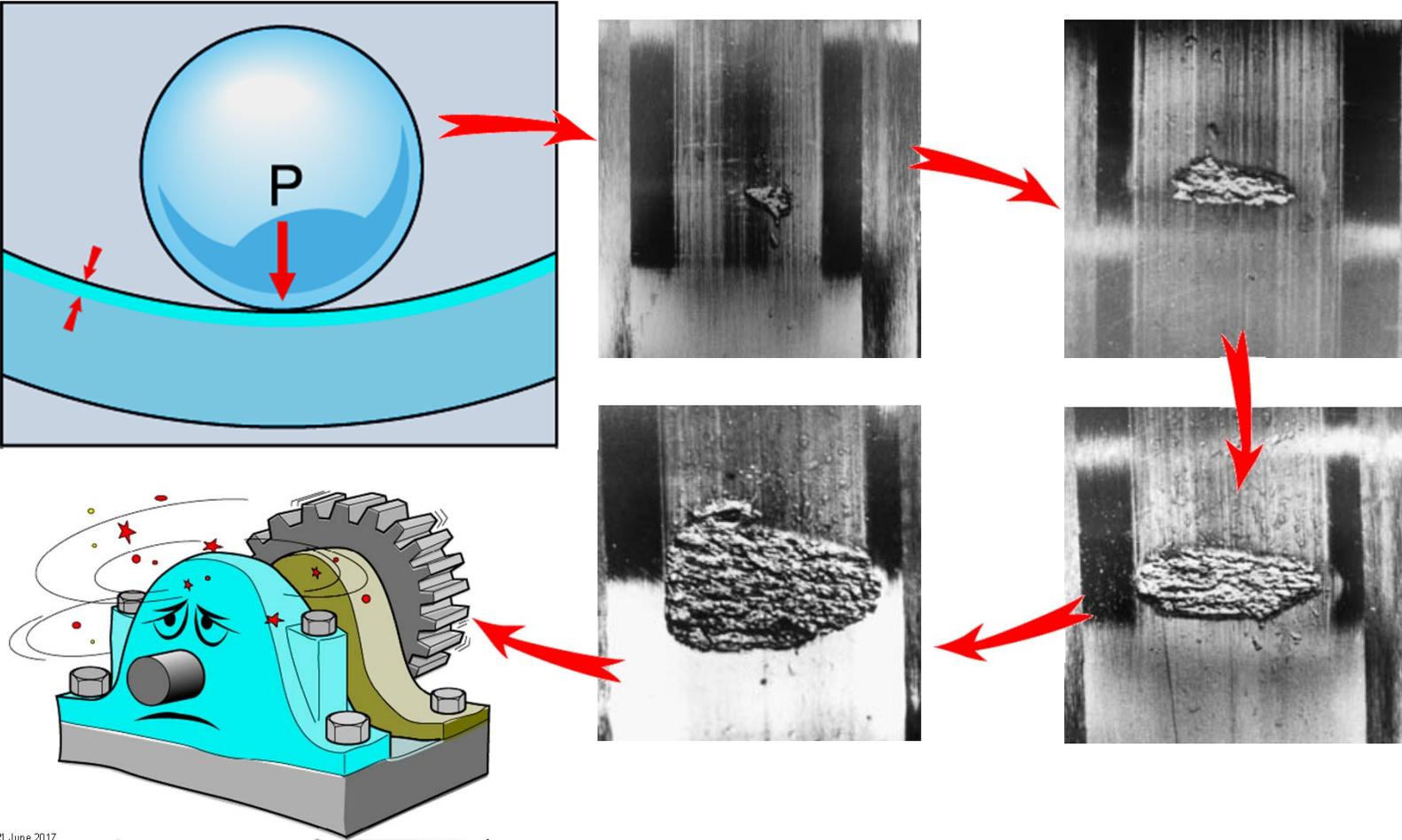
Dati statistici sui danneggiamenti dei cuscinetti



Danneggiamenti non legati al fenomeno di fatica



Ciclo di un cuscinetto



Definizione di durata

Si definisce *durata di base* di un cuscinetto :

Numero di giri oppure ore di funzionamento che il cuscinetto puo' raggiungere prima che si verifichi il primo segno di fatica (sfaldatura o erosione) su uno degli anelli oppure sui corpi volventi.

La durata di base di un cuscinetto viene indicata con ***L10***

Formula della durata di base

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

In cui :

L_{10} = durata di base espressa in milioni di giri

C = Coefficiente di carico dinamico (espresso in N)

P = Carico dinamico equivalente sul cuscinetto (espresso in N)

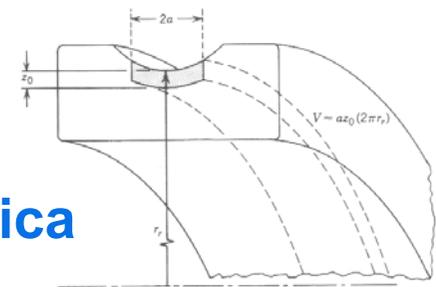
p = Esponente della formula della durata

$p = 3$ per i cusc. a sfere

$p = 10/3$ per cusc. a rulli

Durata di base teorica a fatica

Volume Lundberg Palmgren



Coefficiente di carico dinamico **C**

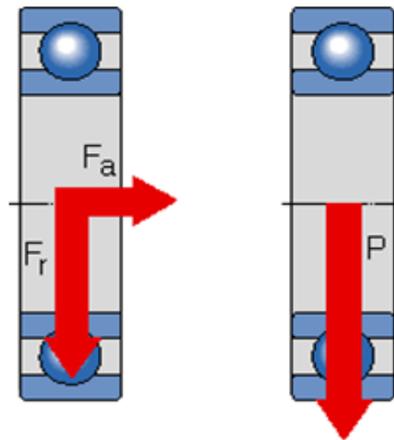
Il coefficiente di carico dinamico **C** viene utilizzato nei calcoli che riguardano i cuscinetti sollecitati dinamicamente, ossia che ruotano sotto carico.

Esprime il carico sul cuscinetto che darebbe una durata di base di 1.000.000 di giri, secondo la norma ISO 281:1990.

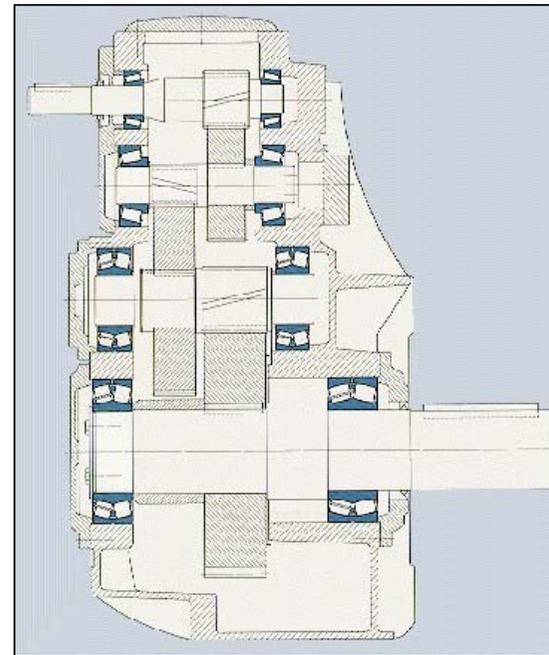
Si suppone che il carico sia costante in grandezza e direzione e che sia radiale per i cuscinetti radiali e assiale e centrato per quelli assiali.

ISO 281:1990

Carico Dinamico Equivalente P



$$P = X Fr + Y Fa$$



P = Carico dinamico equivalente

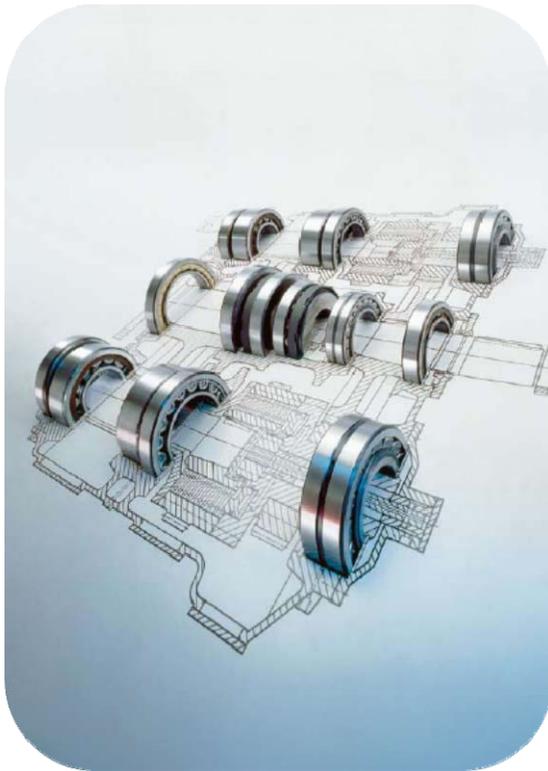
Fr = Carico radiale effettivo (N)

Fa = Carico assiale effettivo (N)

X = Fattore relativo al carico radiale sul cuscinetto

Y = Fattore relativo al carico assiale sul cuscinetto

Durata Teorica



Durata di base teorica a fatica

$$L_{10} = (C / P)^p$$

Fattori correttivi

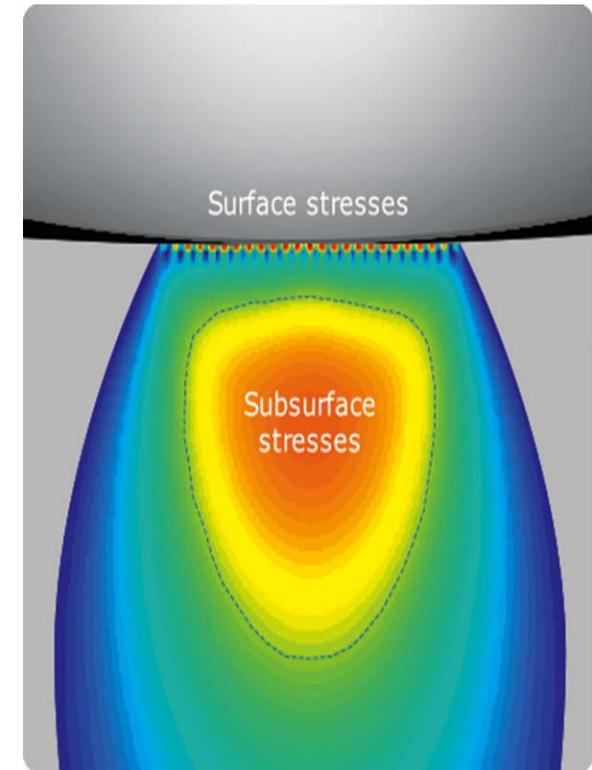
vecchio standard
(ISO 281-1:1977)

$$L_{10} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

Il nuovo standard

(ISO 281:1990/Amd.2:2000)

$$L_{nm} = a_1 * a_{skf} * \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

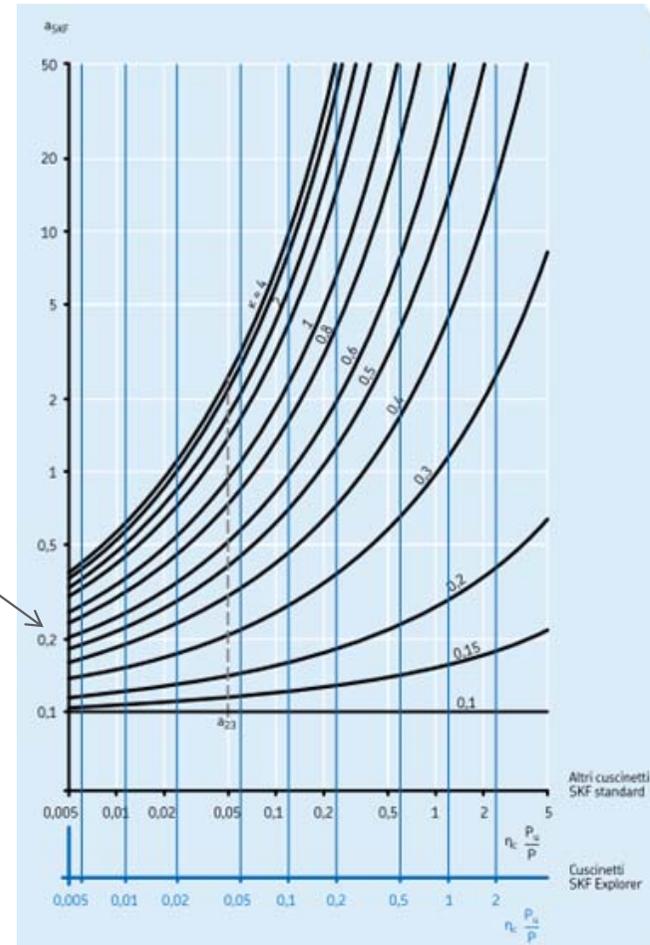


La teoria della durata SKF

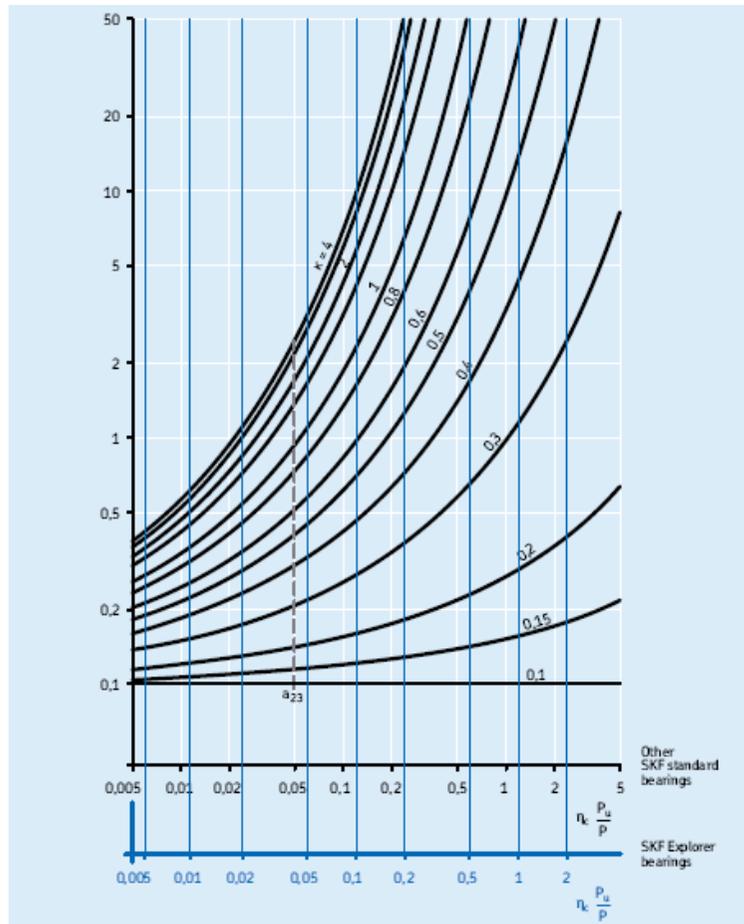
$$L_{nm} = a_1 * a_{skf} * \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Valori per fattore di correzione a_1

Affidabilità %	Probabilità di errore n %	Durata di base SKF L_{nm}	Fattore a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21



Il coefficiente a_{SKF}



- **lubrificazione**
 $k = f(v, T, n, d_m)$
- **contaminazione**
 η_c
- **materiale**
 P_u
- **carichi**
 P

$$M_{rr} = G_{rr}(vn)$$

$$L_{minh} = a_1 a_{SKF} \frac{10^6}{(60n)} L_{10}$$

- Controllo rugosità superficiale dei cuscinetti SKF
- Nuove scoperte in tribologia
- Maggiori potenzialità di calcolo e simulazione
- Classe SKF Explorer

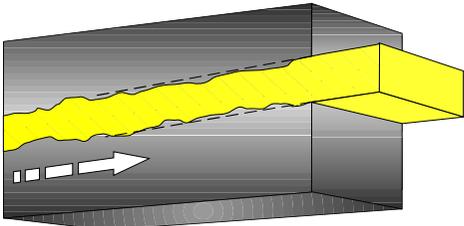


SKF

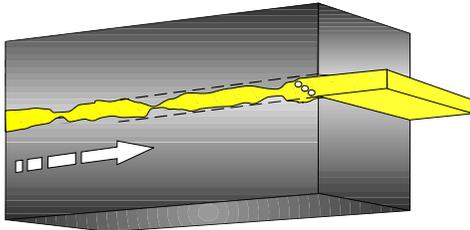
La lubrificazione

Rapporto di viscosità

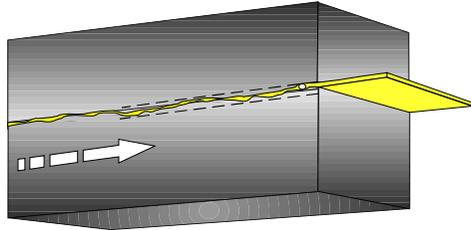
$$(\kappa) = \frac{\nu}{\nu_1}$$



Separazione completa



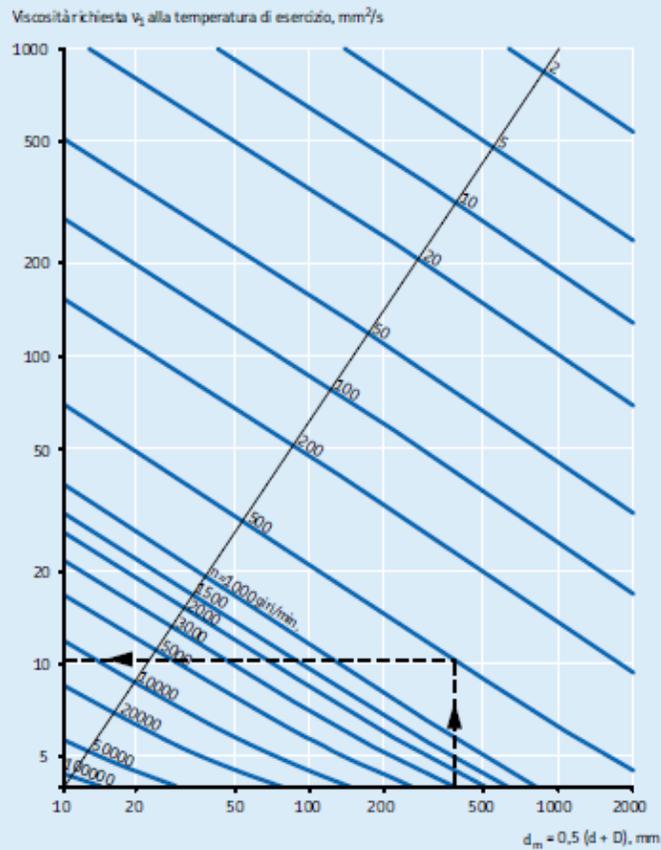
Lubrificazione mista



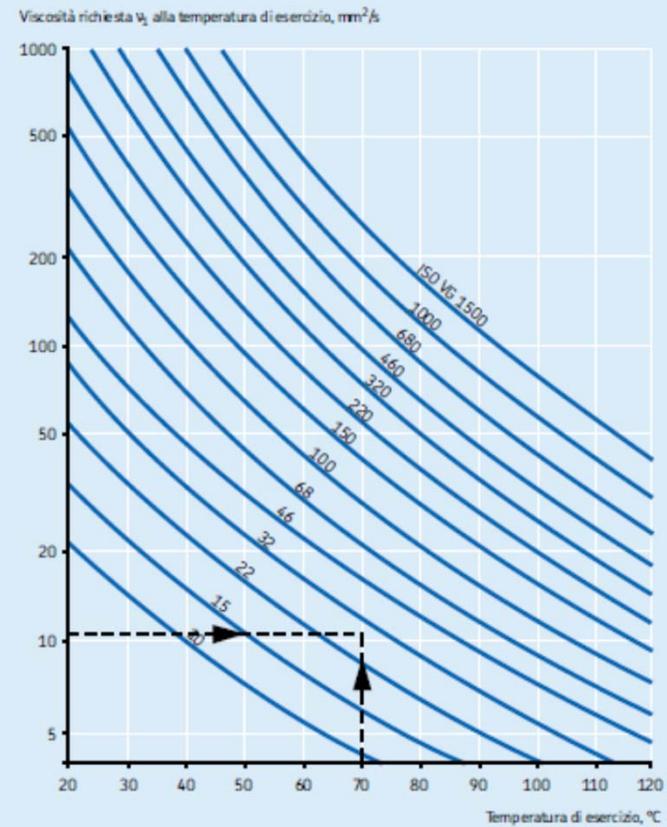
Strato limite (Additivi EP)

Viscosità-calcolo parametro k

Valutazione della viscosità cinematica minima v_2 alla temperatura di esercizio



Conversione alla viscosità cinematica v alla temperatura di riferimento (classificazione ISO VG)



La contaminazione - η_c

Condition (η_c ISO DIN 281 Addendum 4:2003)	Factor $\eta_c^{(1)}$ for bearings with diameter	
	$d_m < 100$ mm	$d_m \geq 100$ mm
Extreme cleanliness Particle size of the order of the lubricant film thickness Laboratory conditions	1	1
High cleanliness Oil filtered through an extremely fine filter Conditions typical of bearings greased for life and sealed	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Normal cleanliness Oil filtered through a fine filter Conditions typical of bearings greased for life and shielded	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Slight contamination Slight contamination of the lubricant	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Typical contamination Conditions typical of bearings without integral seals, coarse filtering, wear particles and ingress from surroundings	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Severe contamination Bearing environment heavily contaminated and bearing arrangement with inadequate sealing.	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Very severe contamination Under extreme contamination, values of η_c can be outside the scale resulting in a more severe reduction of life than predicted by the equation for L_{nm}	0	0

SKF Explorer WR

Increase service life of existing designs

Don't need to increase power output?
Use an SKF Explorer bearing of equal size to:

- Increase safety factor
- Reduce vibration
- Reduce heat generation
- Increase service intervals
- Increase machine uptime

Maintain power output of new designs

Use a smaller SKF Explorer bearing to:

- Reduce overall dimensions to save on material costs and weight
 - Reduce heat generation
 - Increase speeds

Increase power output of existing designs

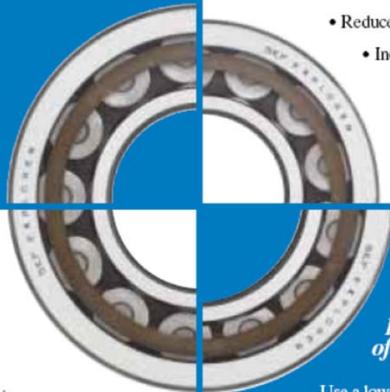
Avoid costly redesign by using an SKF Explorer bearing of equal size to:

- Increase power density (output)
- Increase speeds
- Increase loads

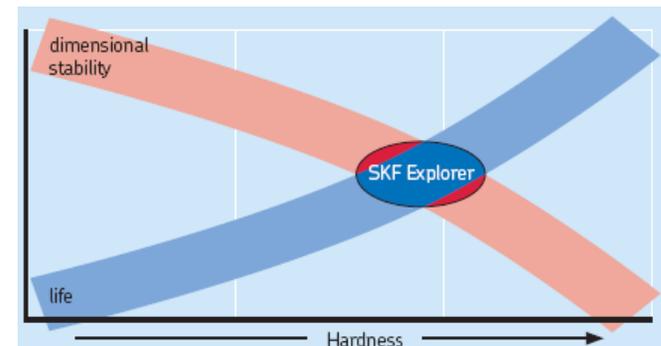
Increase power density of new designs

Use a lower section height SKF Explorer bearing with the same outside diameter to:

- Increase shaft size
- Achieve a stiffer design
- Operate at the same or higher speeds



- Maggiore durezza
- Tenacità immutata
- Maggiore resistenza ad usura
- Maggiore stabilità dimensionale
- “Safe failure mode”

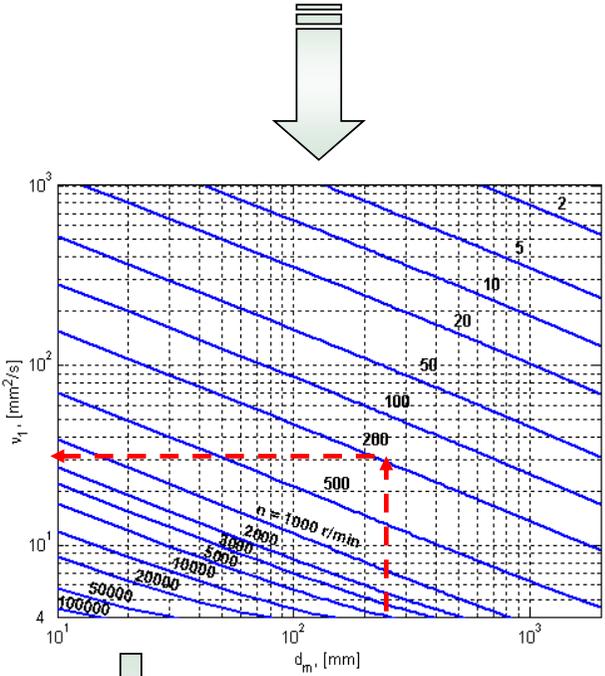


Procedura di calcolo

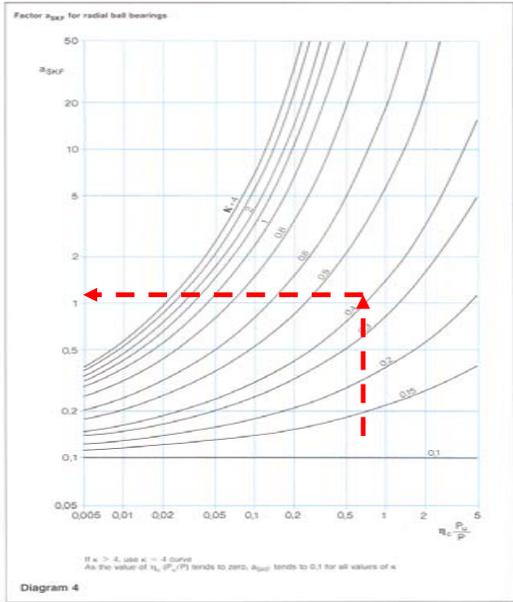
Dati dell'applicazione, v



Durata



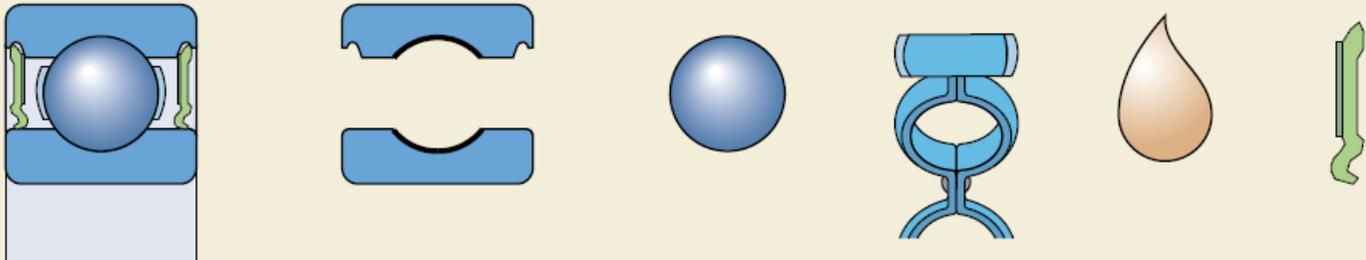
a_{SKF}



$$K = \frac{v}{v_1}$$

Durata di un sistema

Durata di un sistema di cuscinetti

$$L_{\text{cuscinetto}} = f(L_{\text{pista}}, L_{\text{corpi volventi}}, L_{\text{gabbia}}, L_{\text{lubrificante}}, L_{\text{guarnizioni di tenuta}})$$


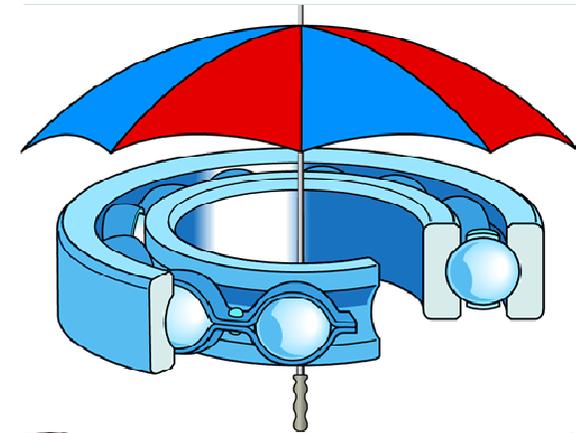
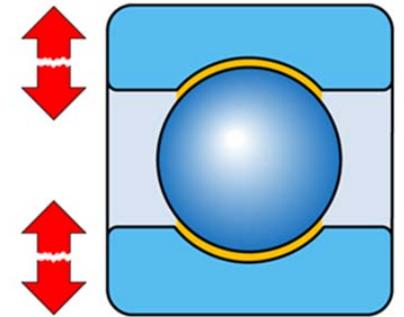
The diagram illustrates the components of a bearing system. From left to right, it shows: a cross-section of a ball bearing assembly with a ball, cage, and raceways; two individual raceway sections; a single ball; a cage; a drop of oil representing the lubricant; and a seal representing the retention seal.

