



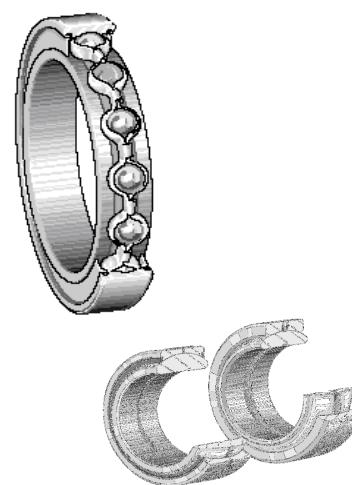
Introduzione ai cuscinetti volventi



→
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



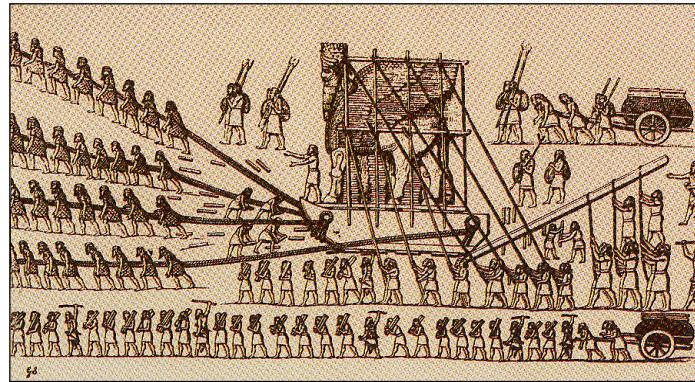
Si definiscono **cuscinetti** tutti gli organi meccanici aventi la funzione sia di sopportare i carichi applicati ad un corpo in moto relativo di rotazione oppure di traslazione da parte degli elementi della catena cinematica cui il corpo appartiene, sia la proprietà di originare coppie resistenti di piccola intensità.



SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



ca. 700 AC



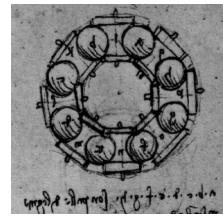
Pag. 3

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Storia della tecnologia dei cuscinetti



Leonardo da Vinci (1452 - 1519) .



Pag. 4

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Produzione di sfere in pietra, 1683



Pag. 5

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Pag. 6

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

La storia della tecnologia dei cuscinetti



La FAG Kugelfischer Georg Schäfer AG
è il più antico produttore di cuscinetti a sfere al mondo,
il pioniere dell'industria dei cuscinetti volventi.



Friedrich Fischer
(1849-1899)

Fondatore della Società ed inventore del processo di rettifica delle sfere che ha permesso la produzione in serie di sfere in acciaio di alta precisione, di dimensione uniforme. La sua scoperta rivoluzionaria ha rappresentato l'inizio storico dell'industria dei cuscinetti volventi a livello mondiale.



Macchina per rettifica delle sfere progettata da Friedrich Fischer nel 1883.



Georg Schäfer
(1861-1925)

Rilevò 10 anni dopo la morte di Friedrich Fischer la „Erste Automatische Gußstahlkugelfabrik, vormals Friedrich Fischer, AG“. Con grande dedizione personale creò un'impresa industriale famosa a livello internazionale.

Pag. 7

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

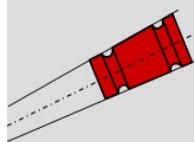
La storia della tecnologia dei cuscinetti



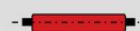
Ball
1883



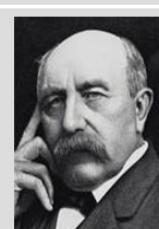
Tapered Roller
1897



Needle Roller
1950
(with cage)



Friedrich Fischer
(1849-1899)



Henry Timken
(1831-1909)



Georg Schaeffler
(1917-1996)