Il ruolo della lubrificazione

Una appropriata lubrificazione è essenziale al buon funzionamento dei cuscinetti volventi nelle loro applicazioni. Il lubrificante deve:

1. Essere del tipo adatto
2. Avere corrette caratteristiche chimiche e fisiche
3. Essere in quantità sufficiente e nella giusta posizione
4. Contenere additivi quando necessari
5. Essere rinfrescato regolarmente

Troppo lubrificante determina un'eccessiva turbolenza nel cuscinetto e genera calore. Poco lubrificante causa molto attrito, un'incremento di temperatura ed usura.

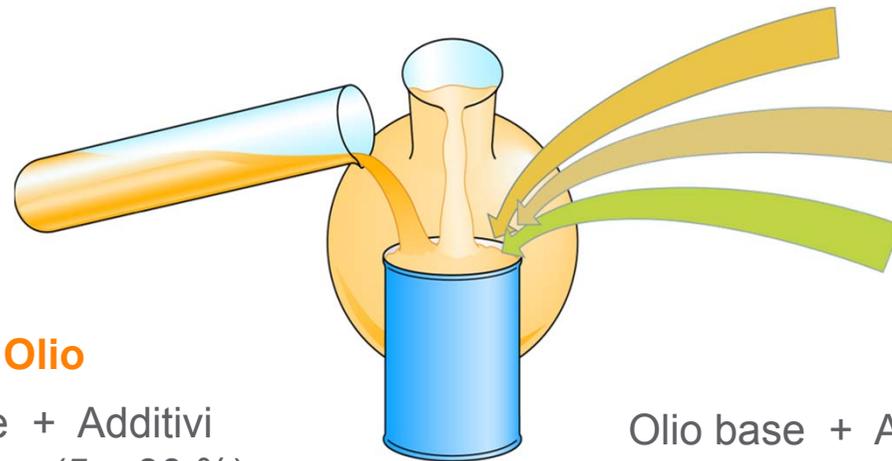


Tipo di lubrificante

Selection comparison between grease and oil			
Selection criteria		Advantages/disadvantages Grease	Oil
Application and operating conditions	Associated components	Bearings and associated components need to be kept separate	Bearings and associated components can be lubricated with the same oil (where appropriate)
	Sealing solution	Improves sealing efficiency of enclosures	No sealing advantage
	Operating temperature	No cooling advantage Operating temperature limitations	Assists with cooling Suitable for high operating temperatures
	Speed factor	Speed limitations	Suitable for high operating speeds
	Shaft orientation	Suitable for vertical shafts →	Typically not suitable for radial bearings on vertical shafts
	Food compatibility	Low risk of contamination from leakage	Only food grade oils should be used, due to the risk of leakage
Installation and maintenance	Installation	Quick Relatively inexpensive →	Time consuming Expensive (pumps, baths etc. required)
	Lubricant retention and leakage	Retained easily in bearing housings	Amount of lubricant controlled easily Leakage likely
	Inspection	Difficult to inspect during operation	Must maintain oil level
	Applying the lubricant	Normally easy to apply	Time consuming
	Lubricant change	Difficult to remove all grease, but not a problem if greases are compatible	Easy to drain completely and refill reservoirs
	Contamination control	Difficult to control contamination	Can be filtered and reconditioned
	Quality control	Difficult to monitor	Easy to monitor



Caratteristiche del lubrificante



Olio

Olio base + Additivi
(5 – 30 %)

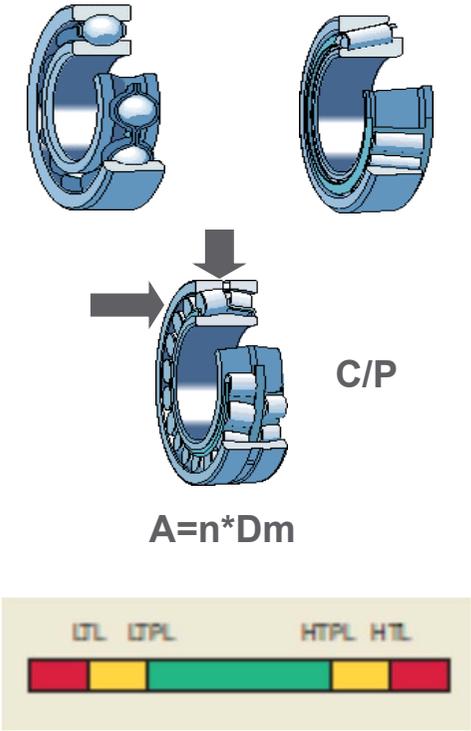
- Viscosità
- Tipo di olio base
- Proprietà aggiuntive

Grasso

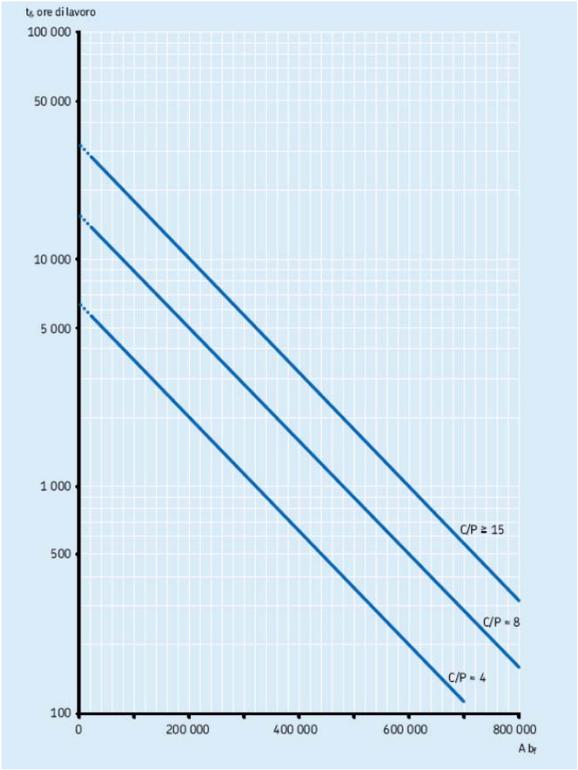
Olio base + Addensante + Additivi
(70 – 95 %) (5 – 30 %)

- Consistenza
- Tipo di addensante ed olio base
- Viscosità
- Proprietà aggiuntive

Durata del grasso



t_f



Coefficiente di carico statico

ISO 76:1987

Il coefficiente di carico statico C_0 viene utilizzato quando si devono eseguire calcoli su cuscinetti destinati a ruotare a velocità molto basse (<10 rpm), a compiere movimenti oscillatori oppure a restare fermi per lungo periodo sottoposti a forti carichi.

Corrisponde ad una sollecitazione di:

- 4600Mpa per i cuscinetti orientabili a sfere
- 4200Mpa per i cuscinetti a sfere
- 4000Mpa per i cuscinetti a rulli

applicata nel centro della zona di contatto, oltre la quale si provoca una **deformazione permanente pari a ca. 1/10000** del diametro del corpo volvente,

Dimensionamento statico

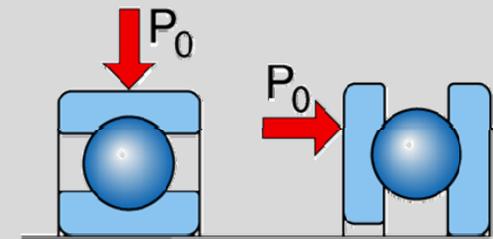


Table 11

Guideline values for the static safety factor s_0

Type of operation	Rotating bearing Performance requirements						Non-rotating bearing	
	unimportant		normal		high		Ball bearings	Roller bearings
	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings		
Smooth, vibration-free	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Pronounced shock loads ¹⁾	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

For spherical roller thrust bearings, it is advisable to use $s_0 \geq 4$.

¹⁾ Where the magnitude of the shock load is not known, values of s_0 at least as large as those quoted above should be used. If the magnitude of the shock loads is known, smaller values of s_0 can be applied.

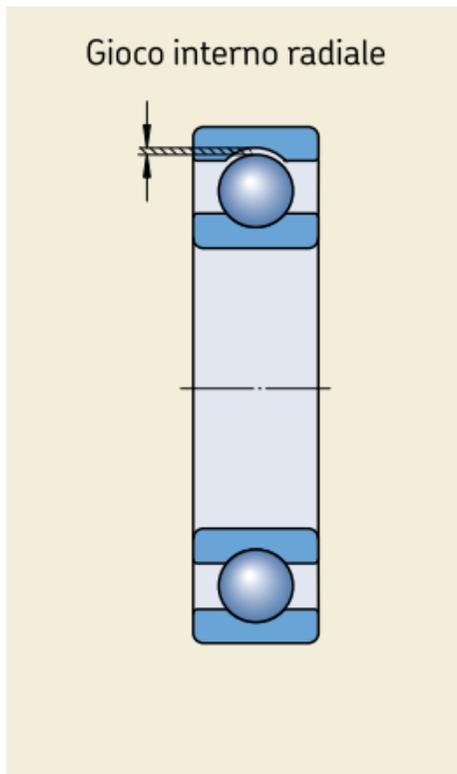
S_0 =coefficiente di sicurezza relativo al carico statico
 P_0 =carico statico equivalente
 C_0 =coefficiente di carico statico

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

**Parametri principali nelle
diverse applicazioni**

2

Gioco interno

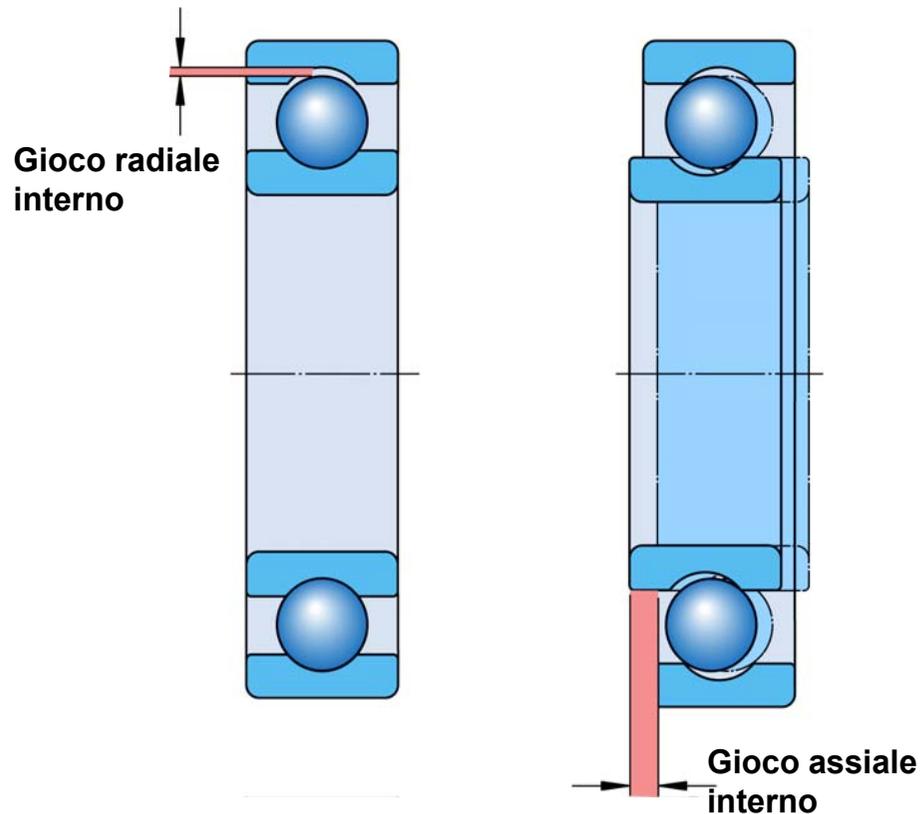


Appellativi supplementari per gioco interno

Suffisso	Gioco interno
----------	---------------

C1	Inferiore a C2
C2	Inferiore al normale
CN	Normale, utilizzato solo in combinazione con lettere che indicano una gamma di gioco ridotto oppure spostato
C3	Maggiore del normale
C4	Maggiore di C3
C5	Maggiore di C4

Stima di giuoco assiale nei radiali rigidi a sfere



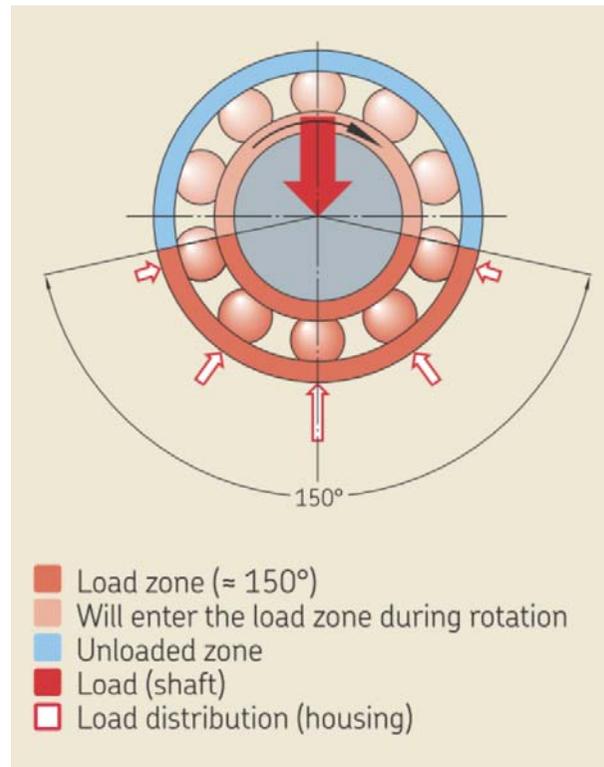
Rapporto tra giuoco assiale e radiale:

- varia circa tra 6 e 8 per le serie dimens. da 60** a 63** in caso di giuoco radiale di partenza Normale;
- varia circa tra 14 a 7 e per giuoco rad. da C2 a C3 per la serie dimens. 62**;

Attenzione!

Tale rapporto non varia linearmente, dipende da come si combina l'osculatione con gli angoli di contatto
→ Valori come sopra di larga approssimazione da usare solo indicativamente

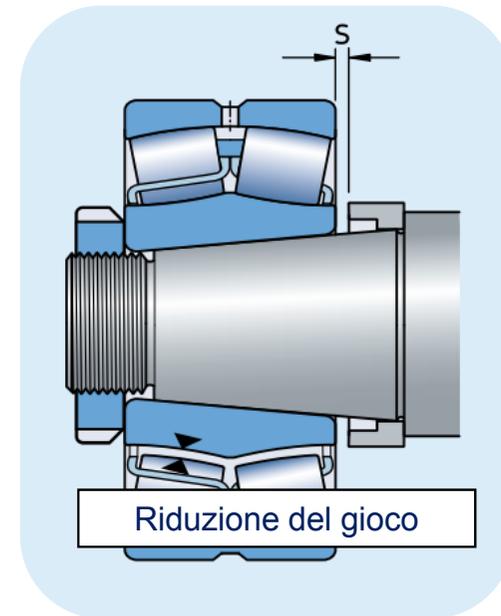
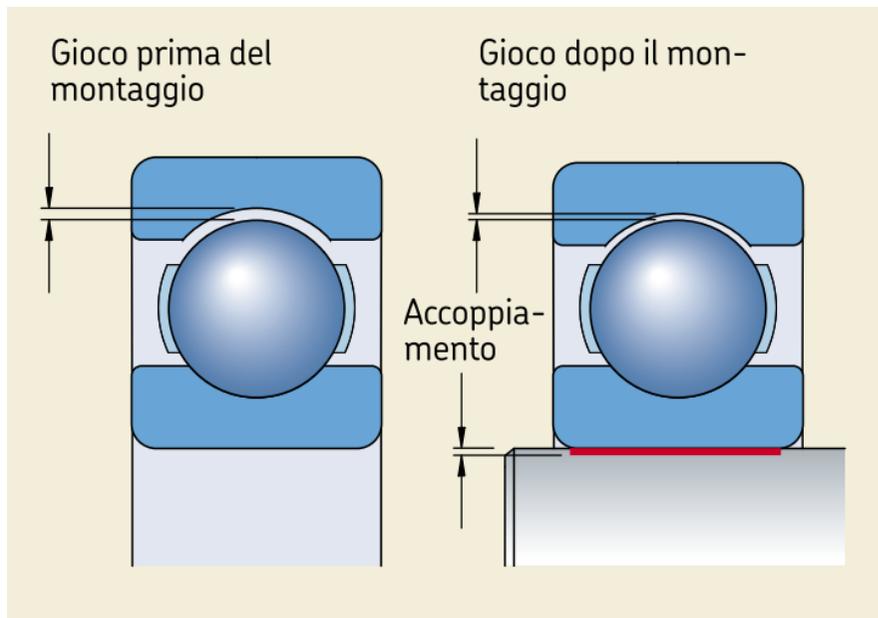
Distribuzione del carico ottimale



Arco di contatto pari a circa 150°

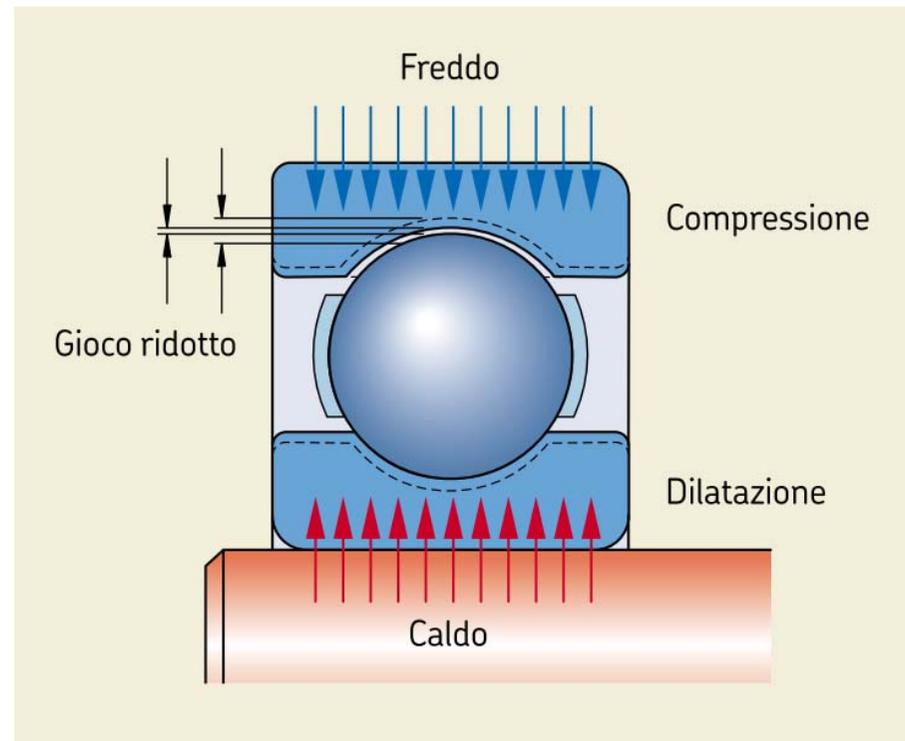
Variazione Gioco interno - Montaggio

L'interferenza sull'albero e nell'alloggiamento deforma elasticamente gli anelli.



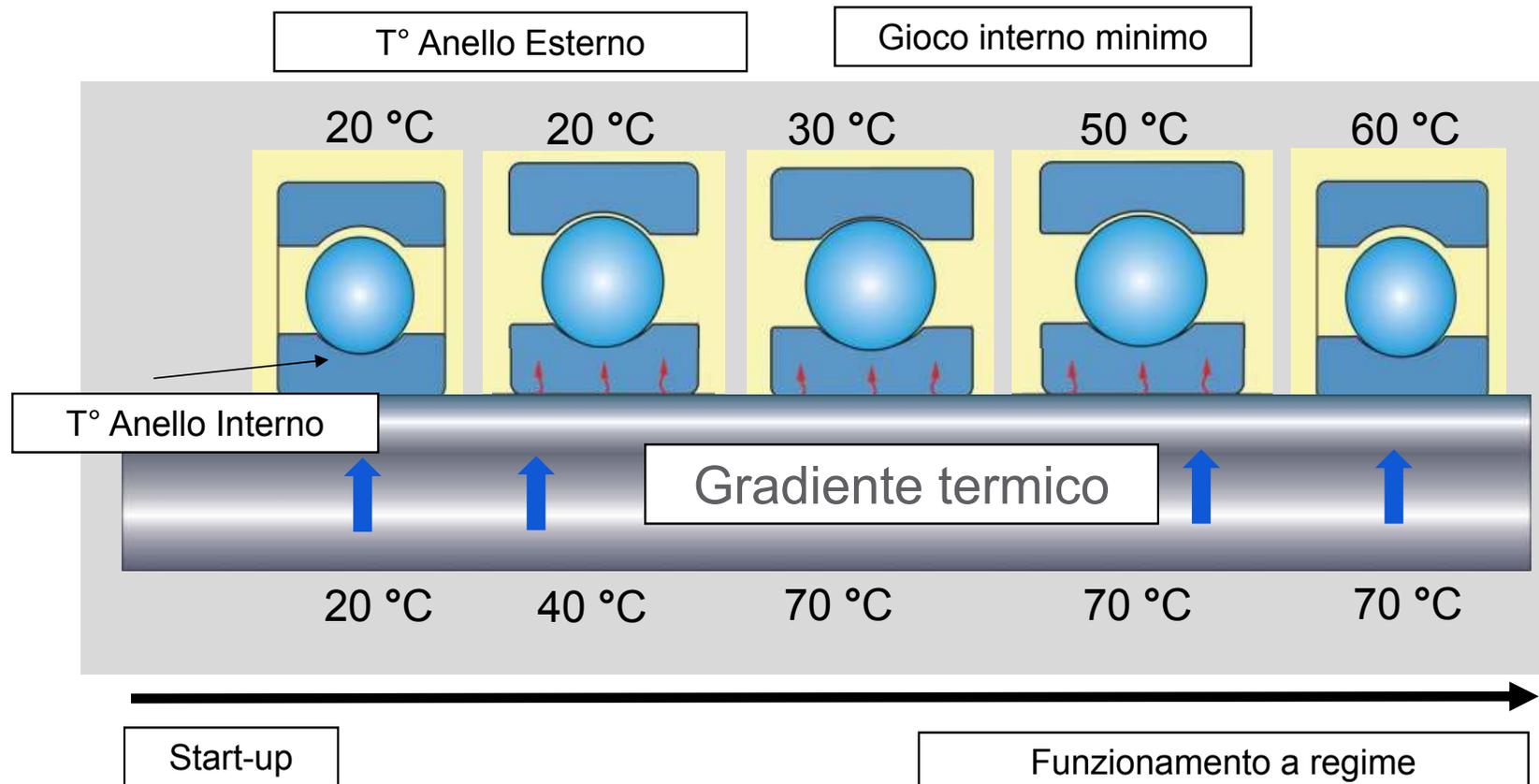
Si provoca una riduzione del gioco radiale/assiale interno

Variazione Gioco interno - Temperatura

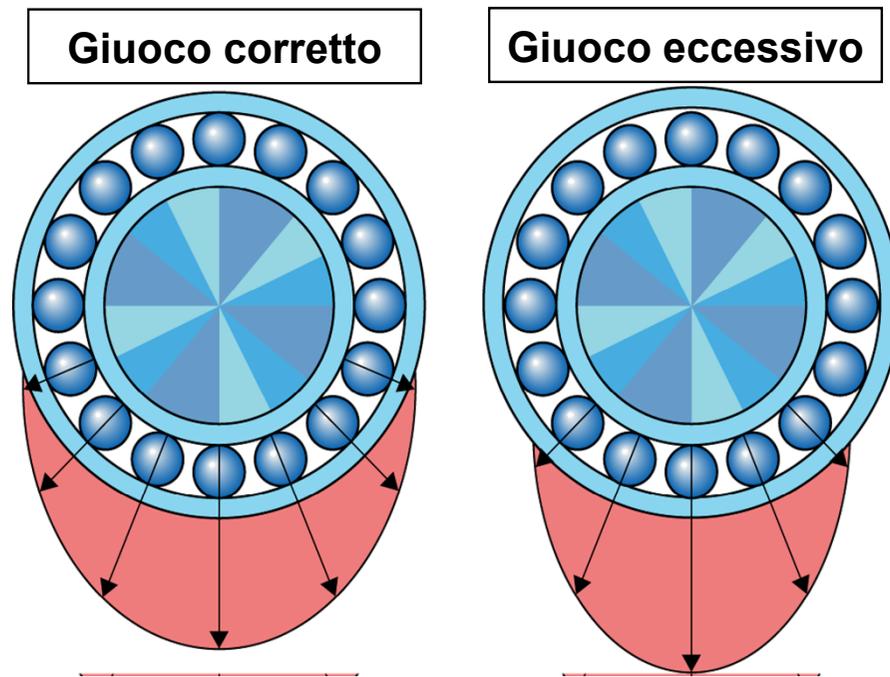


Considerare le differenze di temperatura ed il “percorso del calore”

Variazione di temperatura – Start-up macchina rotante



Variazione della distribuzione del carico dovuto al giuoco



- Un giuoco interno eccessivo può portare ad un angolo di carico troppo piccolo, e quindi a strisciamenti tra corpi volventi e piste.
- Lo stesso effetto si può ottenere se non si rispettano le condizioni di carico minimo

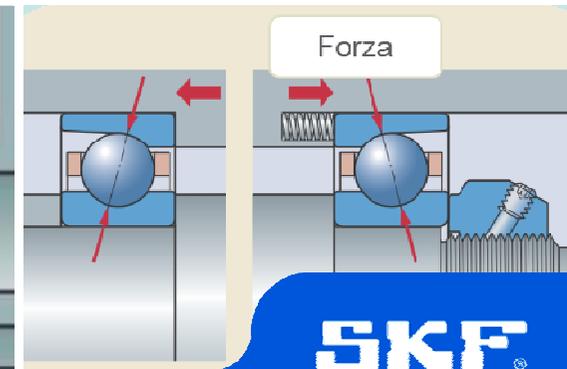
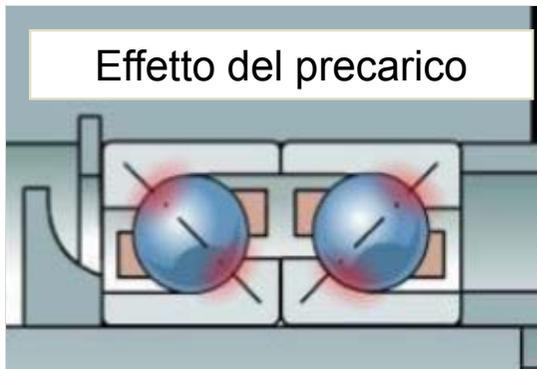
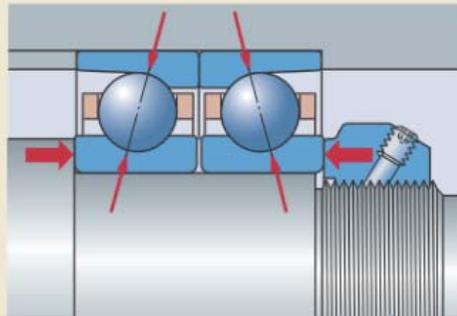
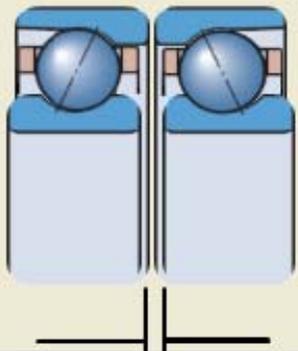
Gioco vs. Precarico sui cuscinetti

Il PRECARICO:

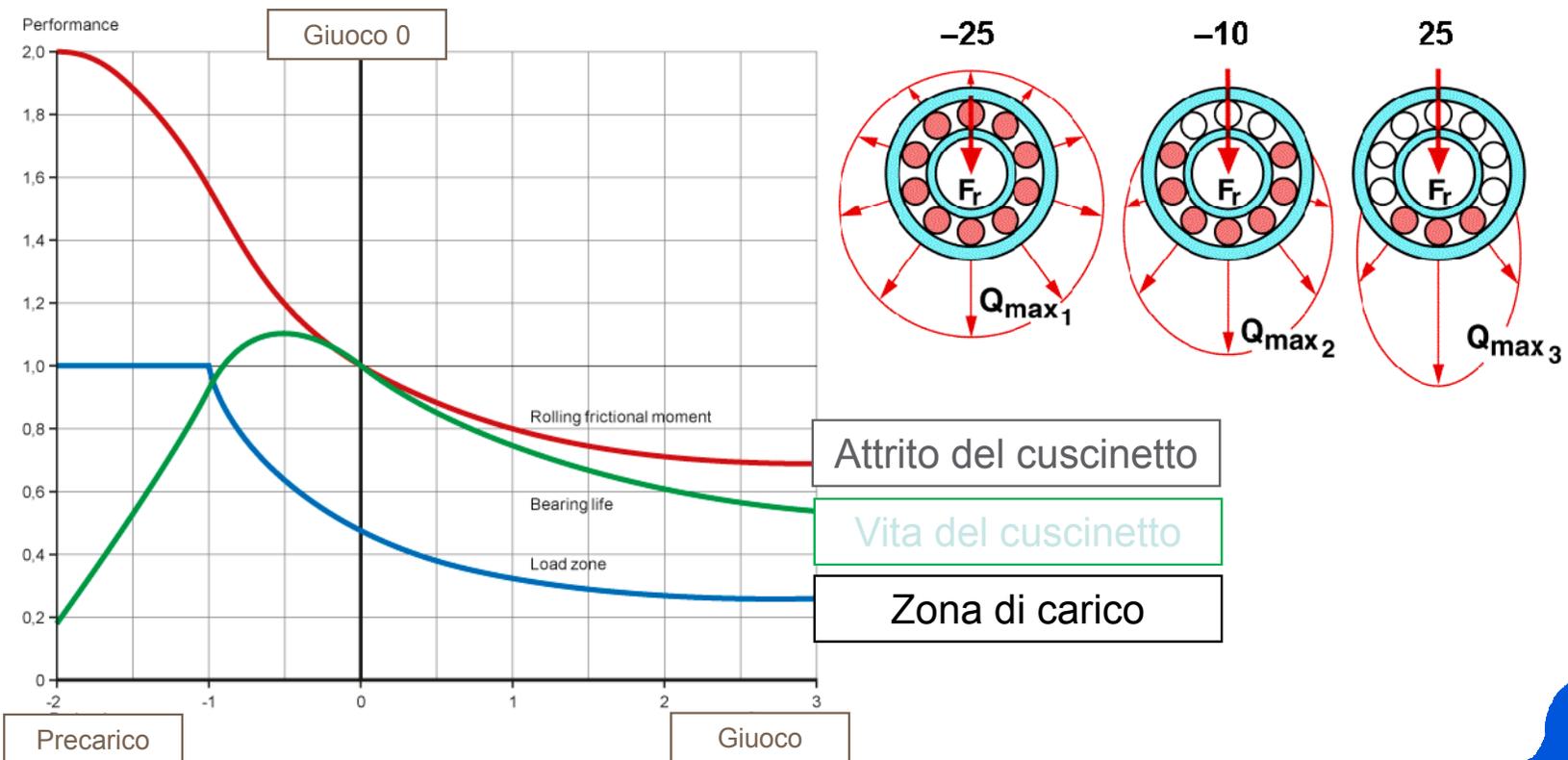
applicazione di un gioco negativo in esercizio, espresso come forza o distanza di spostamento relativo tra gli anelli dei cuscinetti.

Un sistema con precarico permette:

- Aumento della rigidezza
- Riduzione rumorosità
- Migliore guida dell'albero
- Prolungamento della durata operativa



Distribuzione del carico vs. giuoco interno realizzabile



Il Carico minimo

Quando il cuscinetto non è soggetto ad un carico sufficiente, per effetto delle accelerazioni, l'inerzia di sfere e gabbia e l'attrito del lubrificante, si possono manifestare strisciamenti tra corpi volventi e le piste.

Il carico minimo necessario F_{rm}

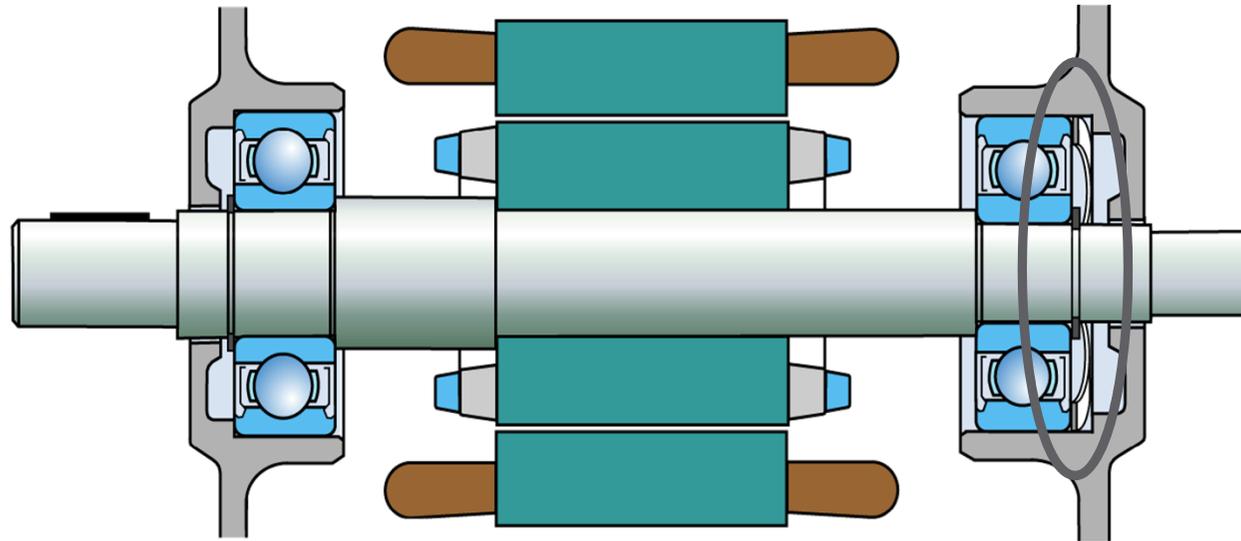
$F_{rm} = 0,02 \times C$ [kN] per i cuscinetti a rulli

$F_{rm} = 0,01 \times C$ [kN] per i cuscinetti a sfere

Quando l'applicazione non fornisce il carico minimo, allora occorre rimediare; per esempio con l'aggiunta di molle di precarico oppure preregistrando gli anelli attraverso un precarico al montaggio.

Carico Minimo

Esempio di applicazione del carico minimo F_{rm}



Precarico del cuscinetto di destra di un motore elettrico con molle a tazza

Velocità

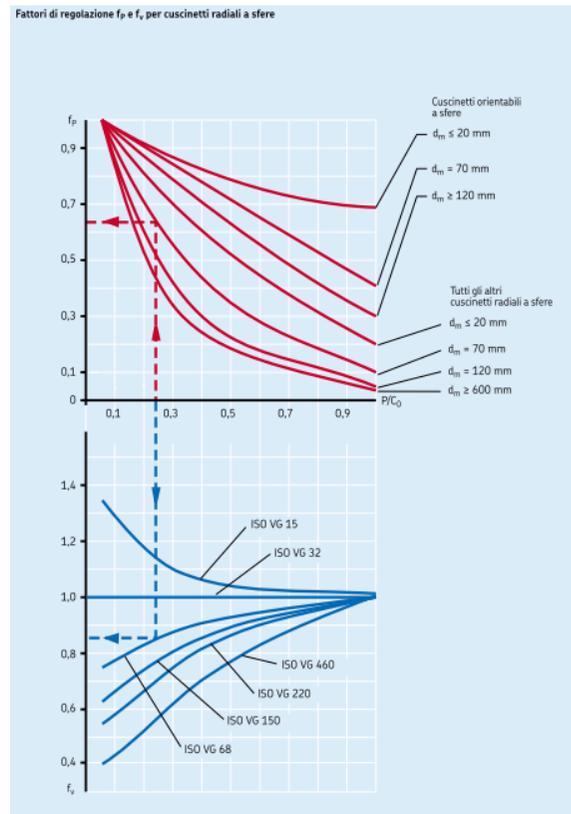
Velocità di Riferimento (termica)

La velocità, in condizioni operative specificate, alla quale c'è equilibrio fra il calore generato dal cuscinetto ed il calore dissipato dal cuscinetto tramite l'albero, la sede ed il lubrificante.

Velocità Limite (cinematica)

Velocità determinata da criteri che includono la stabilità di forma, la resistenza della gabbia, la lubrificazione delle superfici guida della gabbia, la forza centrifuga che si genera sugli elementi volventi, le tenute, etc...

Il concetto di velocità ammissibile



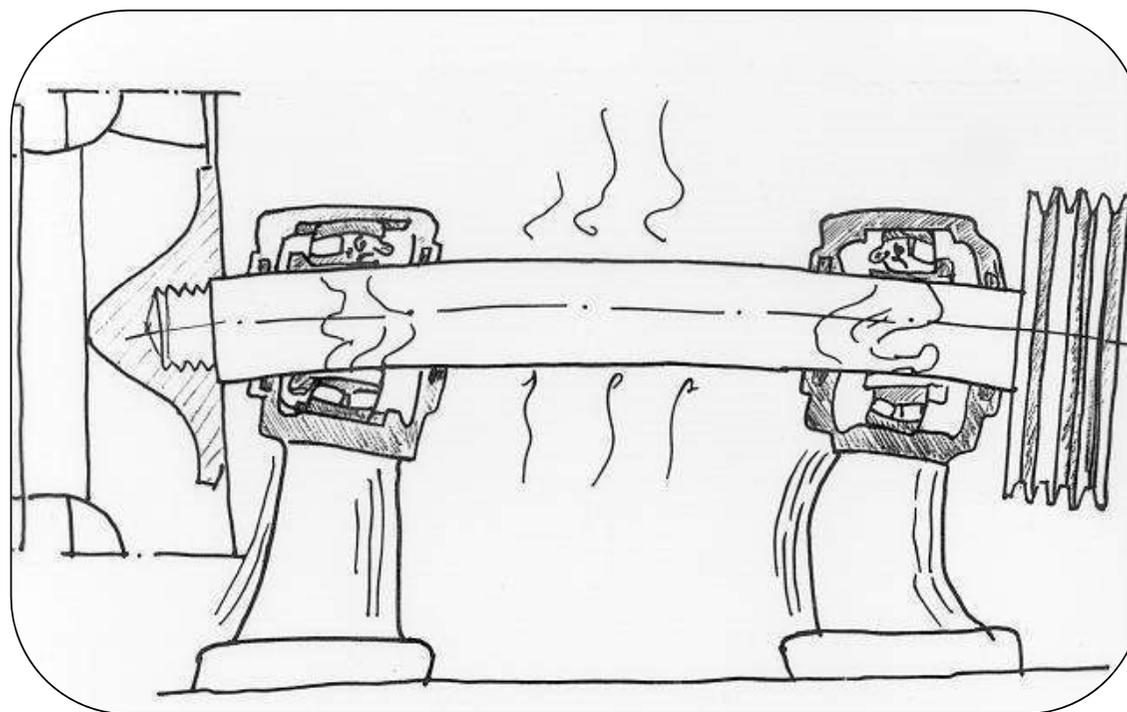
$$n_{perm} = f_p \cdot f_v \cdot n_r$$

- n_{perm} = velocità ammissibile [rpm]
- n_r = velocità di riferimento [rpm]
- f_p = fattore correttivo relativo al carico
- f_v = fattore correttivo relativo alla viscosità dell'olio
- d_m = diametro medio del cuscinetto

Tolleranze ed Applicazioni

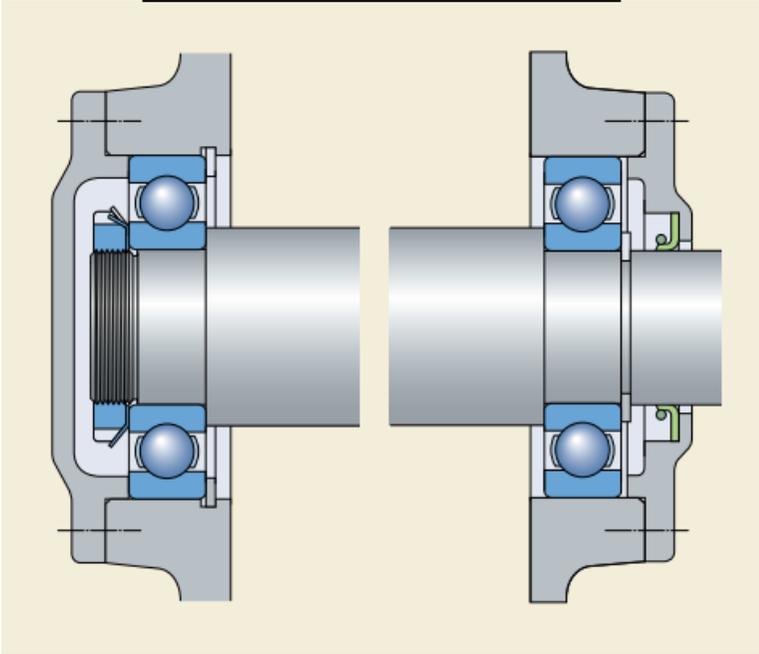
3

Lato libero e lato bloccato

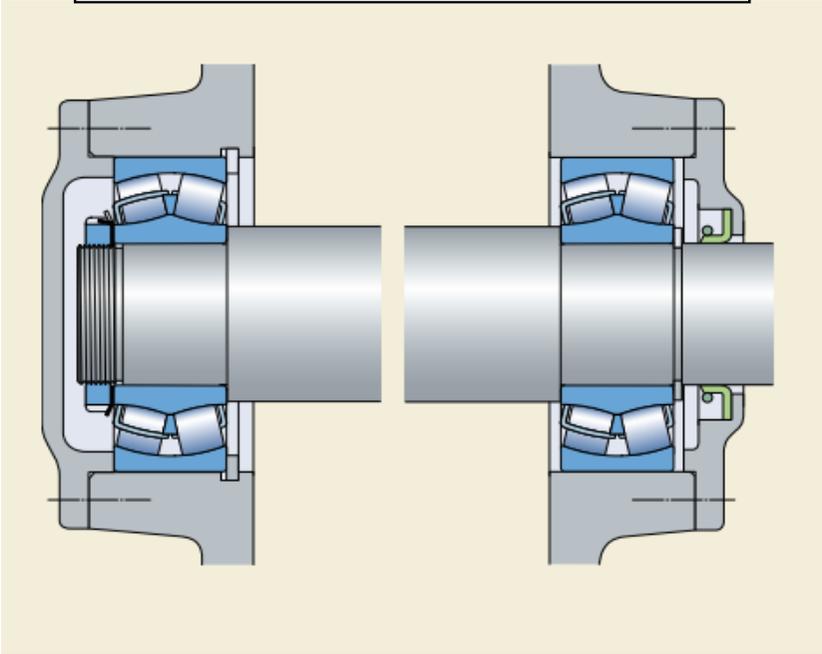


Lato libero e lato bloccato

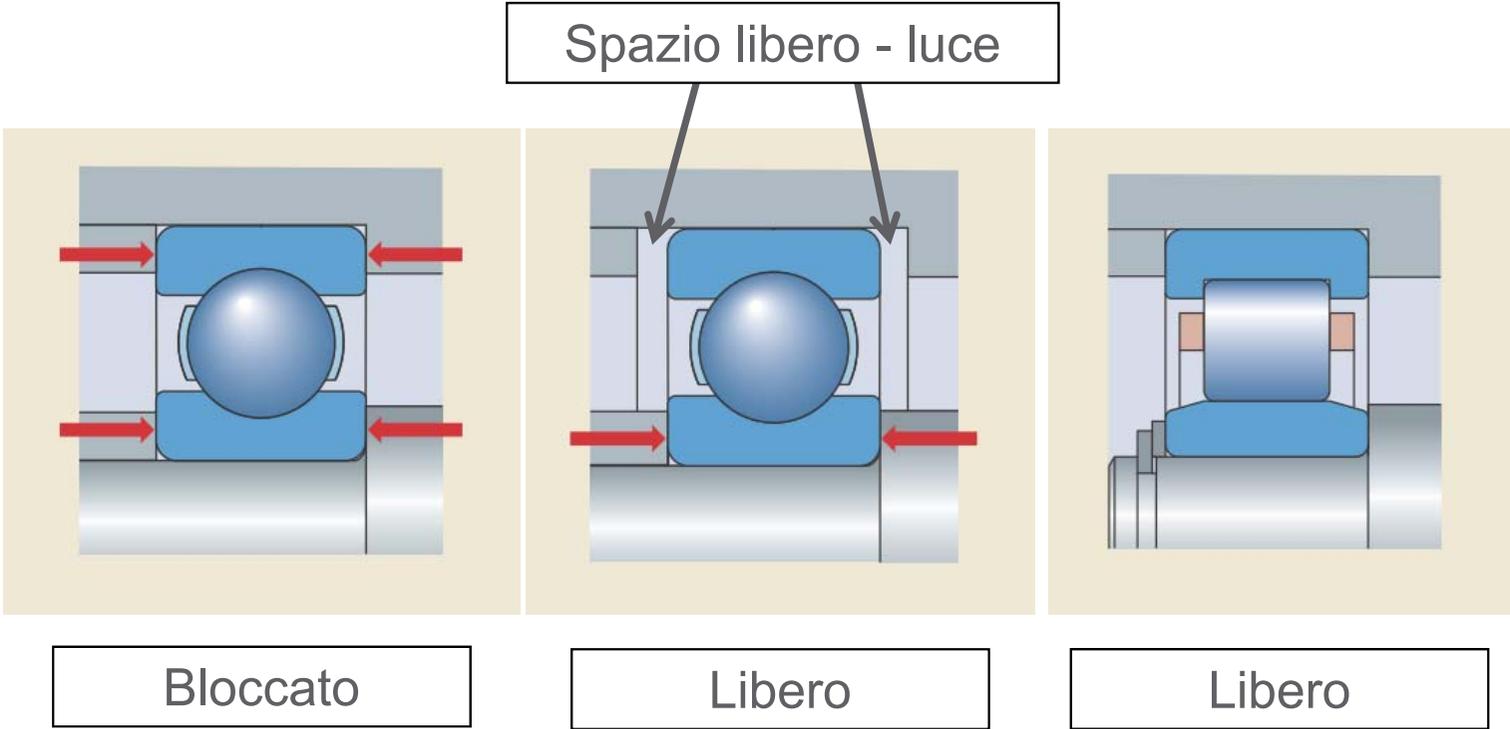
Soluzione rigida



Soluzione autoallineante



Lato libero e lato bloccato



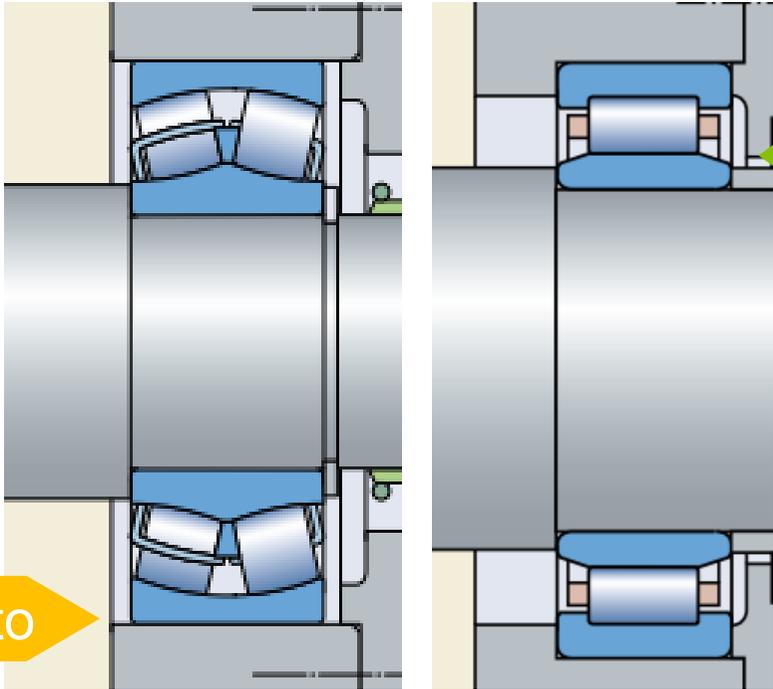
Lato libero e lato bloccato

All'interno dell'alloggiamento

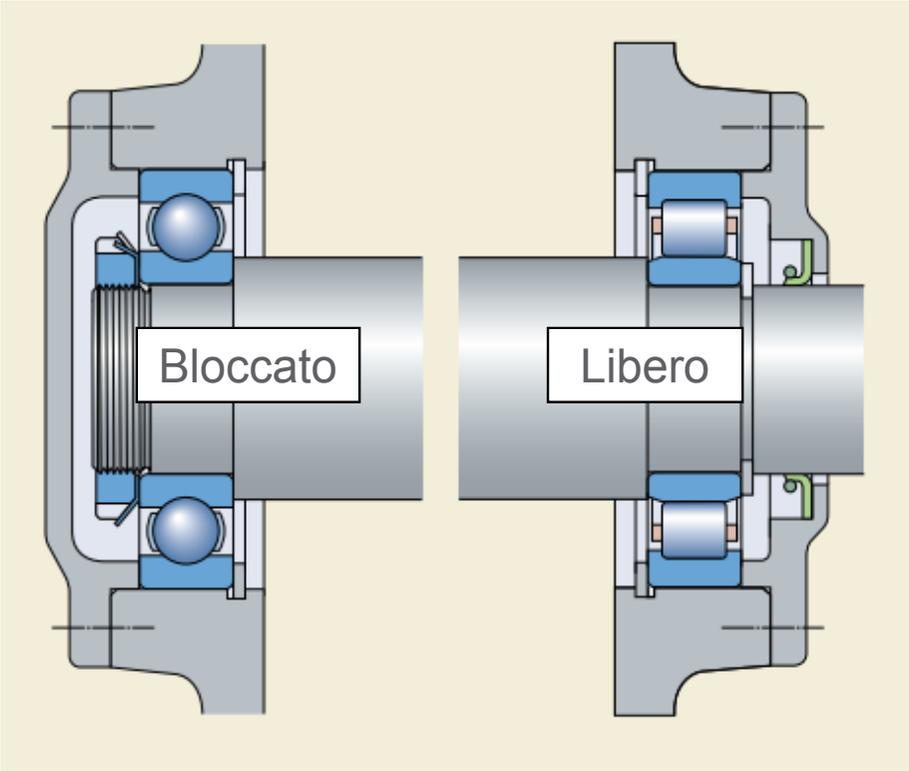
All'interno del cuscinetto

Maggiore Attrito

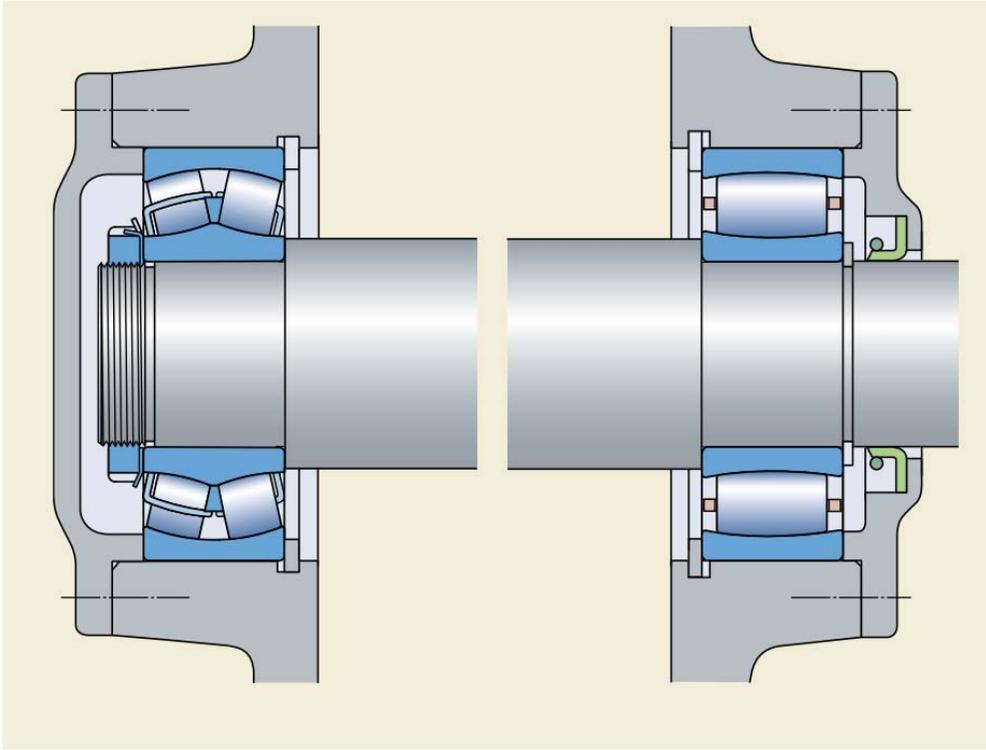
Minore Attrito



Lato libero e lato bloccato



Lato libero e lato bloccato



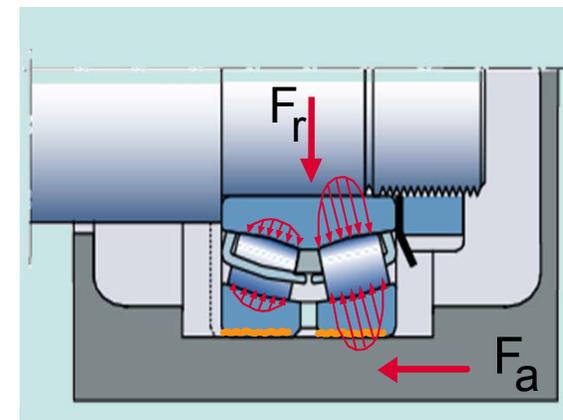
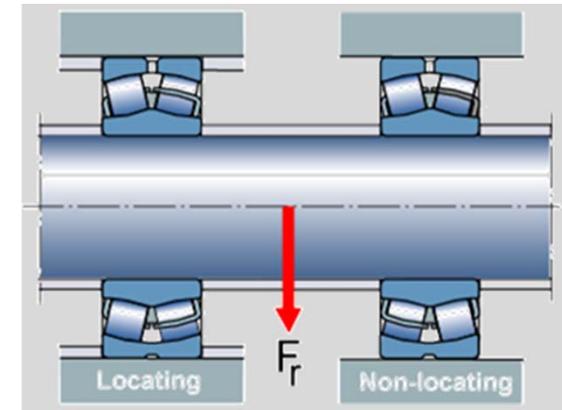
Lato libero e lato bloccato

Il sistema di cuscinetti autoallineanti SKF

Per anelli esterni e alloggiamenti in acciaio o ghisa i coefficienti di attrito μ variano

L'attrito crea forze assiali interne al sistema

La non omogenea distribuzione del carico influenza le prestazioni del cuscinetto



$$F_a = F_r \times \mu$$

Orientabili a rulli “precaricati” assialmente



Sfaldamenti sulla pista dell'anello esterno

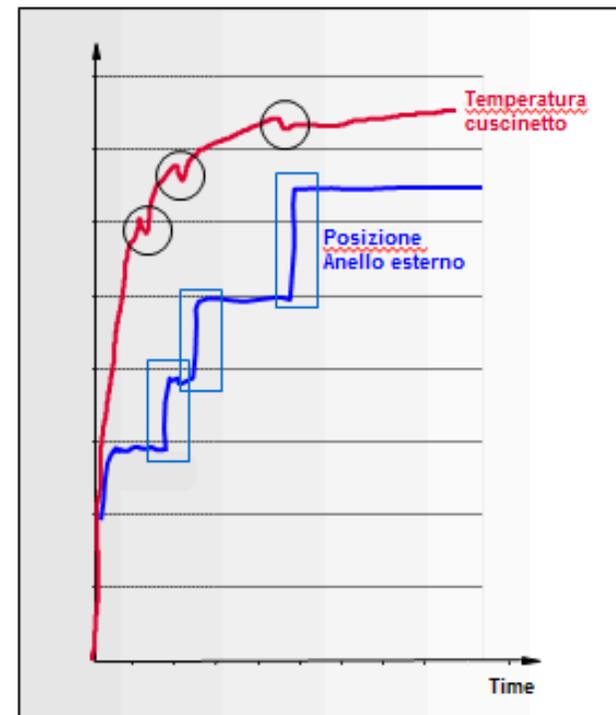


Ruggine da contatto sulla corrispondente superficie esterna dell'anello esterno

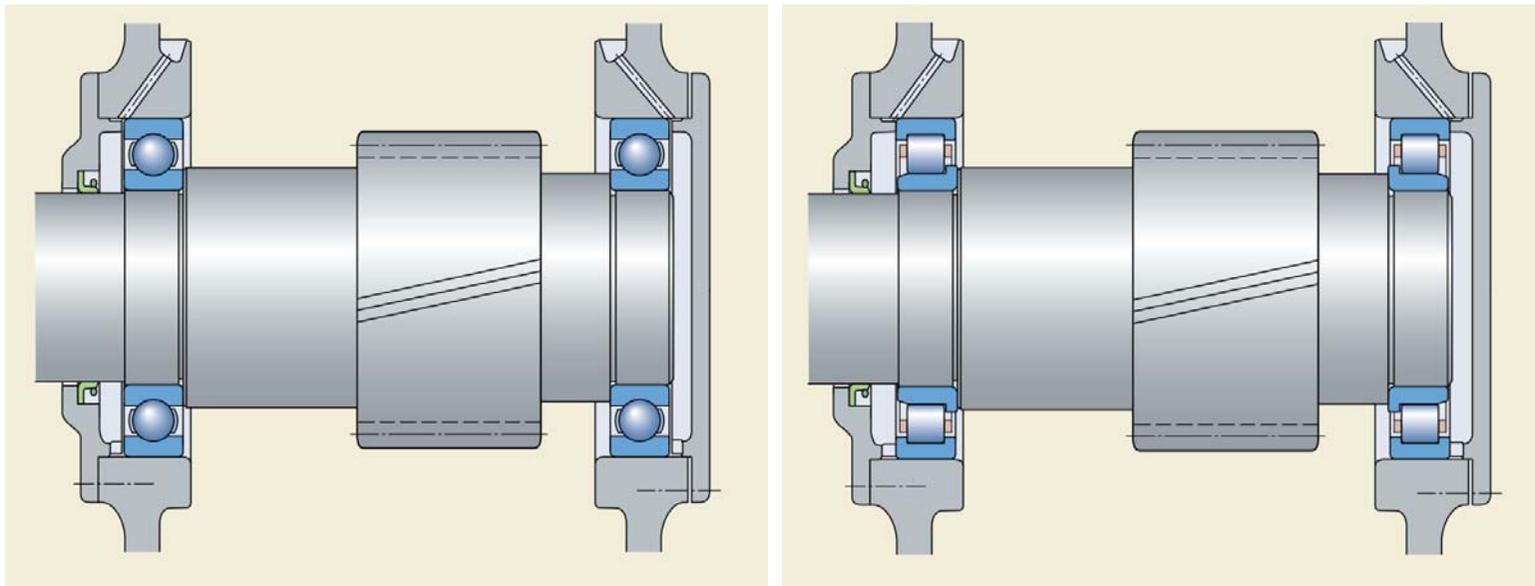
Lato Libero e Lato Bloccato

Influenza dell'attrito nell'avvio delle macchine nei sistemi tradizionali:

- Il cuscinetto libero si muove quando la T° o la spinta assiale aumenta.
- Il cuscinetto libero si muove solo quando la forza d'attrito vince l'effetto "stick-slip"
- La temperatura del cuscinetto si riduce in concomitanza di movimenti sviluppo di carichi assiali indotti)
- Un'intensa riduzione di temperature coincide con una sensibile riduzione di carico assiale.

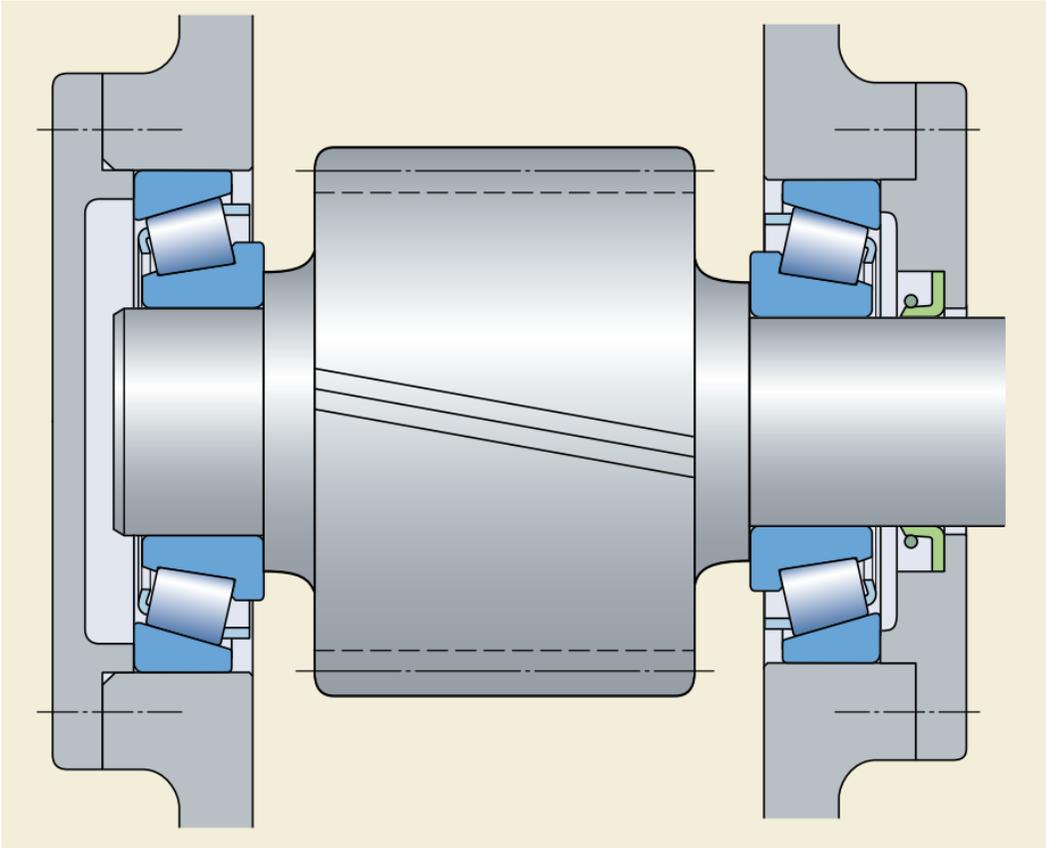


Montaggio Flottante

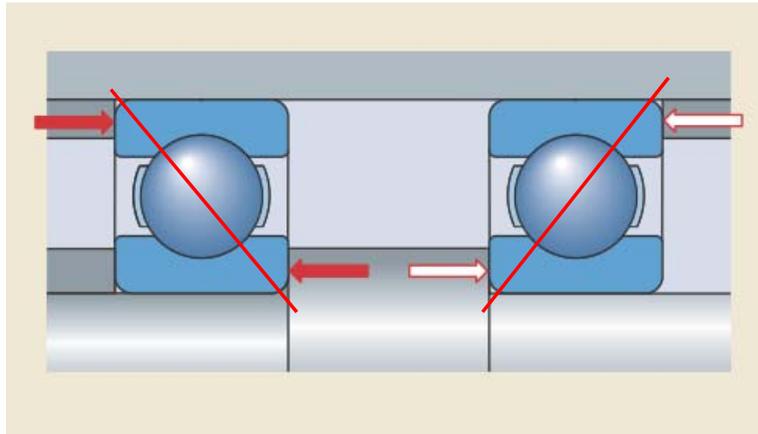


- Applicazioni con modeste esigenze di vincolo assiale
- Entrambi i cuscinetti sono in grado di spostarsi all'interno della sede

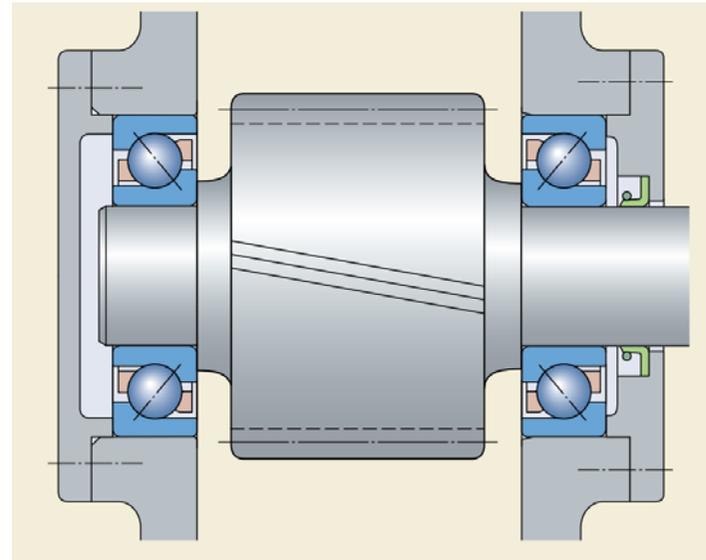
Lato Libero e Lato Bloccato



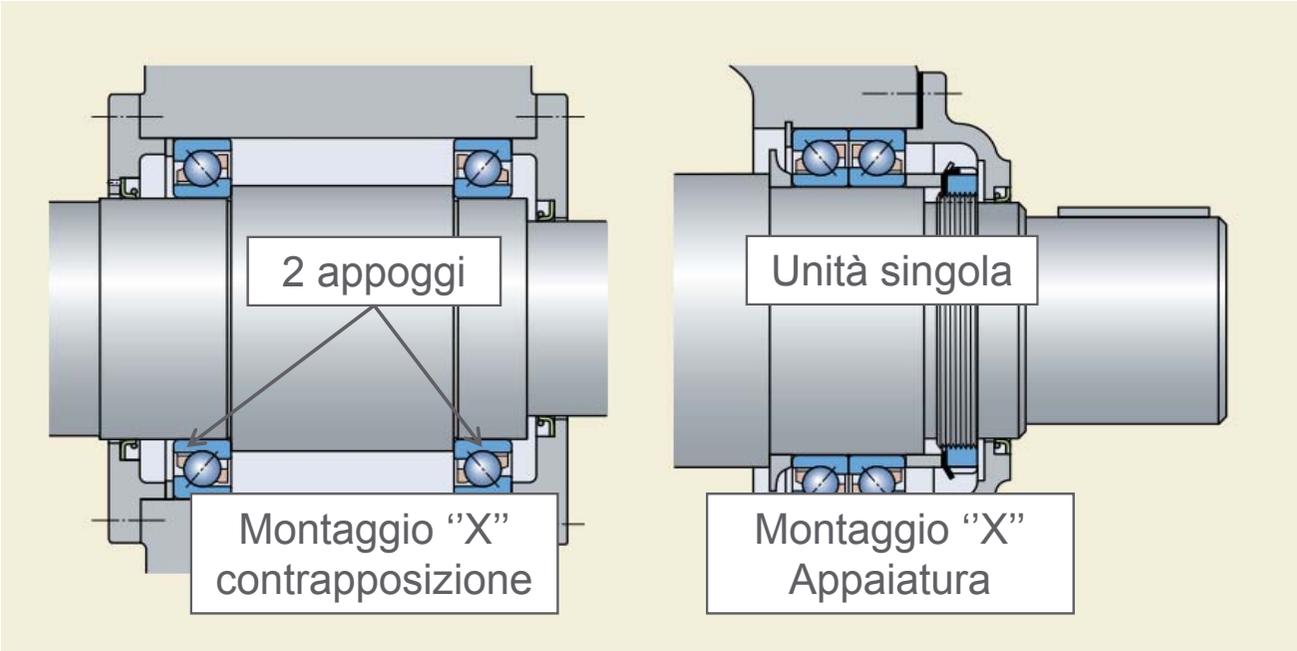
Montaggio in contrapposizione



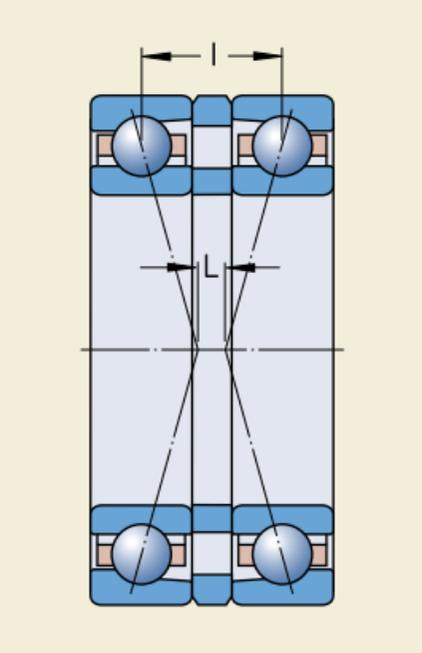
L'albero viene vincolato assialmente da entrambi i cuscinetti



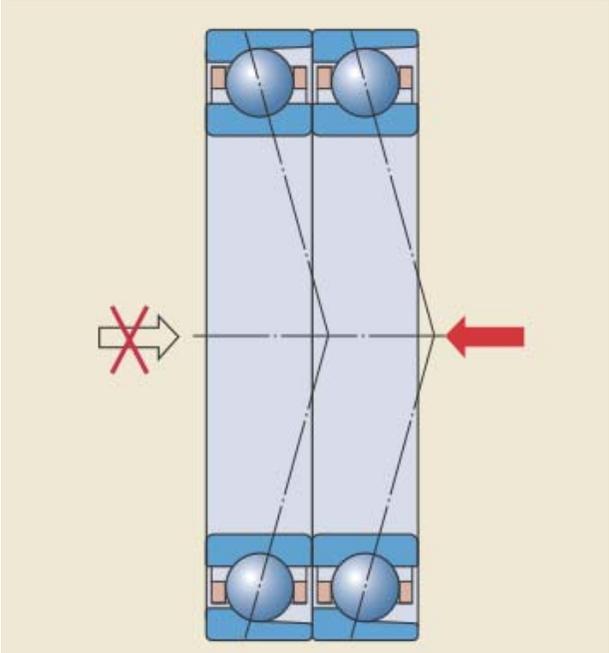
Il montaggio in contrapposizione vs l'appaiatura



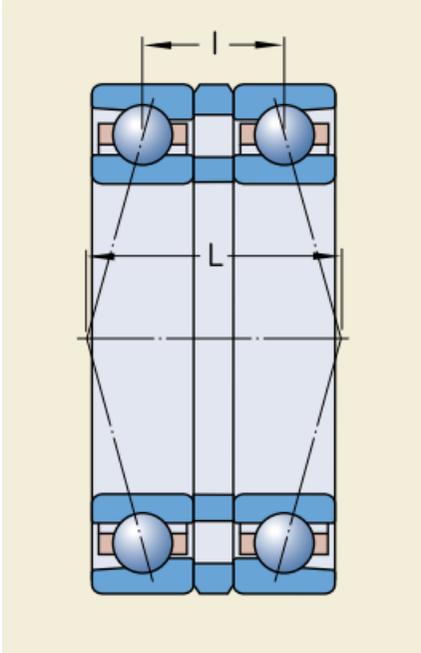
Montaggio ad X o ad O



Montaggio "X"

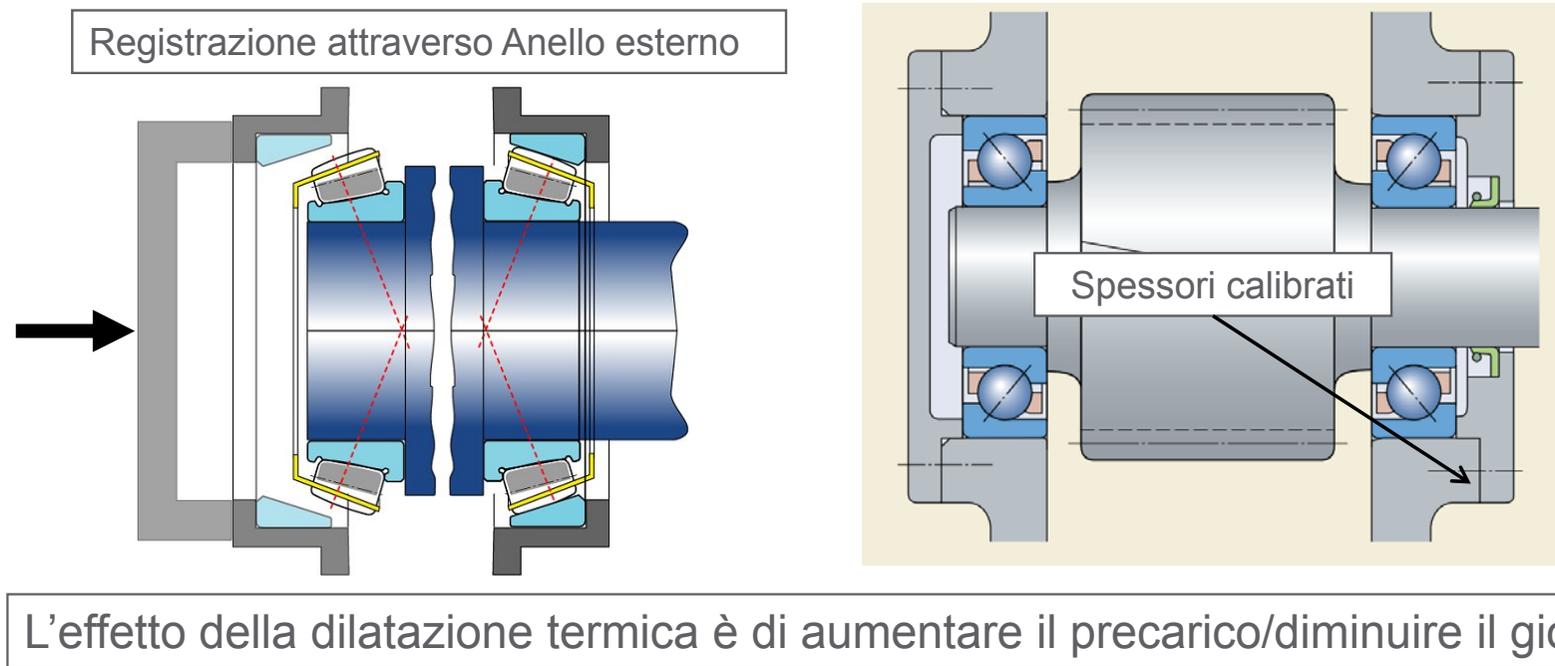


Tandem



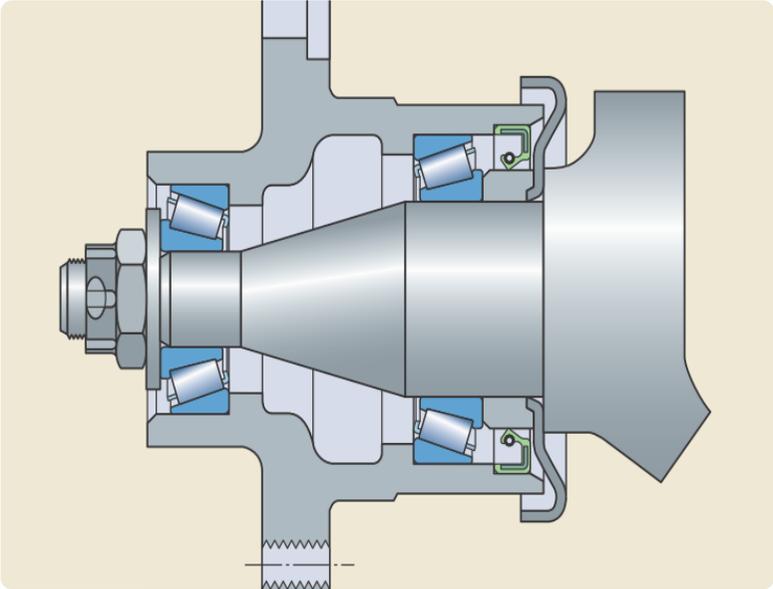
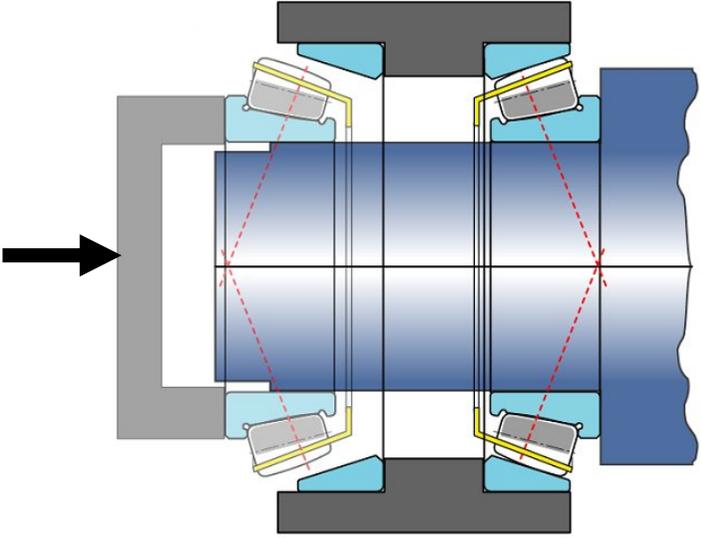
Montaggio "O"

Montaggio ad X



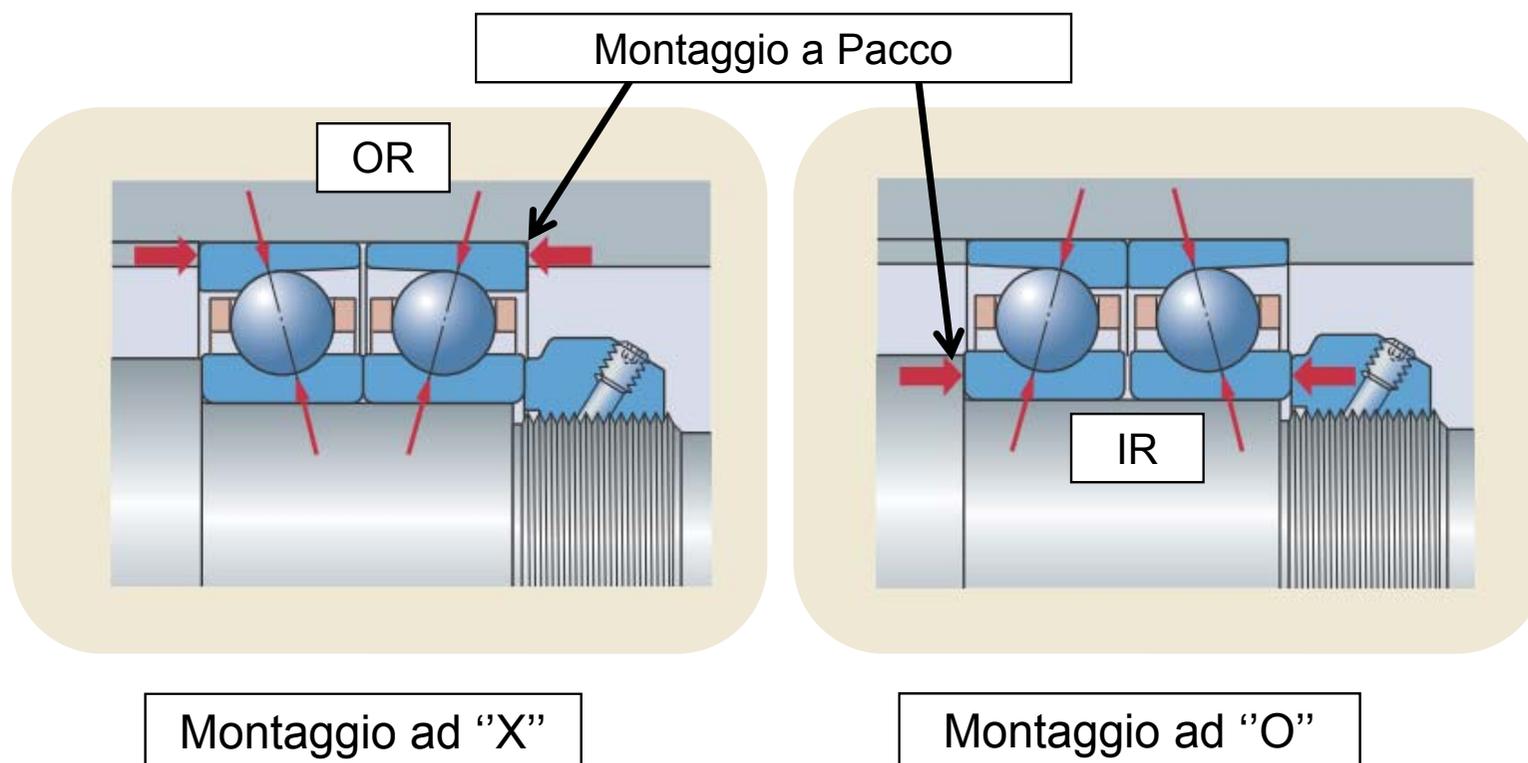
Montaggio ad O

Registrazione attraverso Anello Interno

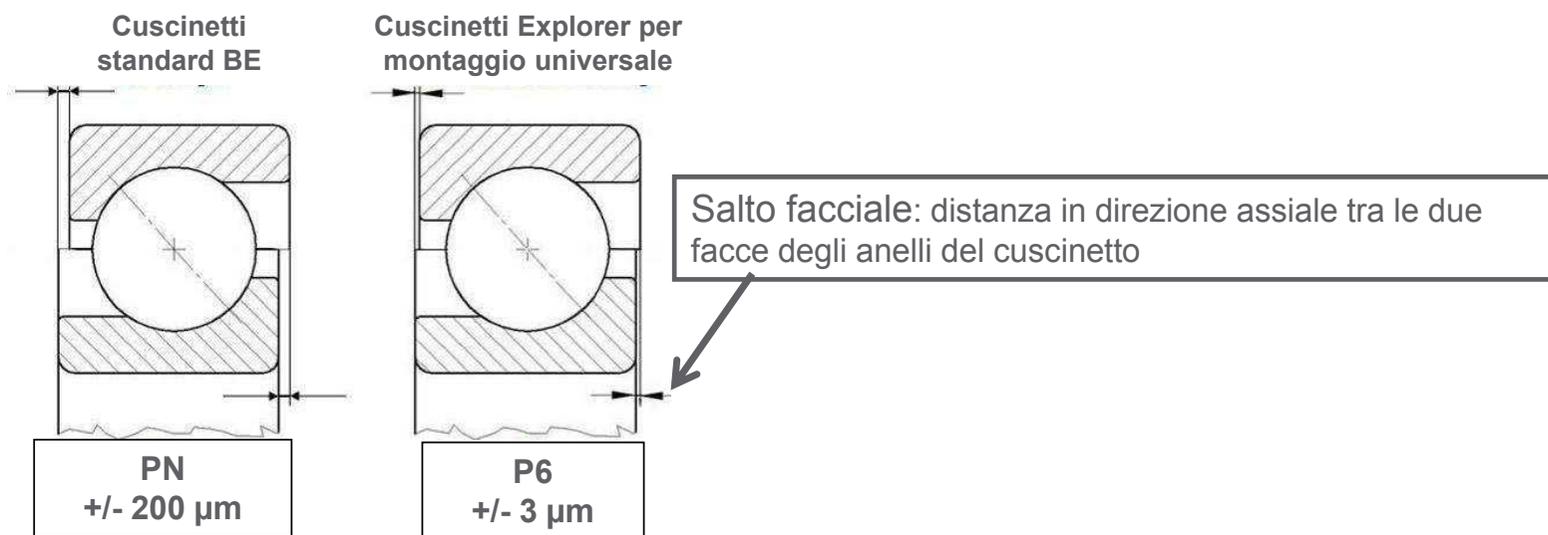


L'effetto della dilatazione termica è di ridurre il precarico/aumentare il gioco

I cuscinetti ACBB per montaggio universale



Il montaggio ad “X” – “O” nei cuscinetti ACBB



Cuscinetti per montaggio universale

- prodotti in tre diverse classi di gioco e precarico
- prodotti per montaggio in coppia

Tolleranze

La forma e le dimensioni di un oggetto a disegno rappresentano delle condizioni ideali che non possono essere raggiunte con precisione assoluta. I processi di produzione sono sempre affetti da errori che fanno sì che la geometria e le dimensioni dei pezzi realizzati (forma e dimensioni reali) si discostino da quelle indicate a disegno (forma e dimensioni nominali)

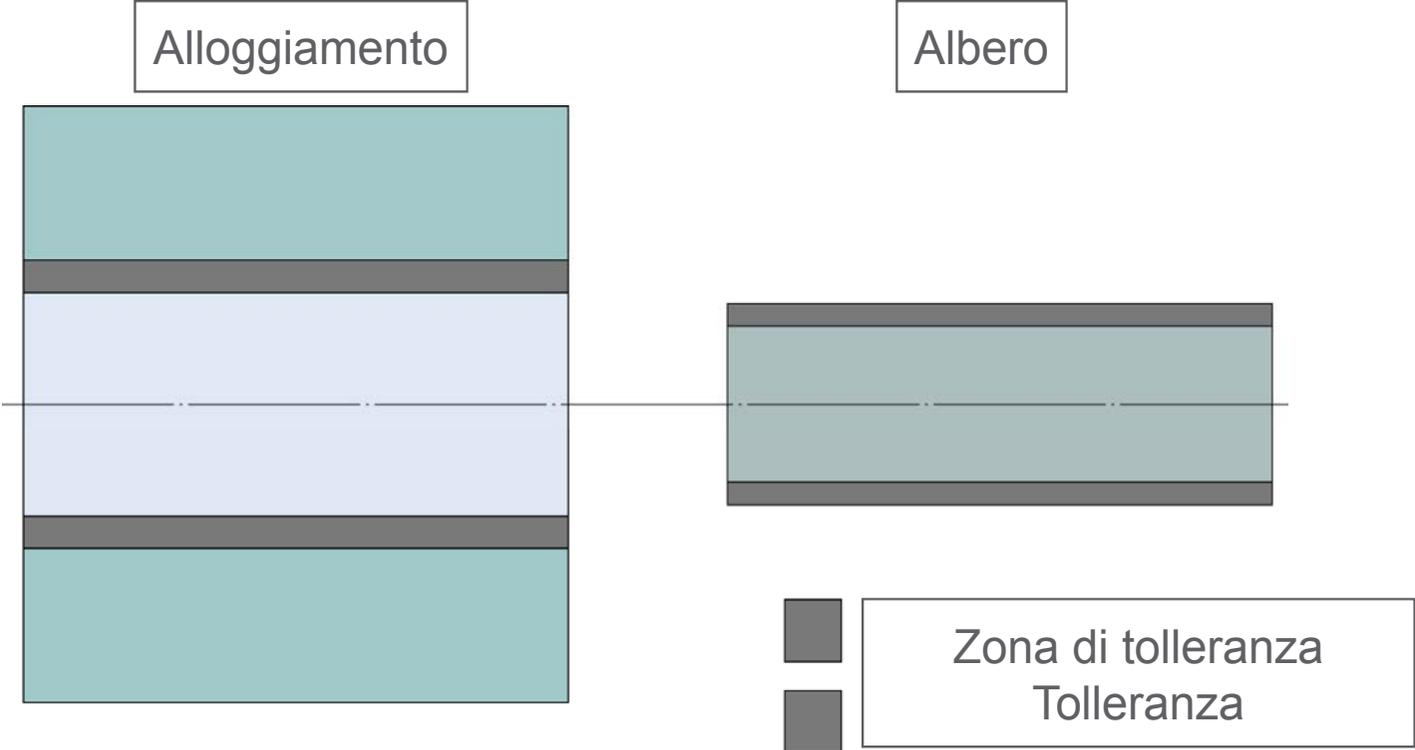
Tolleranza:

Limite di variabilità all'interno del quale le caratteristiche geometriche e dimensionali debbono essere contenute

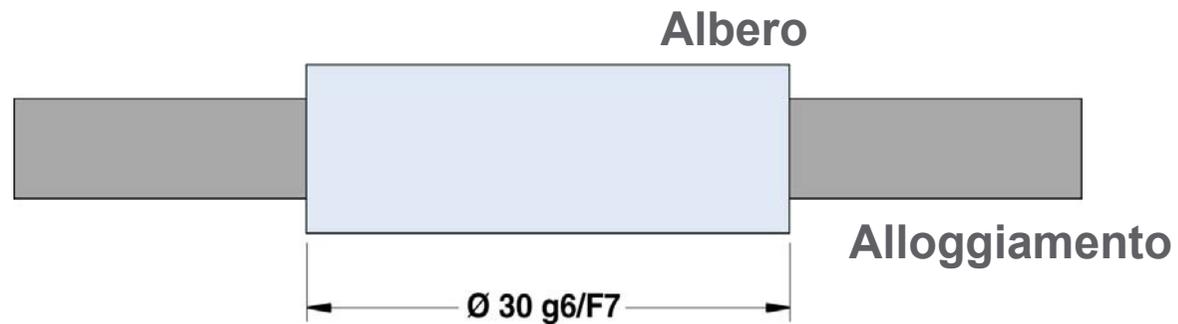
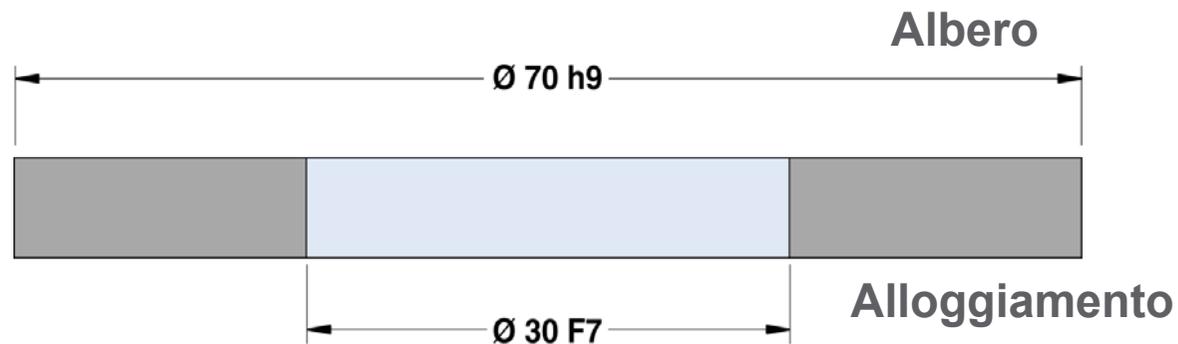
Le Tolleranze possono essere:

- **Tolleranze dimensionali**
- **Tolleranze Geometriche** (forma, orientamento, posizione, oscillazione, rugosità)

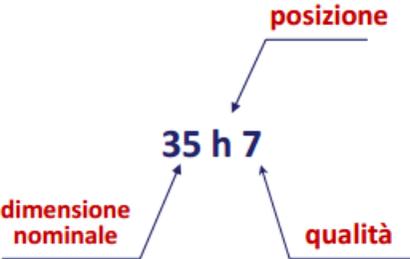
Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti – Definizioni



Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti – Definizioni



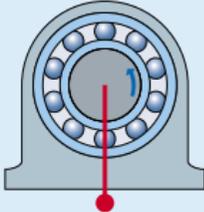
Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti – Definizioni



1	Dimensione nominale		
2	Posizione	Albero	Lettere minuscole
		Alloggiamento	Lettere maiuscole
3	Grado IT		

Esempio:	Ø 100r6 Ø 45 M7 Ø 100 h9/IT5
----------	------------------------------------

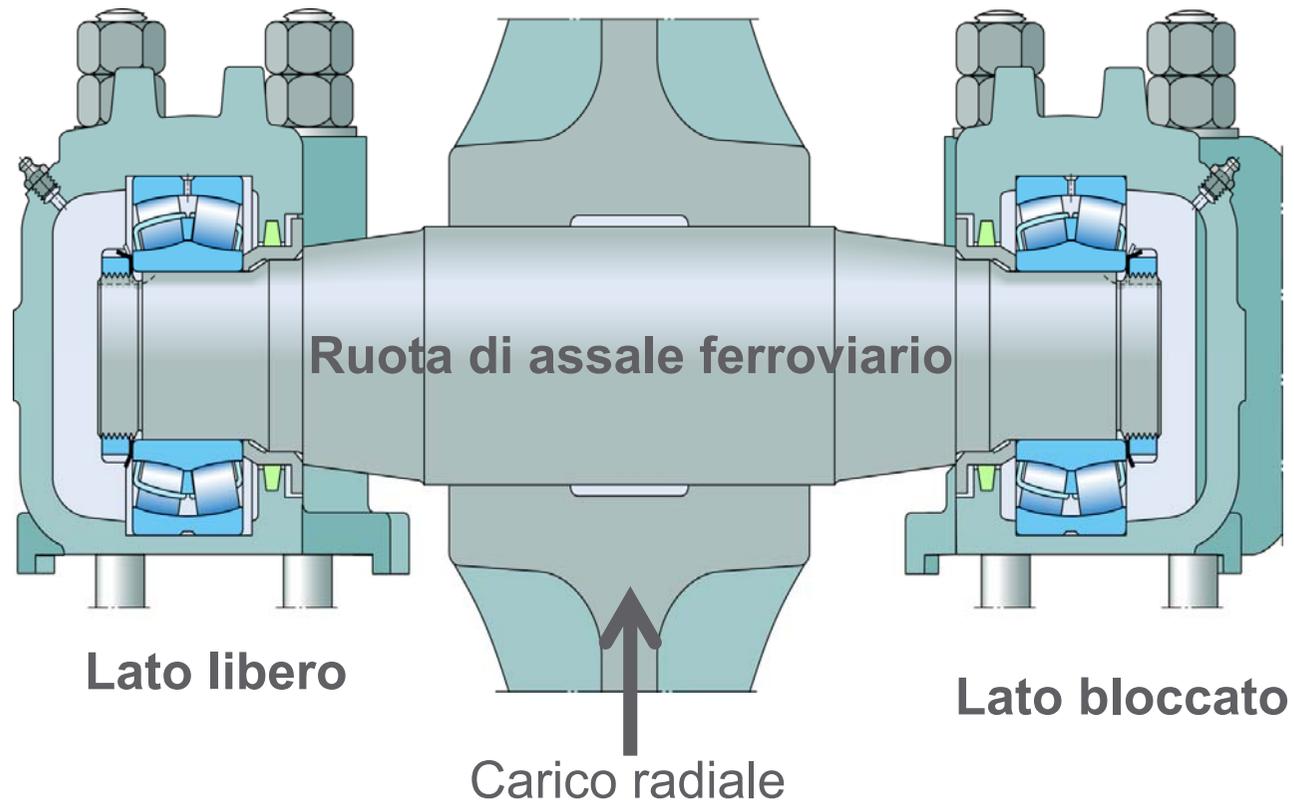
Carico rotante rispetto all'anello interno

Condizioni di rotazione e carico				
Condizioni di esercizio	Figura schematica	Condizioni di carico	Esempio	Accoppiamenti consigliati
Anello interno rotante		Carico rotante su anello interno	Alberi azionati da cinghia	Con interf. per anello interno
Anello esterno statico		Carico statico su anello esterno		Libero per anello esterno
Direzione di carico costante				

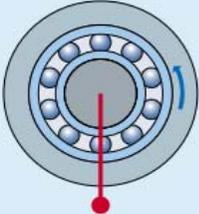


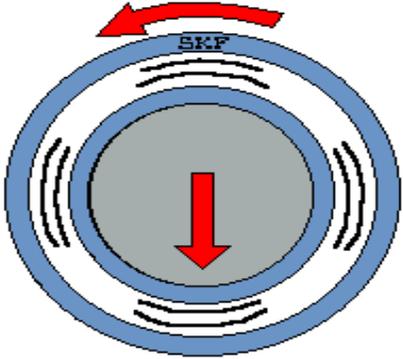
Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti

Carico rotante rispetto all'anello interno

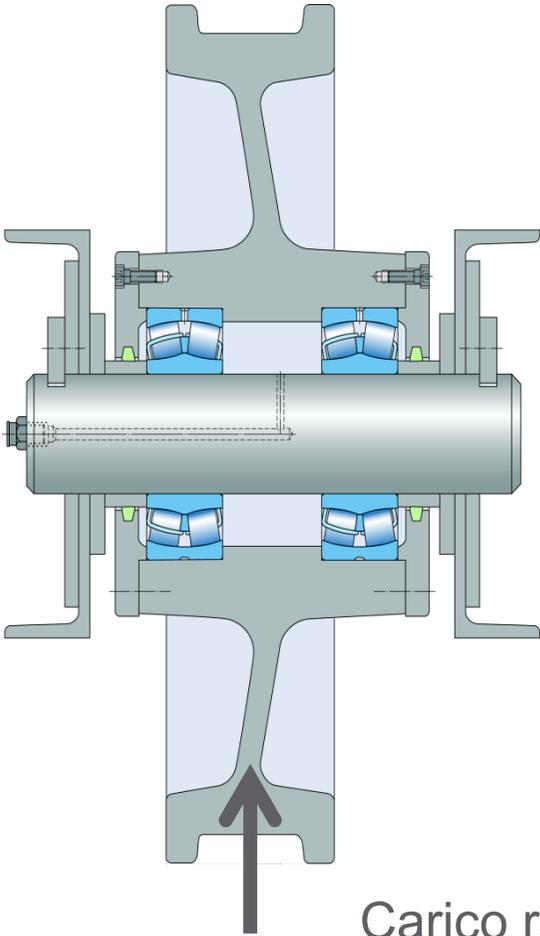


Carico rotante rispetto all'anello esterno

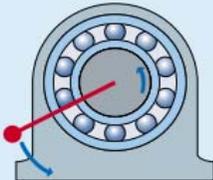
Condizioni di rotazione e carico				
Condizioni di esercizio	Figura schematica	Condizioni di carico	Esempio	Accoppiamenti consigliati
Anello interno statico		Carico statico su anello interno	Tenditori nastri trasportatori	Libero per anello interno
Anello esterno rotante		Carico rotante su anello esterno	Cuscinetti mozzo ruota veicolo	Con interf. per anello esterno
Direzione di carico costante				

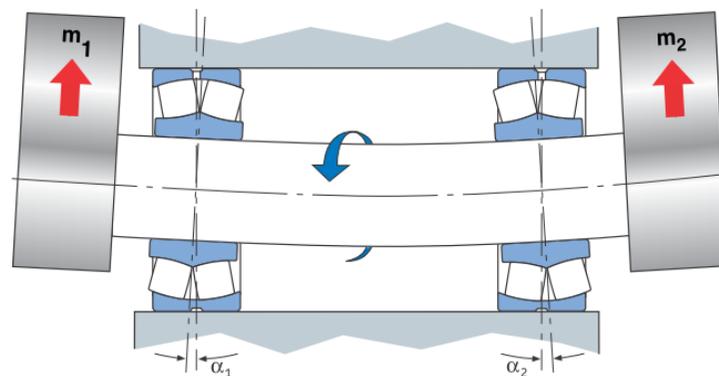


Carico rotante rispetto all'anello esterno



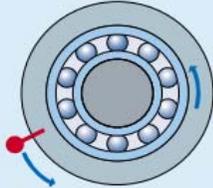
Carico fisso rispetto all'anello interno

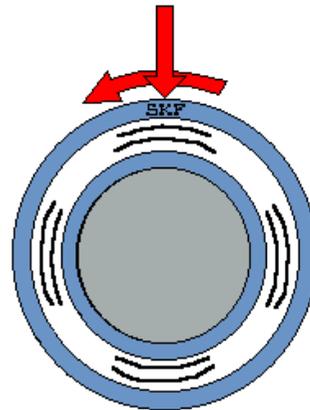
Condizioni di rotazione e carico				
Condizioni di esercizio	Figura schematica	Condizioni di carico	Esempio	Accoppiamenti consigliati
Anello interno rotante		Carico statico su anello interno	Applicazioni con vibrazioni	Con interf. per anello esterno
Anello esterno statico		Carico rotante su anello esterno	Schermi o motori vibranti	Libero per anello interno
Il carico ruota con l'anello interno				



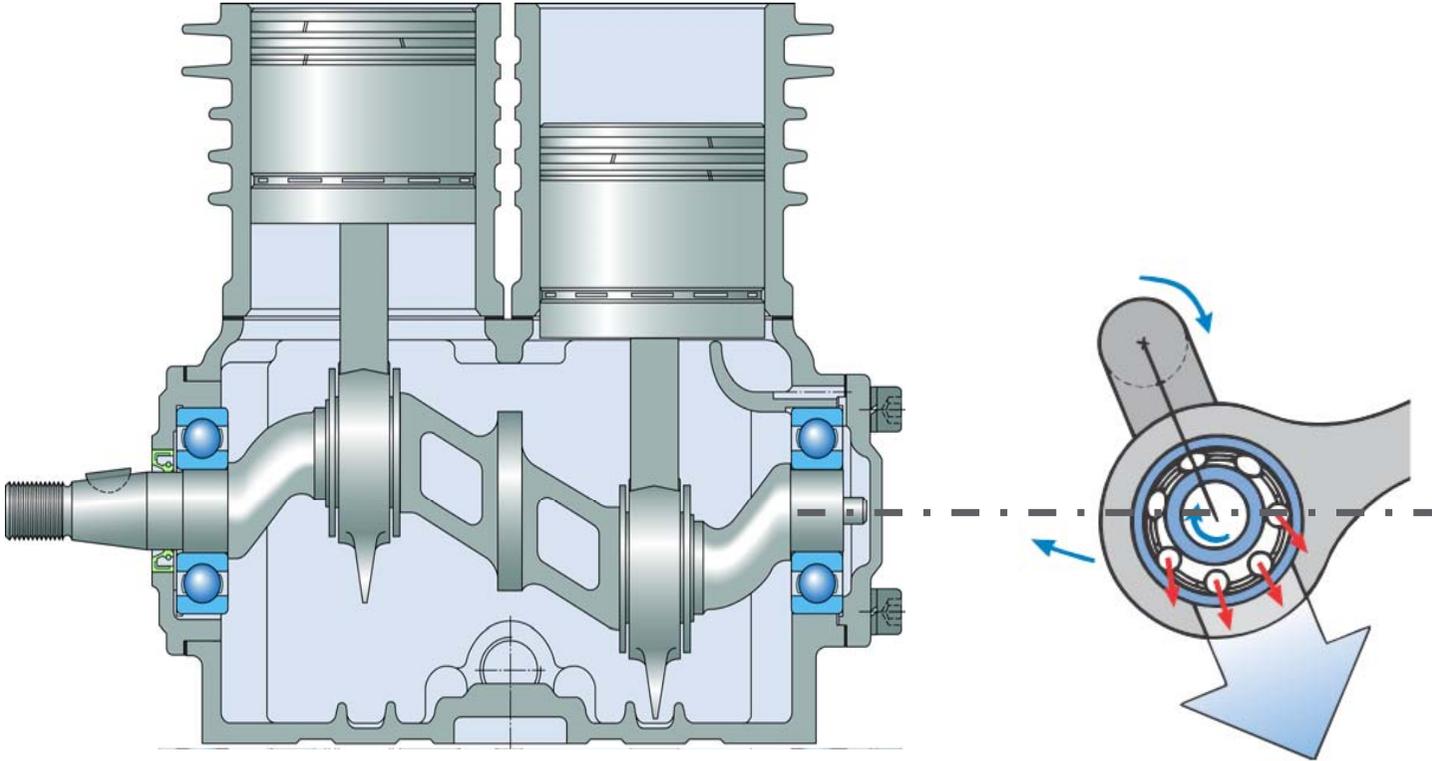
Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti

Carico fisso rispetto all'anello esterno

Condizioni di rotazione e carico				
Condizioni di esercizio	Figura schematica	Condizioni di carico	Esempio	Accoppiamenti consigliati
Anello interno statico		Carico rotante su anello interno	Frantumatori giratori	Con interf. per anello interno
Anello esterno rotante		Carico statico su anello esterno	(trasmissioni giostre)	Libero per anello esterno
Il carico ruota con l'anello esterno				

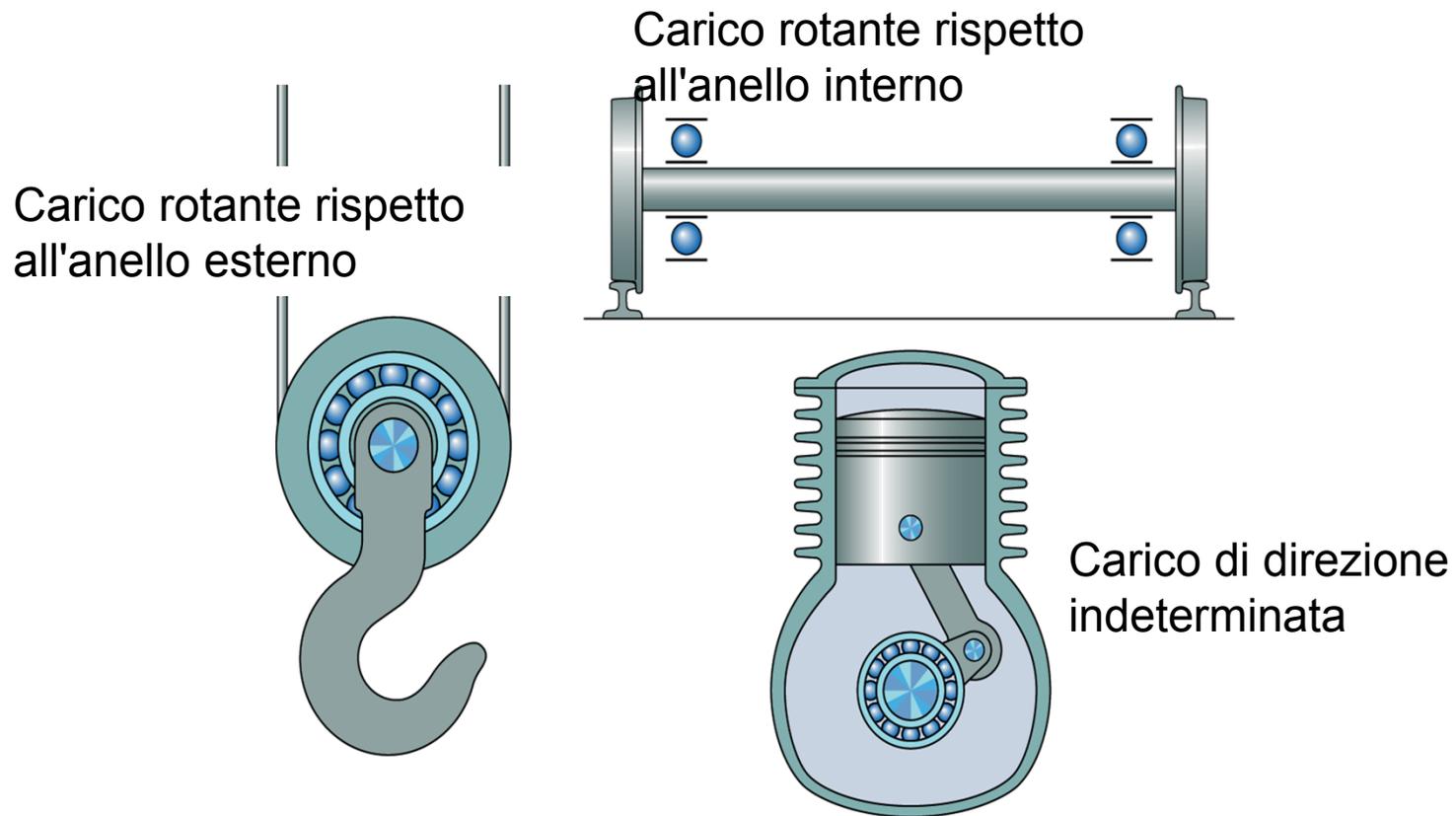


Carico di direzione indeterminata

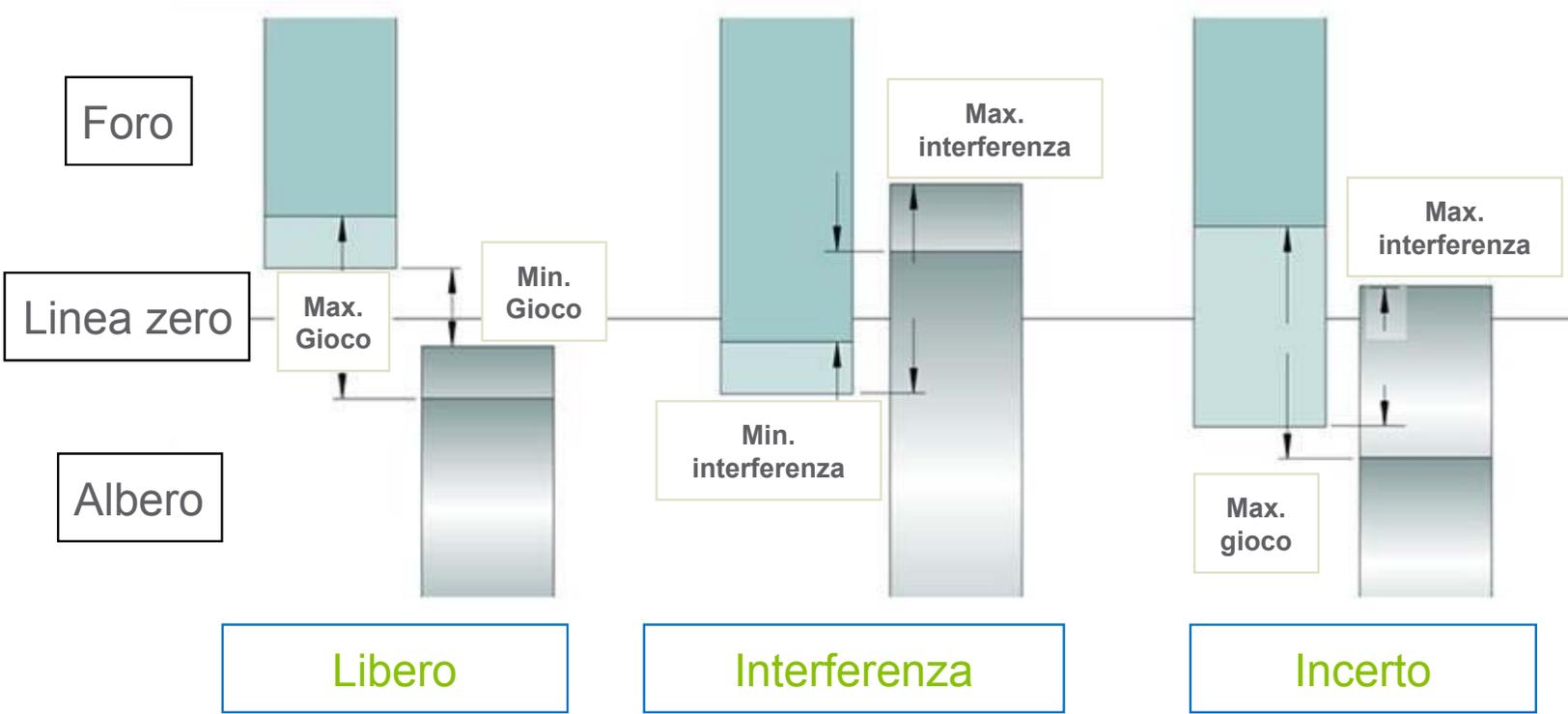


Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti

Condizioni di rotazione del carico



Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti – Definizioni

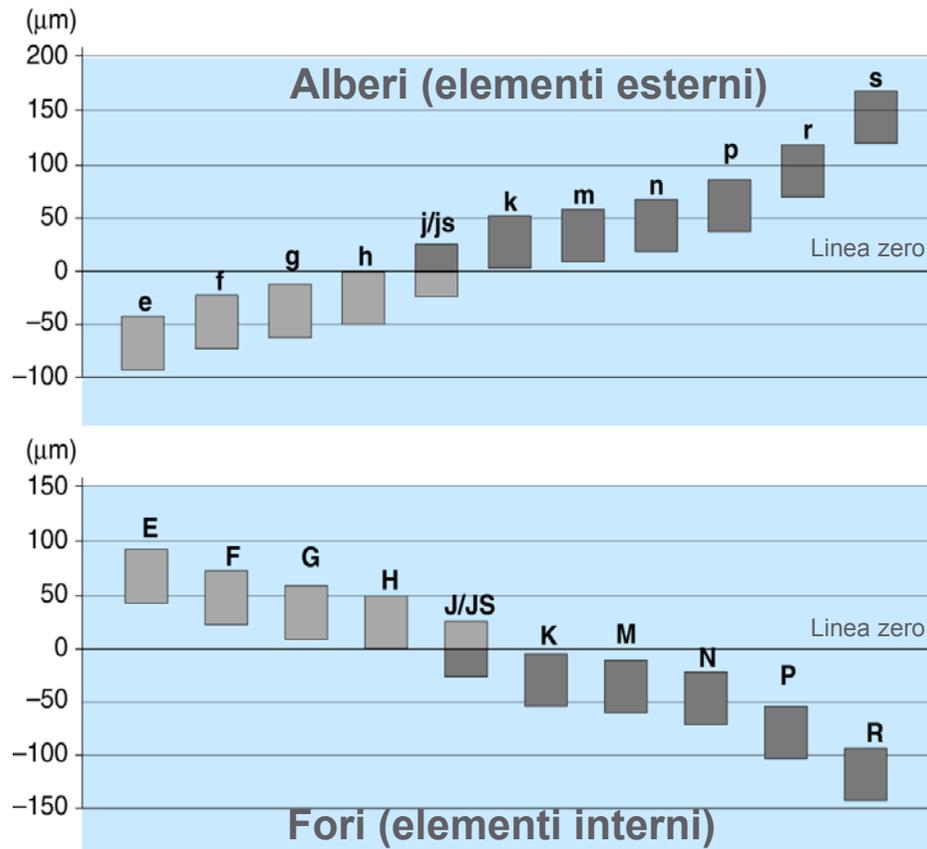


Come si scelgono gli accoppiamenti dei cuscinetti

La scelta delle tolleranze è dipendente da:

- Tipologia ed entità del carico
- Condizioni di rotazione
- Tipologia e dimensione cuscinetto
- Requisiti per la precisione di rotazione
- Esecuzione e materiale dei componenti
- Facilità di montaggio/smontaggio

Gli accoppiamenti per albero e alloggiamento



La posizione della tolleranza rispetto alla linea dello zero è designata da una lettera che indica il valore dello scostamento di riferimento. Lo scostamento di riferimento può essere, a seconda dei casi, o lo scostamento superiore o quello inferiore

I gradi di qualità IT

Values of ISO standard tolerance grades													
Nominal dimension		Tolerance grades			IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
over	incl.	IT1	IT2	IT3									
mm		µm											
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	–	–	–	–	32	44	70	110	175	280	440	700
630	800	–	–	–	–	36	50	80	125	200	320	500	800
800	1000	–	–	–	–	40	56	90	140	230	360	560	900
1000	1250	–	–	–	–	47	66	105	165	260	420	660	1050
1250	1600	–	–	–	–	55	78	125	195	310	500	780	1250
1600	2000	–	–	–	–	65	92	150	230	370	600	920	1500
2000	2500	–	–	–	–	78	110	175	280	440	700	1100	1750

L'entità del carico

Con l'aumentare del carico applicato, l'interferenza dell'anello interno sulla sua sede tende ad allentarsi (per effetto delle deformazioni). Per effetto del carico rotante l'anello potrebbe iniziare a ruotare nella sede. Pertanto il grado di interferenza deve essere proporzionato all'entità del carico

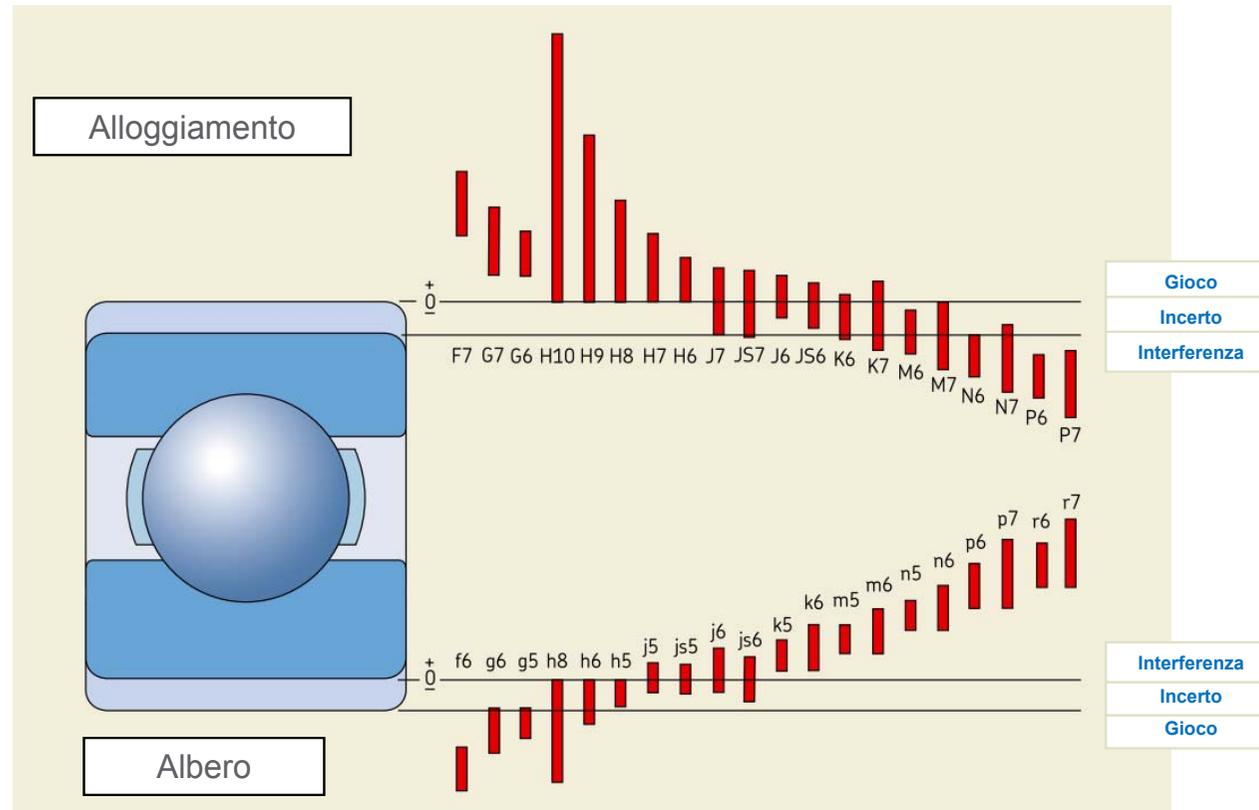
Per Carichi rotanti:

- $P \leq 0,05 C$ **Carico Leggero**
- $0,05 C \leq P \leq 0,1 C$ **Carico Normale**
- $0,1 C \leq P \leq 0,15 C$ **Carico Elevato**
- $P > 0,15 C$ **Carico Molto Elevato (o carichi da urto)**

Per Carichi fissi

- Esigenze relative allo spostamento assiale

Tolleranze dimensionali per alberi e alloggiamenti



Tolleranze consigliate per alberi pieni in acciaio

Accoppiamenti per alberi pieni in acciaio						
Cuscinetti radiali con foro cilindrico						
Condizioni	Esempi	Diametro albero in mm				Tolleranze
		Cuscinetti a sfere ¹⁾	Cuscinetti a rulli cilindrici	Cuscinetti a rulli conici	Cuscinetti orientabili a rulli e CARB	
Carico anello interno rotante o direzione carico indefinita						
Carichi leggeri e variabili (P ≤ 0,05 C)	Trasportatori, cuscinetti trasmissione a carico leggero	≤ 17	–	–	–	js5 (h5) ²⁾
		(17) a 100	≤ 25	≤ 25	–	j6 (j5) ²⁾
		(100) a 140	(25) a 60	(25) a 60	–	k6
		–	(60) a 140	(60) a 140	–	m6
Carichi da normali a pesanti (P > 0,05 C)	Applicazioni cuscinetti in generale, motori elettrici, turbine, pompe, sistemi di ingranaggi, macchine per falegnameria, mulini	≤ 10	–	–	–	js5
		(10) a 17	–	–	–	j5 (j5) ²⁾
		(17) a 100	–	–	< 25	k5 ³⁾
		–	≤ 30	≤ 40	–	k6
		(100) a 140	(30) a 50	–	25 a 40	m5
		(140) a 200	–	(40) a 65	–	m6
		–	(50) a 65	–	(40) a 60	n5 ⁴⁾
		(200) a 500	(65) a 100	(65) a 200	(60) a 100	n6 ⁴⁾
–	(100) a 280	(200) a 360	(100) a 200	p6 ⁵⁾		
> 500	–	–	–	p7 ⁴⁾		
–	–	(280) a 500	(360) a 500	(200) a 500	r6 ⁴⁾	
–	–	> 500	> 500	> 500	r7 ⁴⁾	

Come interpretare i valori per alberi

Shaft tolerances and resultant fits

Shaft Nominal diameter d	Bearing Bore diameter tolerance Δ _{dmp}		Shaft diameter deviations, resultant fits												
	over	incl.	low		high		Tolerance classes								
mm			μm		μm										
					Deviations (shaft diameter)										
					Theoretical interference (-)/clearance (+)										
					Probable interference (-)/clearance (+)										
-	3	-8	0	0	-6	0	-14	0	-25	+2	-2	+4	-2		
					+6	-8	+14	-8	+25	-10	+2	-12	+2		
					-6	+4	-6	+12	-5	+22	-9	-10	0		
3	6	-8	0	0	-8	0	-18	0	-30	+3	-2	+8	-2		
					+8	-8	+18	-8	+30	-11	+2	-14	+2		
					-6	+6	-5	+15	-5	+27	-10	+1	-12	0	
6	10	-8	0	0	-9	0	-22	0	-36	+4	-2	+7	-2		
					+9	-8	+22	-8	+36	-12	+2	-15	+2		
					-6	+7	-5	+19	-5	+33	-10	0	-13	0	
10	18	-8	0	0	-11	0	-27	0	-43	+5	-3	+8	-3		
					+11	-8	+27	-8	+43	-13	+3	-16	+3		
					-6	+9	-5	+24	-5	+40	-11	+1	-14	+1	
18	30	-10	0	0	-13	0	-33	0	-52	+5	-4	+9	-4		
					+13	-10	+33	-10	+52	-15	+4	-19	+4		
					-7	+10	-6	+29	-6	+48	-13	+2	-16	+1	
30	50	-12	0	0	-16	0	-39	0	-62	+6	-5	+11	-5		
					+16	-12	+39	-12	+62	-18	+5	-23	+5		
					-8	+12	-7	+34	-7	+57	-15	+2	-19	+1	
50	80	-15	0	0	-19	0	-46	0	-74	+6	-7	+12	-7		
					+19	-15	+46	-15	+74	-21	+7	-27	+7		
					-11	+15	-9	+40	-9	+68	-17	+3	-23	+3	
80	120	-20	0	0	-22	0	-54	0	-87	+6	-9	+13	-9		
					+22	-20	+54	-20	+87	-26	+9	-33	+9		
					-14	+16	-12	+46	-12	+79	-21	+4	-27	+3	
120	180	-25	0	0	-25	0	-63	0	-100	+7	-11	+14	-11		
					+25	-25	+63	-25	+100	-32	+11	-39	+11		
					-18	+18	-15	+53	-15	+90	-26	+5	-32	+4	

Tolleranza albero

Gioco/interferenza Teorici

Gioco/interferenza Probabili

Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti

Tolleranze consigliate per alloggiamenti in acciaio/ghisa

Fits for non-split cast iron and steel housings (for radial bearings) ¹⁾			
Conditions	Examples	Tolerance class ^{2) 3)}	Displacement of outer ring
Rotating outer ring load			
Heavy loads on bearings in thin-walled housings, heavy shock loads ($P > 0,1 C$)	Roller bearing wheel hubs, big-end bearings	P7	Cannot be displaced
Normal to heavy loads ($P > 0,05 C$)	Ball bearing wheel hubs, big-end bearings, crane travelling wheels	N7	Cannot be displaced
Light and variable loads ($P \leq 0,05 C$)	Conveyor rollers, rope sheaves, belt tensioner pulleys	M7	Cannot be displaced
Direction of load indeterminate			
Heavy shock loads	Electric traction motors	M7	Cannot be displaced
Normal to heavy loads ($P > 0,05 C$), axial displacement of outer ring unnecessary	Electric motors, pumps, crankshaft bearings	K7	In most cases, cannot be displaced
Accurate or quiet running ⁴⁾			
Ball bearings	Small electric motors	J6 ⁵⁾	Cannot be displaced
Tapered roller bearings ⁶⁾			

Tolleranze consigliate per alloggiamenti in acciaio/ghisa

Fits for split or non-split cast iron and steel housings (for radial bearings) ¹⁾			
Conditions	Examples	Tolerance class ²⁾³⁾	Displacement of outer ring
Direction of load indeterminate			
Light to normal loads ($P \leq 0,1 C$), axial displacement of outer ring desirable	Medium-size electric motors and generators, pumps, crankshaft bearings	J7	In most cases, can be displaced, but some (induced) axial force might occur
Stationary outer ring load			
Loads of all kinds	General engineering, railway axleboxes	H7 ⁴⁾	Can be displaced
Light to normal loads ($P \leq 0,1 C$) with simple working conditions	General engineering	H8	Can be displaced
Thermal expansion of the shaft	Drying cylinders, large electrical machines with spherical roller bearings	G7 ⁵⁾	Can be displaced

Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti

Come interpretare i valori per alloggiamenti

Housing tolerances and resultant fits

Housing Nominal bore diameter D	Bearing Outside diameter tolerance $\Delta_{D_{mp}}$	Housing bore diameter deviations, resultant fits											
		Tolerance classes											
over	incl.	high	low	Deviations (housing bore diameter)									
				Theoretical interference (-)/clearance (+)									
				Probable interference (-)/clearance (+)									
mm		μm		μm									
6	10	0	-8	0	+15	0	+22	0	+36	0	+58	-4	+5
				0	+23	0	+30	0	+44	0	+66	-4	+13
				+3	+20	+3	+27	+3	+41	+3	+63	-2	+11
10	18	0	-8	0	+18	0	+27	0	+43	0	+70	-5	+6
				0	+26	0	+35	0	+51	0	+78	-5	+14
				+3	+23	+3	+32	+3	+48	+3	+75	-3	+12
18	30	0	-9	0	+21	0	+33	0	+52	0	+84	-5	+8
				0	+30	0	+42	0	+61	0	+93	-5	+17
				+3	+27	+3	+39	+4	+57	+4	+89	-2	+14
30	50	0	-11	0	+25	0	+39	0	+62	0	+100	-6	+10
				0	+36	0	+50	0	+73	0	+111	-6	+21
				+4	+32	+4	+46	+5	+68	+5	+106	-3	+18
50	80	0	-13	0	+30	0	+46	0	+74	0	+120	-6	+13
				0	+43	0	+59	0	+87	0	+133	-6	+26
				+5	+38	+5	+54	+5	+82	+6	+127	-2	+22
80	120	0	-15	0	+35	0	+54	0	+87	0	+140	-6	+16
				0	+50	0	+69	0	+102	0	+155	-6	+31
				+5	+45	+6	+63	+6	+96	+7	+148	-1	+26
120	150	0	-18	0	+40	0	+63	0	+100	0	+160	-7	+18
				0	+58	0	+81	0	+118	0	+178	-7	+36
				+7	+51	+7	+74	+8	+110	+8	+170	-1	+30
150	180	0	-25	0	+40	0	+63	0	+100	0	+160	-7	+18
				0	+65	0	+88	0	+125	0	+185	-7	+43
				+8	+57	+10	+78	+10	+115	+11	+174	0	+36

Tolleranza albero
Gioco/interferenza
Gioco/interferenza Probabili

Come calcolare le tolleranza per gli alberi cavi

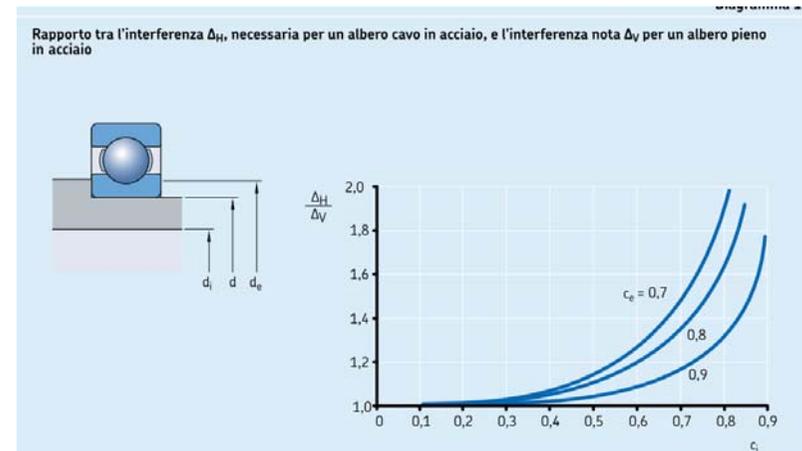
Se i cuscinetti devono essere montati con interferenza su un albero cavo, solitamente è necessario utilizzare un'interferenza maggiore rispetto a quella necessaria per un albero pieno; ciò serve ad ottenere la stessa pressione di superficie tra l'anello e la sede

Rapporti di diametro

$$c_i = \frac{d_i}{d}$$

$$c_e = \frac{d}{d_e}$$

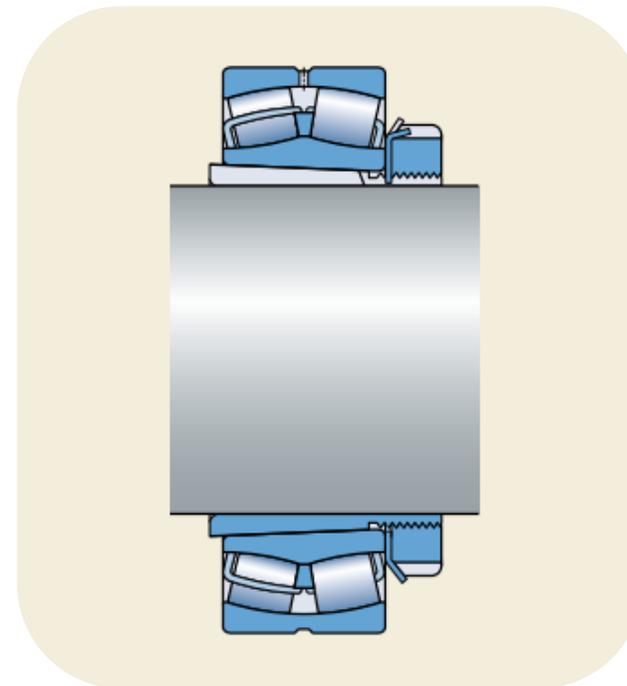
$$c_e = \frac{d}{k(D - d) + d}$$



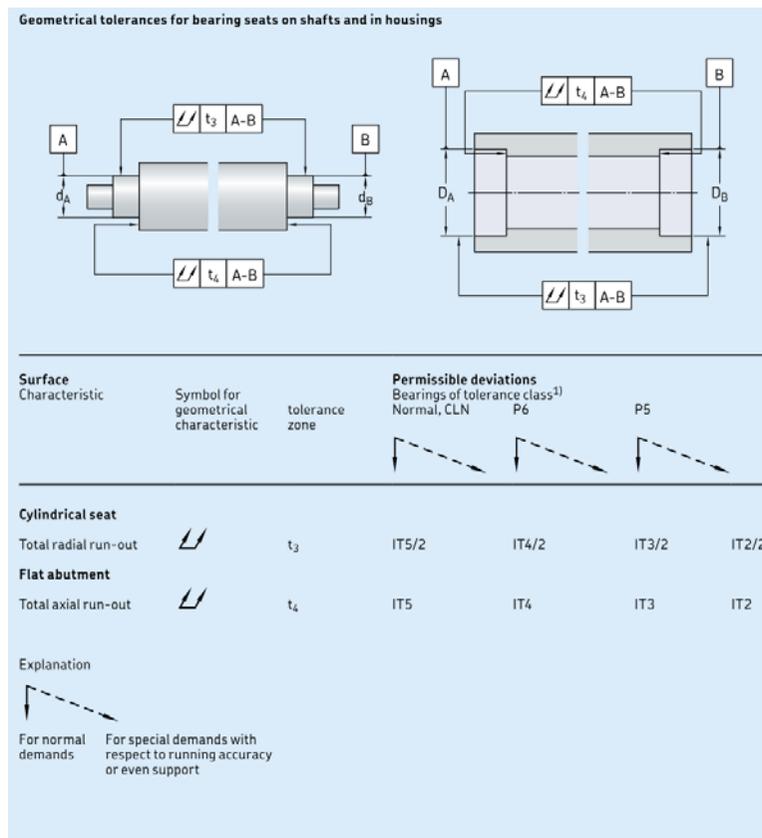
- c_i = rapporto di diametro dell'albero cavo
- c_e = rapporto di diametro dell'anello interno
- d = diametro esterno dell'albero cavo, diametro foro del cuscinetto, mm
- d_i = diametro interno dell'albero cavo, mm
- d_e = diametro medio esterno dell'anello interno, mm
- D = diametro esterno del cuscinetto, mm
- k = fattore dipendente dal tipo di cuscinetto

Le tolleranze degli alberi x bussole di trazione

Shaft diameter and geometrical tolerances for sleeve mounting				
Shaft diameter d		Diameter tolerance h9 [Ⓔ]		Total radial run-out IT5/2
Nominal over	incl.	Deviations high	low	max.
mm		μm		μm
10	18	0	-43	4
18	30	0	-52	5
30	50	0	-62	6
50	80	0	-74	7
80	120	0	-87	8
120	180	0	-100	9
180	250	0	-115	10
250	315	0	-130	12
315	400	0	-140	13
400	500	0	-155	14
500	630	0	-175	16
630	800	0	-200	18
800	1 000	0	-230	20
1 000	1 250	0	-260	24



Le tolleranze di forma degli alberi e alloggiamenti



Tolleranza per forma cilindrica:

da $1 \div 2$ gradi IT migliori rispetto alla tolleranza dimensionale prescritta

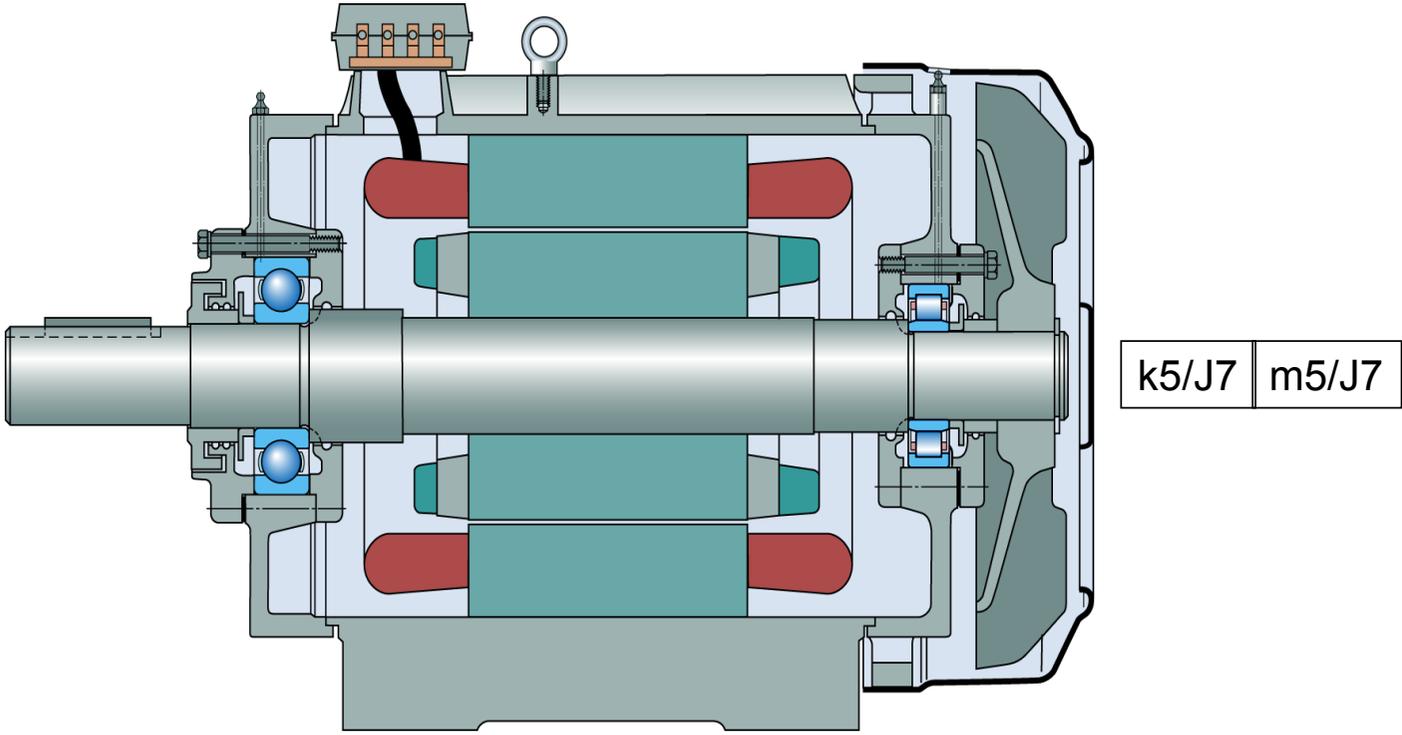
Tolleranza Perpendicolarità:

Per gli spallamenti almeno 1 grado IT migliore rispetto alla tolleranza dimensionale prescritta per la sede

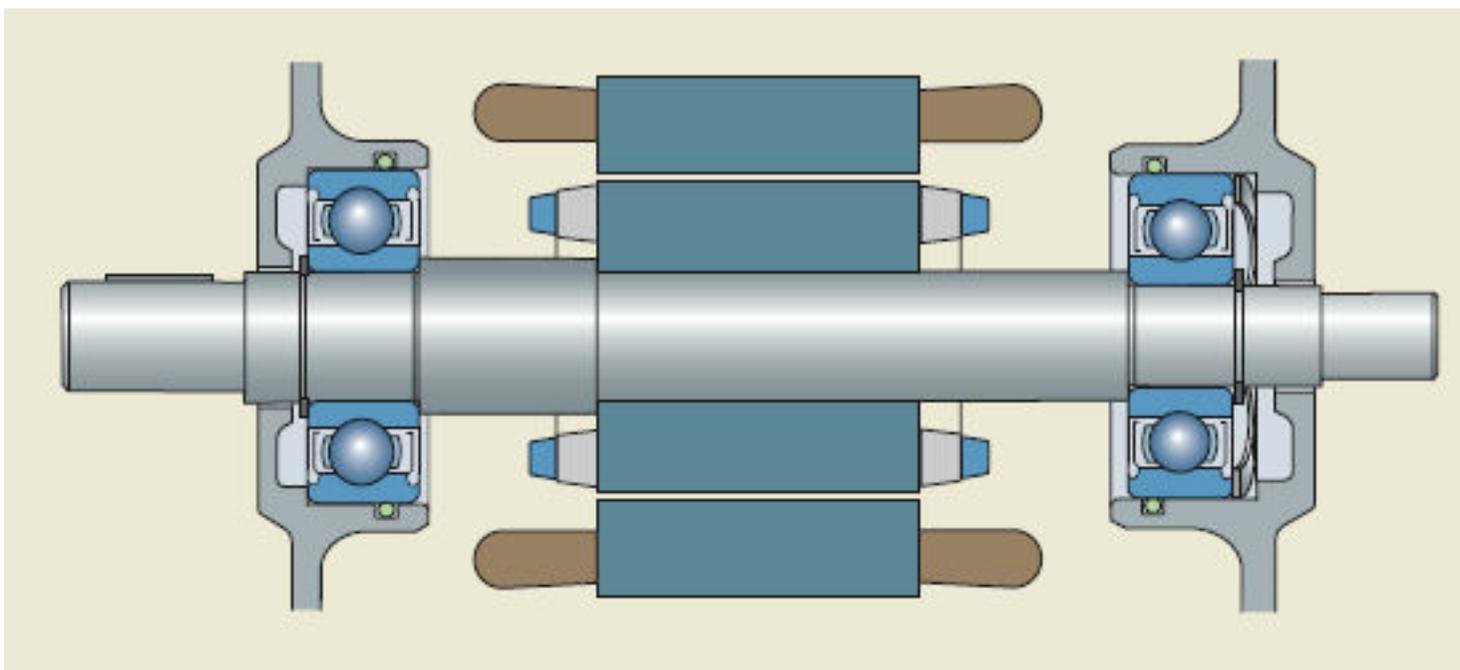
Esempi di applicazioni

4

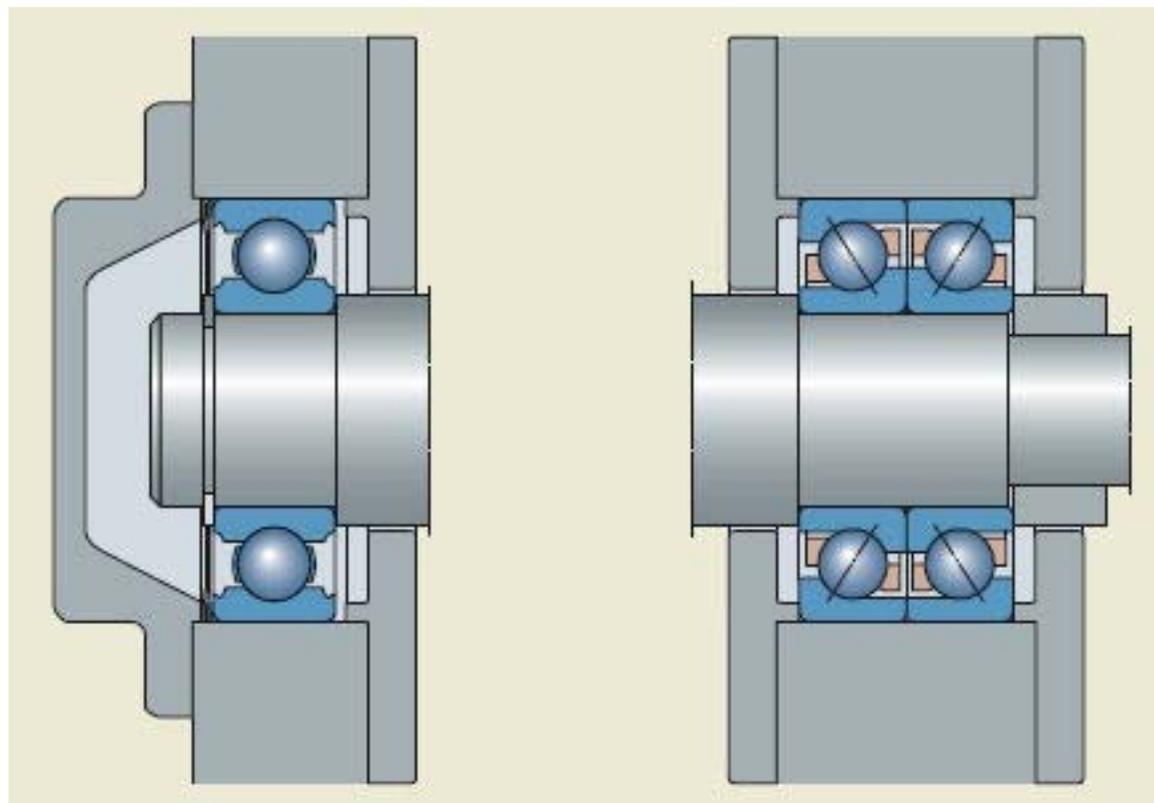
Motore elettrico



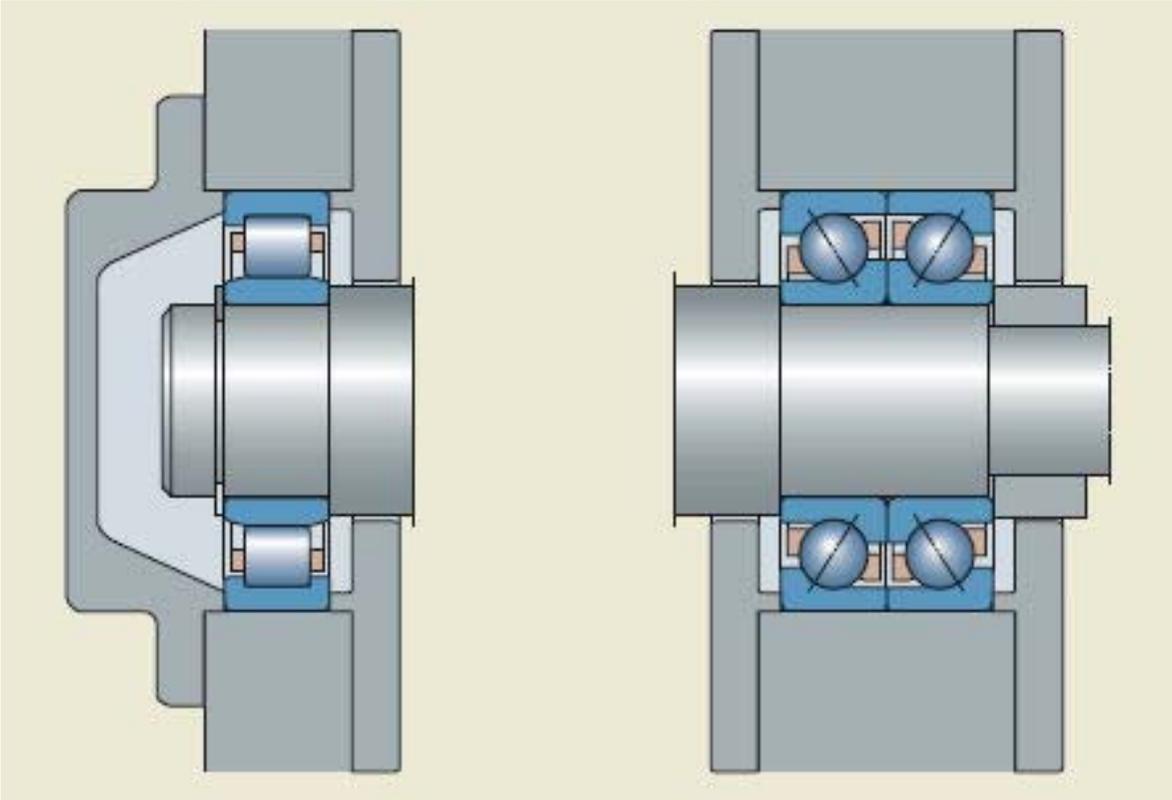
O-ring antirotazione (es. alloggiamenti in alluminio)



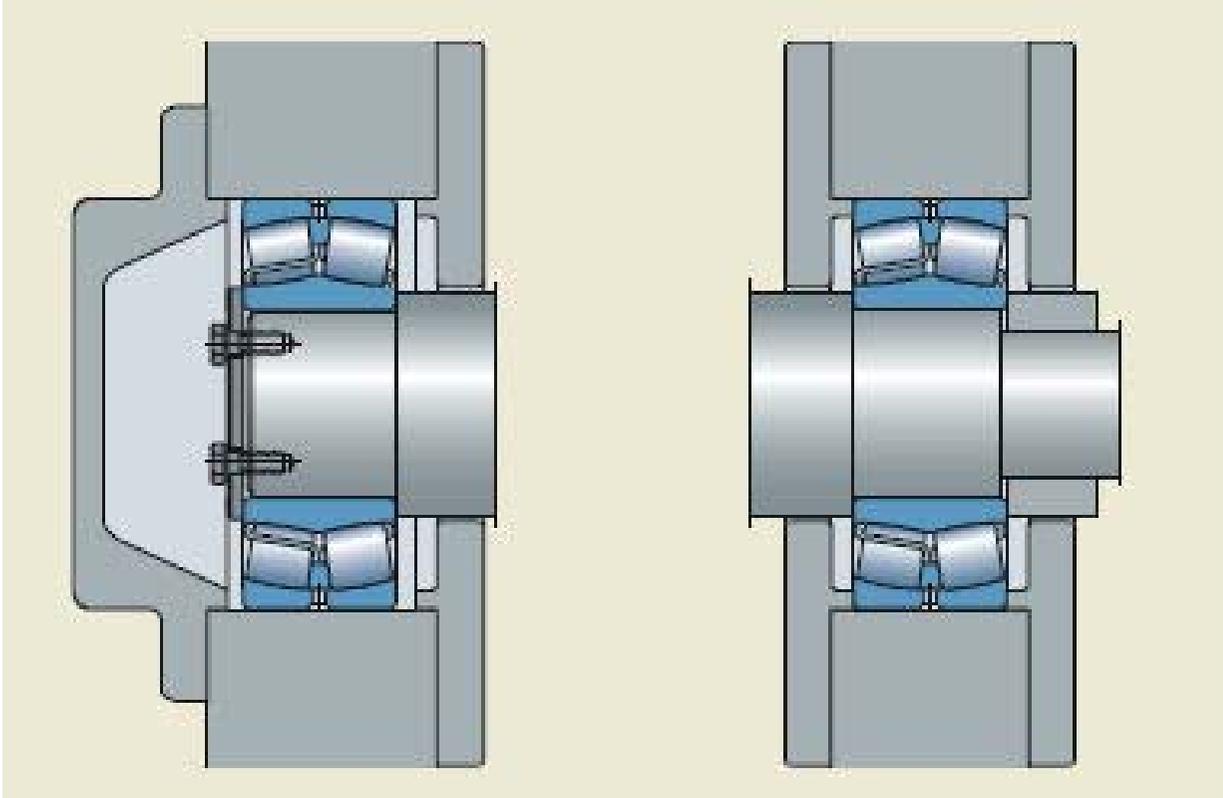
Carichi assiali importanti: contatto obliquo



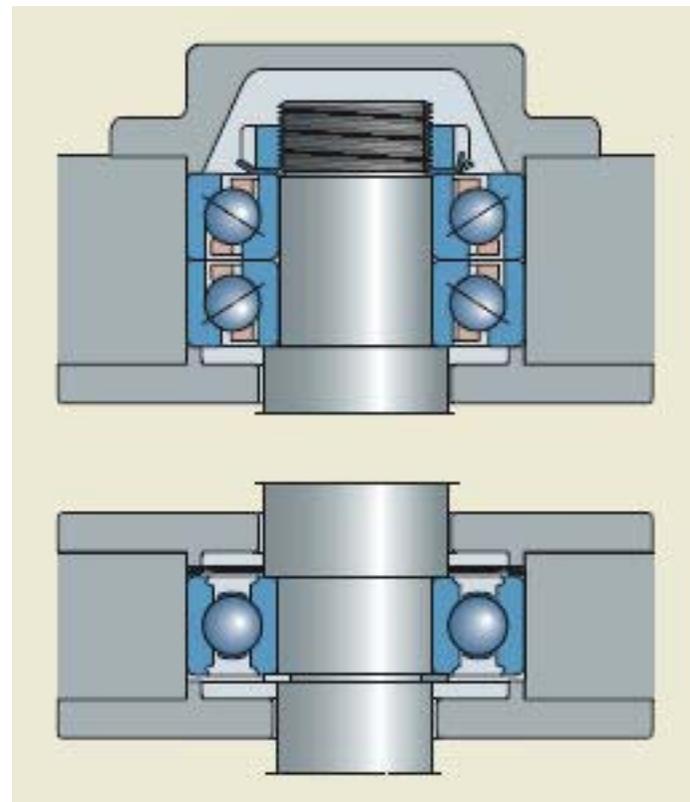
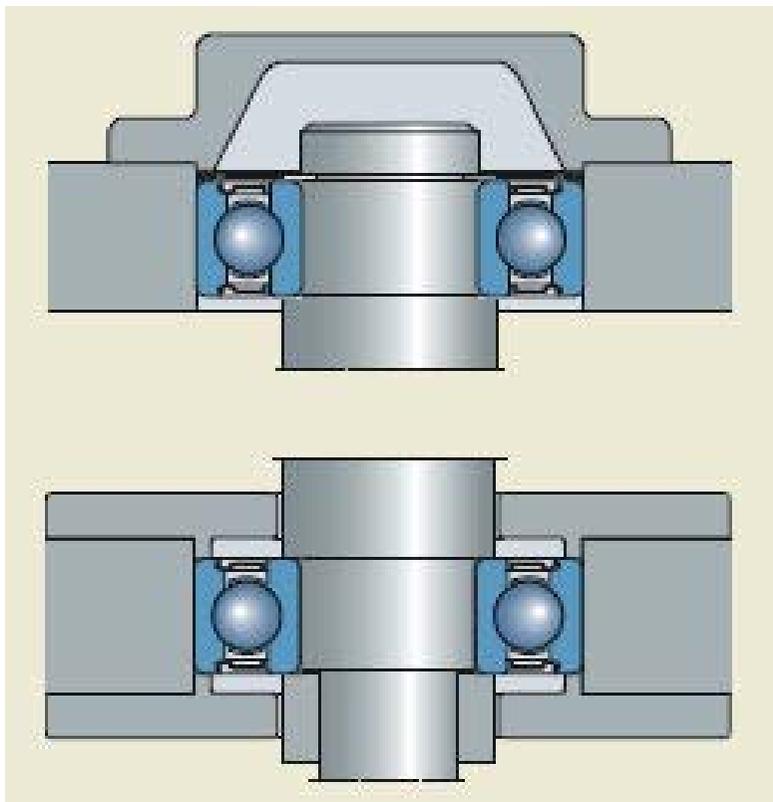
Forti carichi radio-assiali



Macchinari di grandi dimensioni e generatori



Applicazioni in verticale



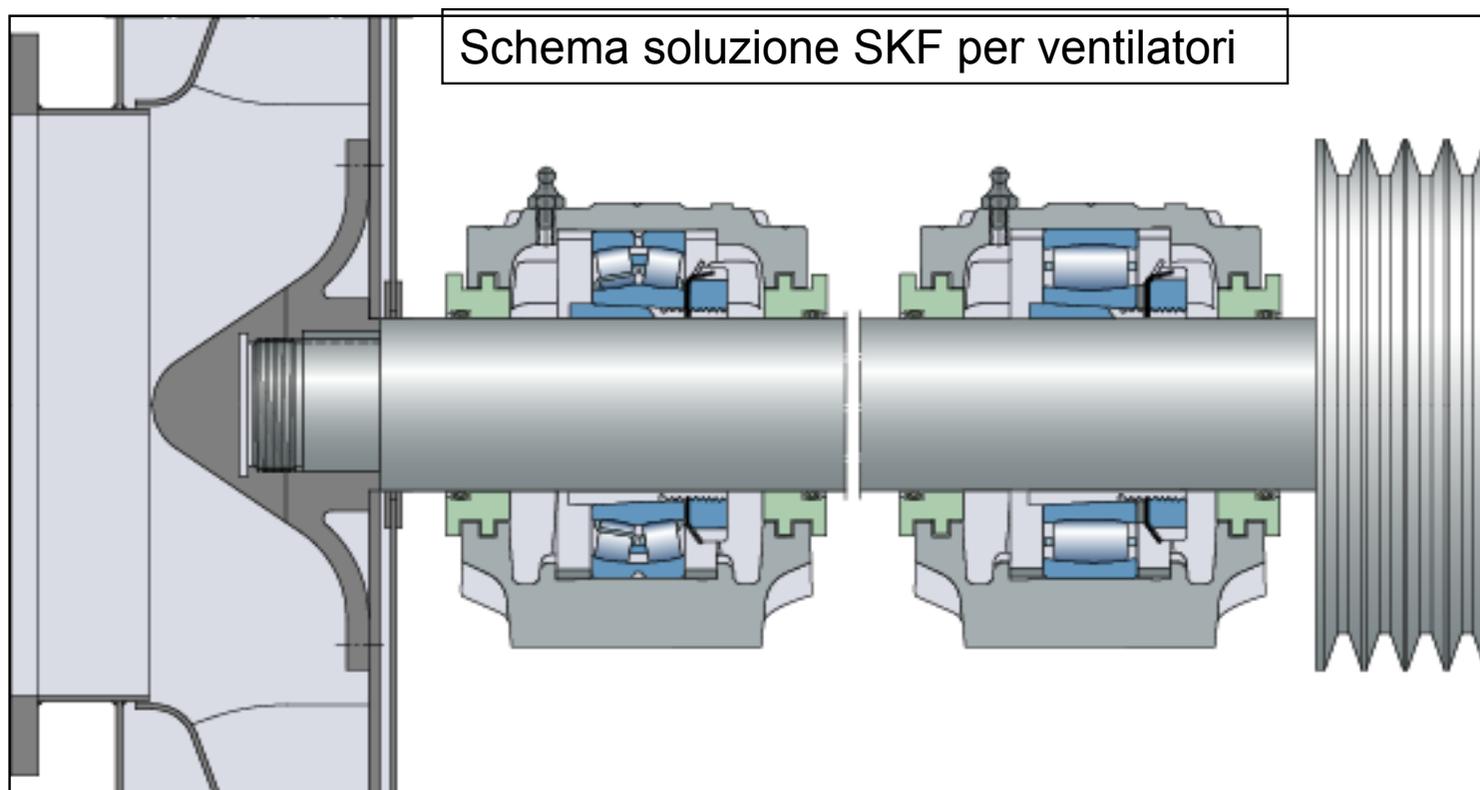
Motori Elettrici - Macchine di Saldatura



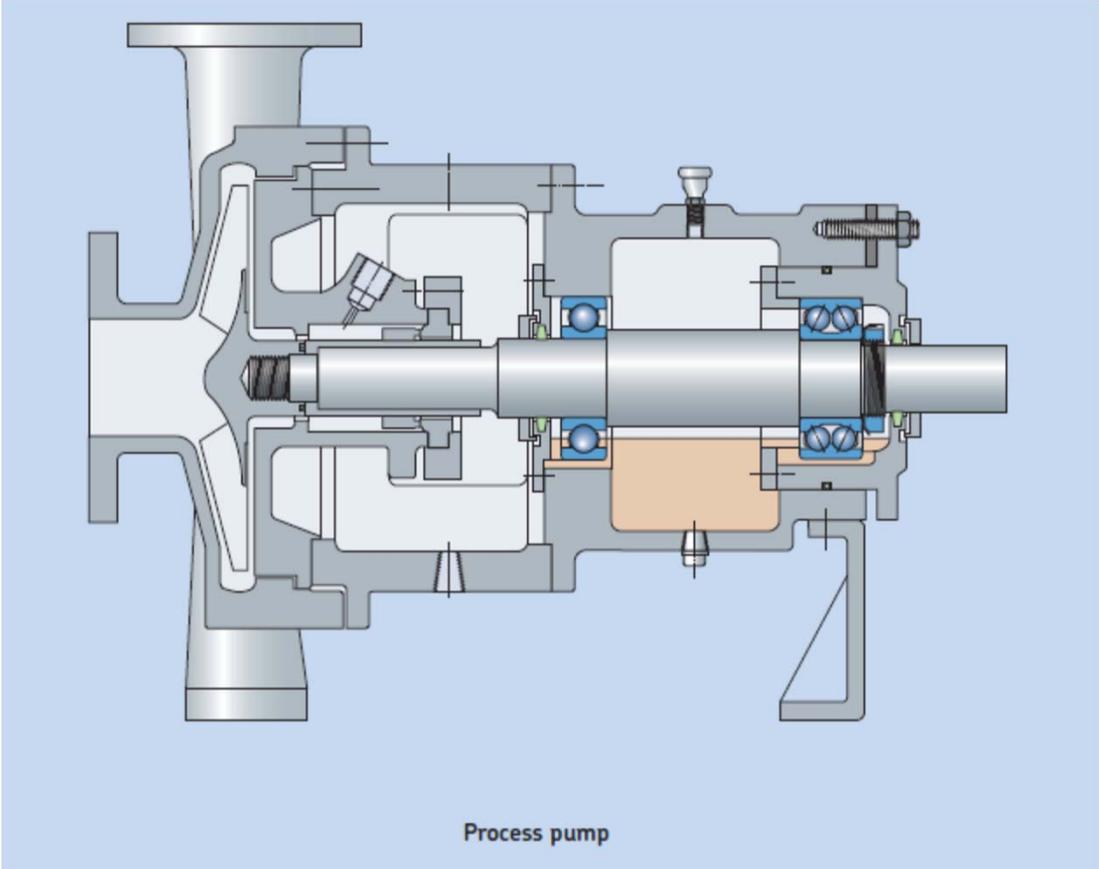
INSOCOAT® bearings



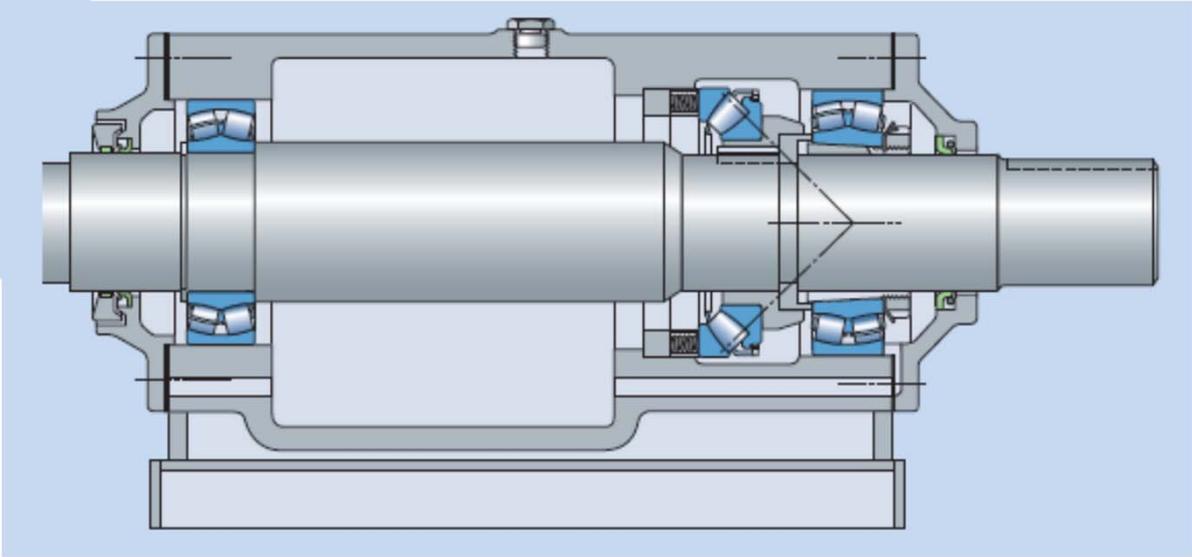
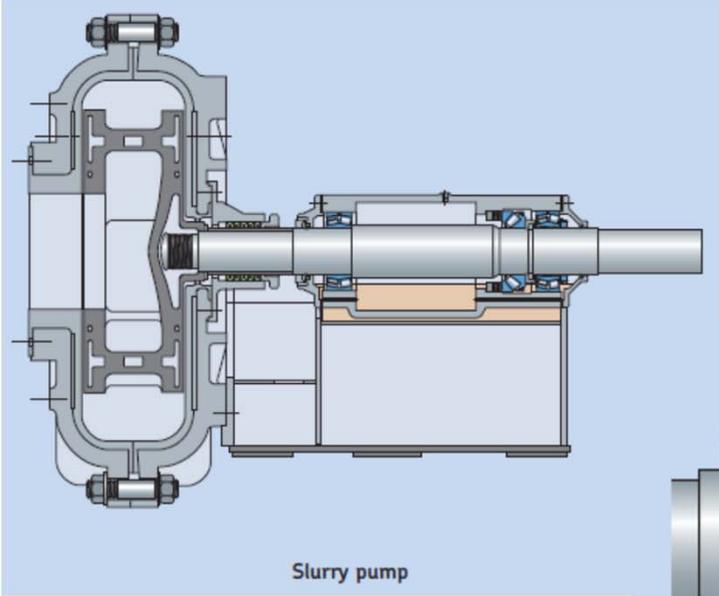
Ventilatori (per fumi caldi e di processo)



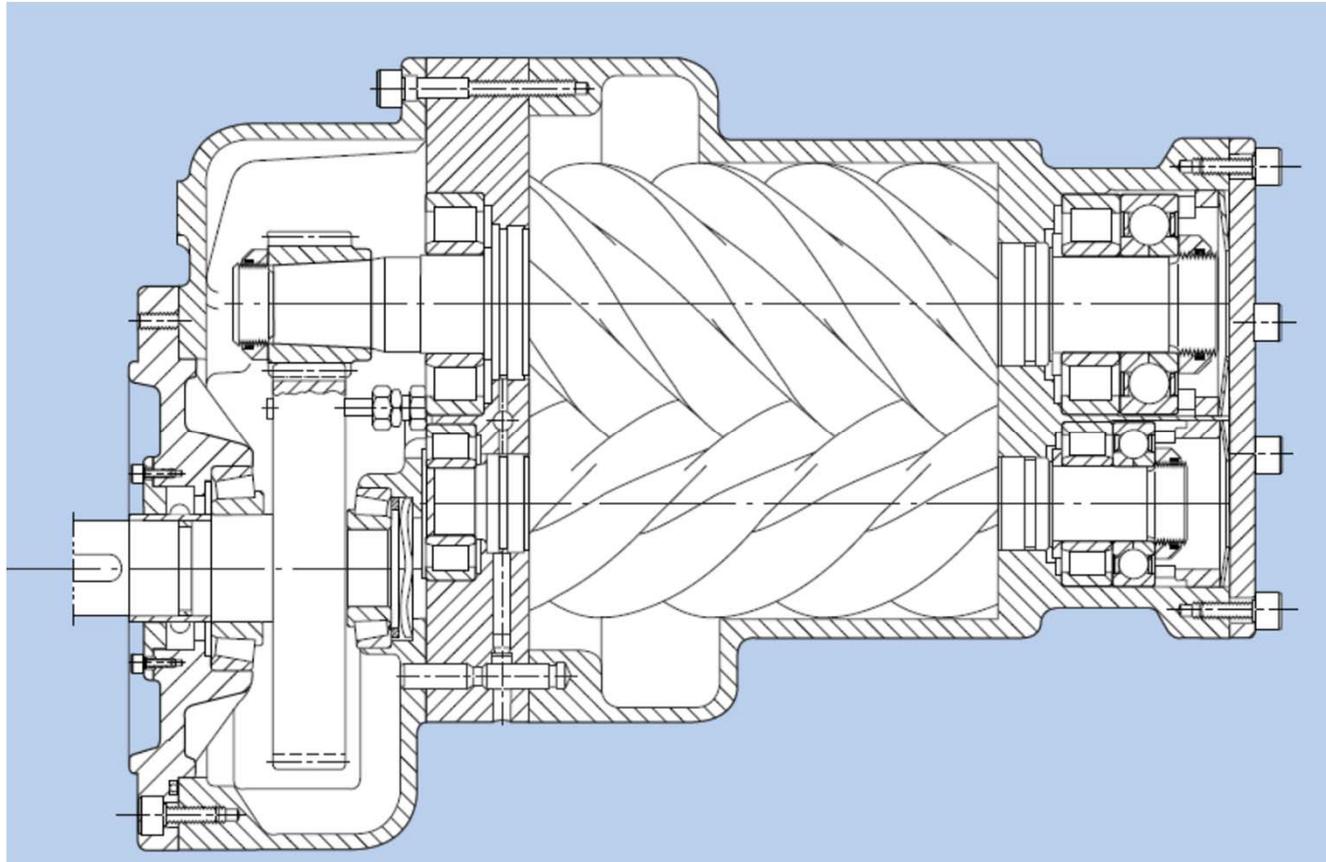
Process pump



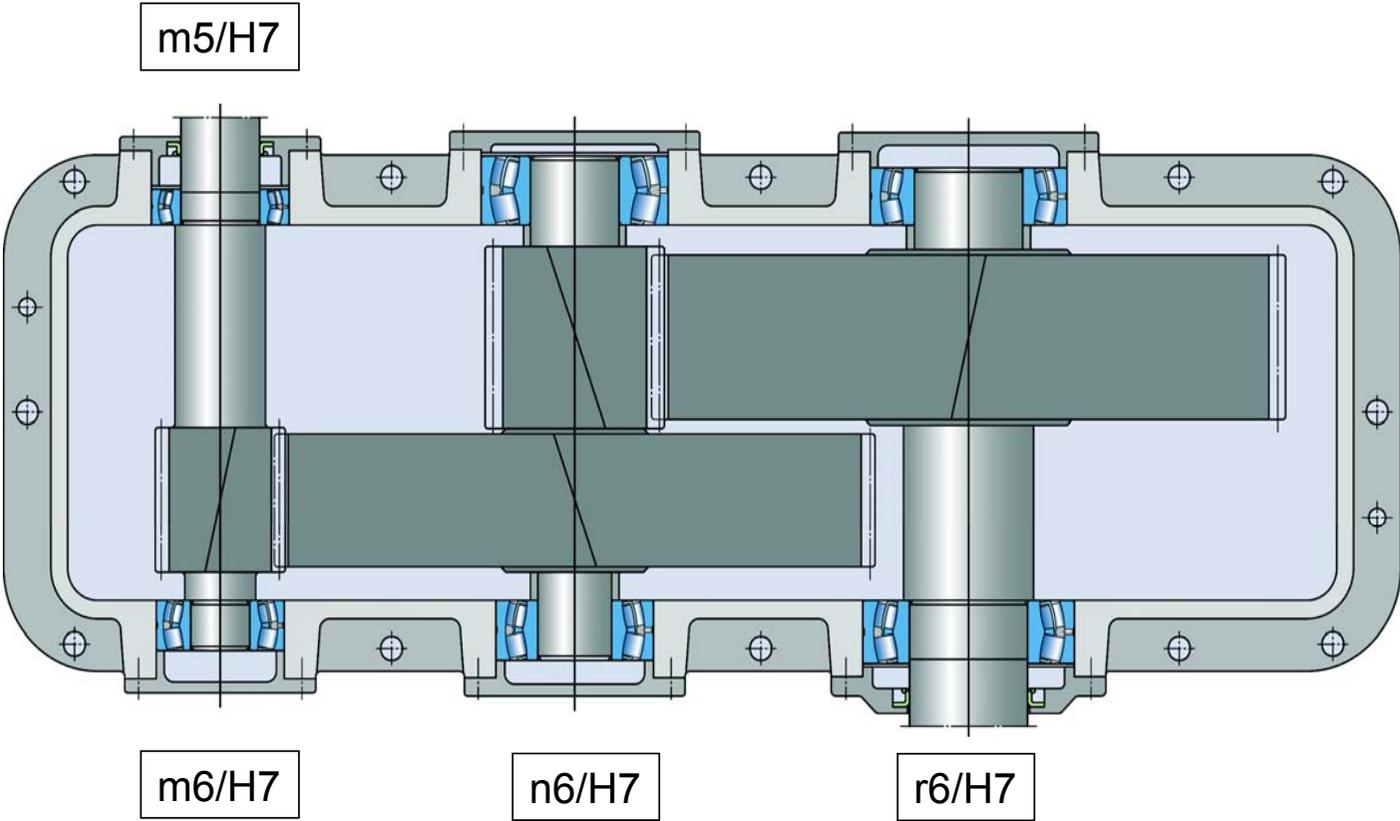
Slurry pump



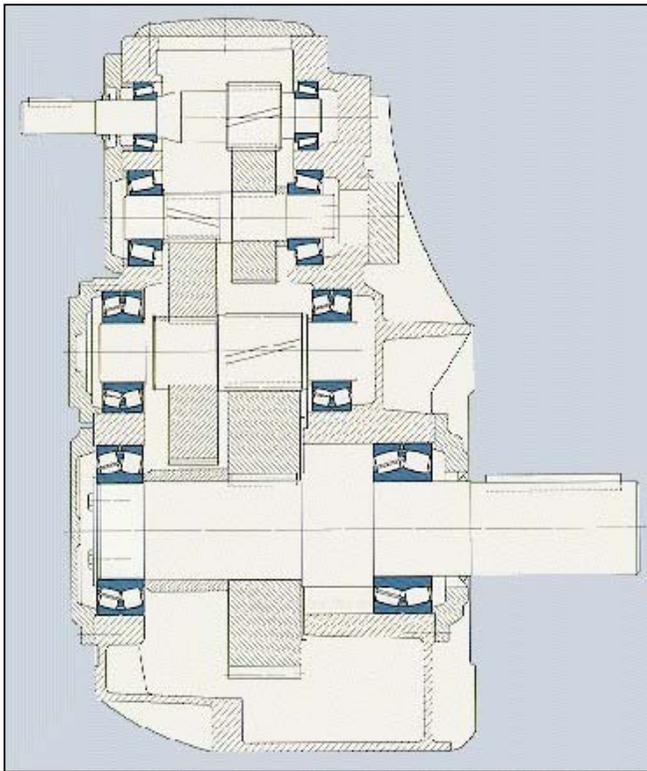
Screw compressor



Riduttore ad assi paralleli



Riduttore ad assi paralleli



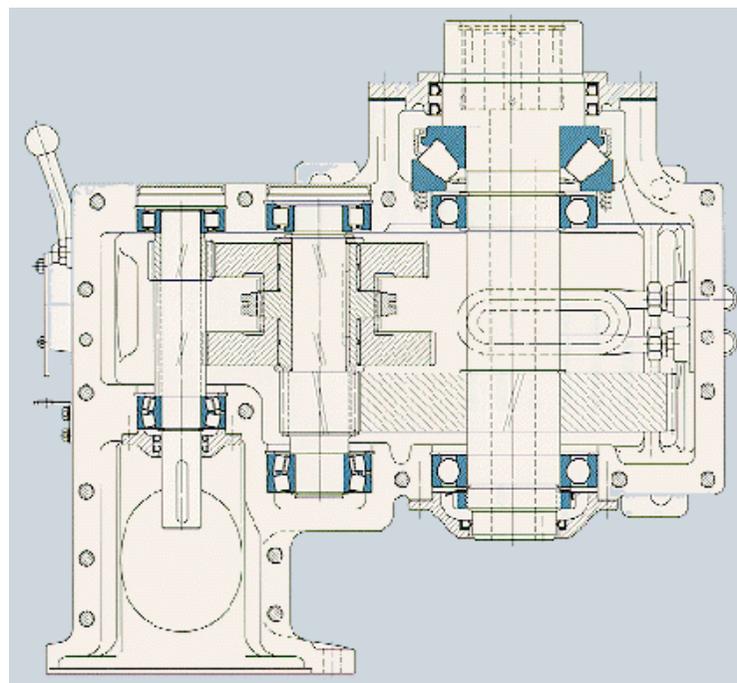
$n_1 = 1400 \text{ rpm}$ ($k = 2.5$)

$n_2 = 750 \text{ rpm}$ ($k = 1.2$)

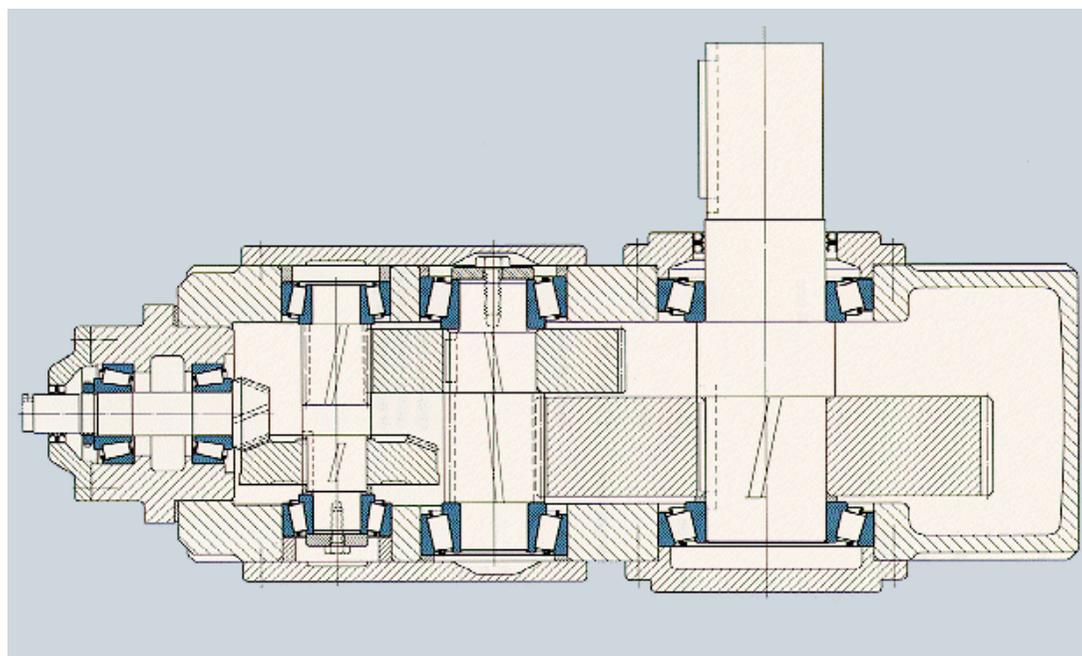
$n_3 = 375 \text{ rpm}$ ($k = 0.8$)

$n_4 = 95 \text{ rpm}$ ($k = 0.3$)

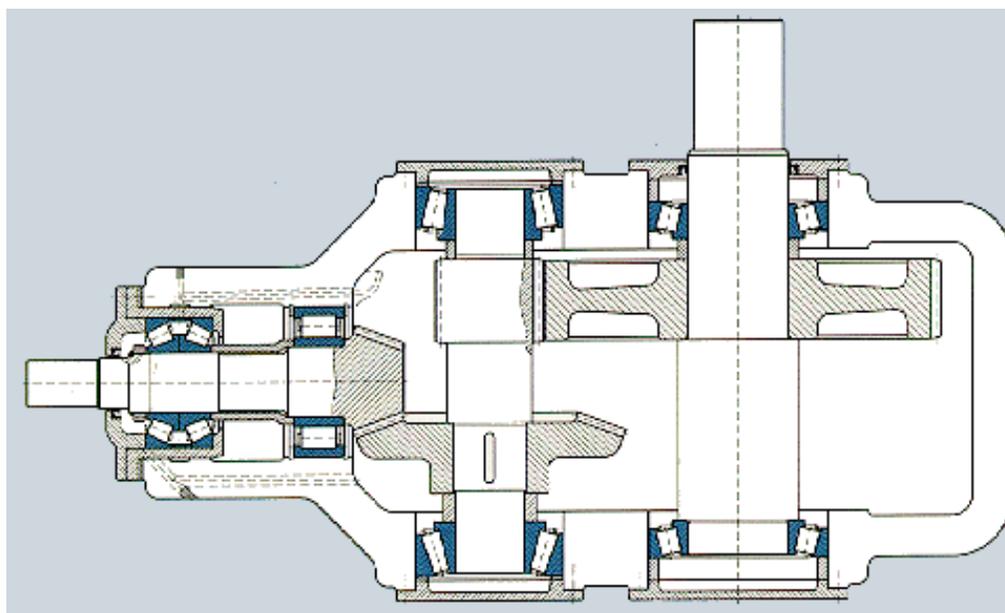
Riduttore ad assi paralleli



Riduttori ortogonali



Riduttore ortogonale



SKF®