Pag. 8

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

INA-Schaeffler KG

Some figures



Founded in 1946 as „Industrie G.m.b.H.“



INA =
 + **NA** dellager

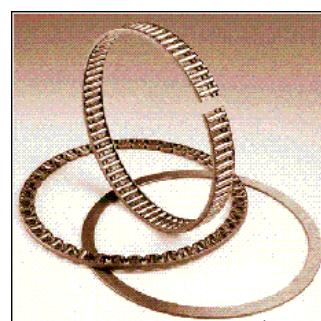
INA-Schaeffler KG

01010

Pag. 9

La storia della tecnologia dei cuscinetti

Prodotti di maggior successo



Gabbia a rullini,
1951



Gabbia a rullini,
2005

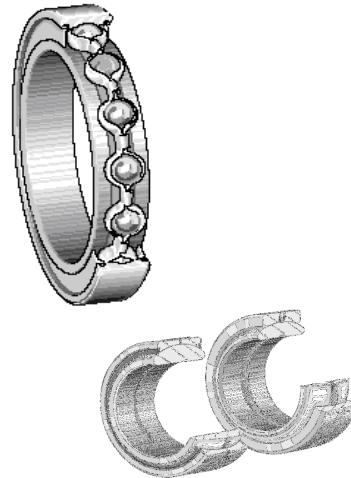
Pag. 10

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Si definiscono **cuscinetti** tutti gli organi meccanici aventi la funzione sia di sopportare i carichi applicati ad un corpo in moto relativo di rotazione oppure di traslazione da parte degli elementi della catena cinematica cui il corpo appartiene, sia la proprietà di originare coppie resistenti di piccola intensità.

I cuscinetti si suddividono in :
 - **cuscinetti a strisciamento (radenti)**
 - **cuscinetti a rotolamento (volventi)**

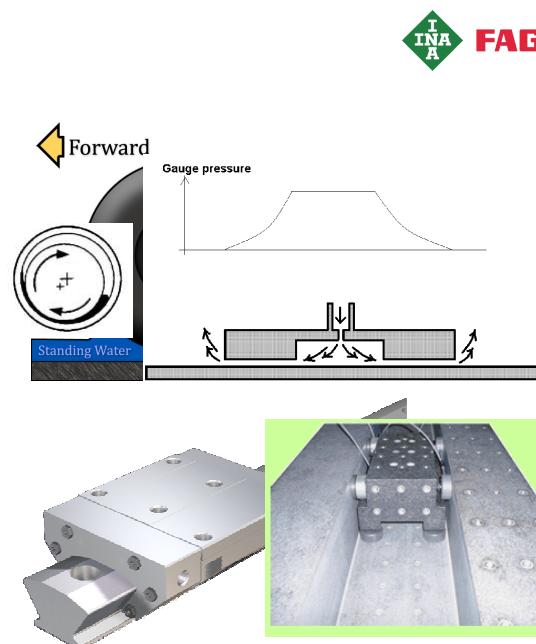


Pag. 14

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Altre tipologie di cuscinetti

- **cuscinetti idrodinamici**
- **cuscinetti idrostatici**
- **cuscinetti pneumatici**
- **cuscinetti magnetici**



Pag. 15

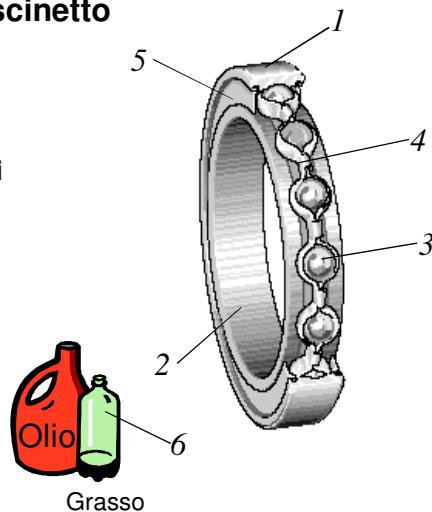
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Composizione di un cuscinetto volvente standard

Il cuscinetto si compone di

1. anello esterno
2. anello interno
3. corpi volventi
4. gabbia
5. con o senza tenute
6. lubrificante

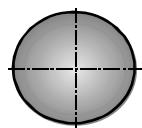


Pag. 16

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Corpi volventi

Panoramica



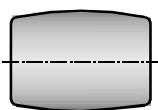
Sfere



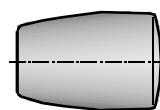
Rulli cilindrici



Rulli conici



Rulli a botte simmetrici



Rulli a botte asimmetrici

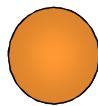


Rullini

Pag. 17

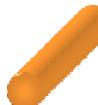
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Corpi volventi



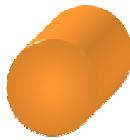
Sfere: es.
elevate velocità,
basso attrito
basso carico
scarsa rigidezza

6020 (100x150x24)
 $n_G = 9500 \text{ min}^{-1}$
 $C = 60 \text{ kN}$
del (10.000N) = 0,0406 mm



Rullini: es.
basse velocità
alti carichi
attrito maggiore
elevata rigidezza

NA4920 (100x140x40)
 $n_G = 4100 \text{ min}^{-1}$
 $C = 144 \text{ kN}$
del (10.000N) = 0,0250 mm



Rulli: es.
velocità intermedie
carichi intermedi
attrito intermedio
rigidezza intermedia

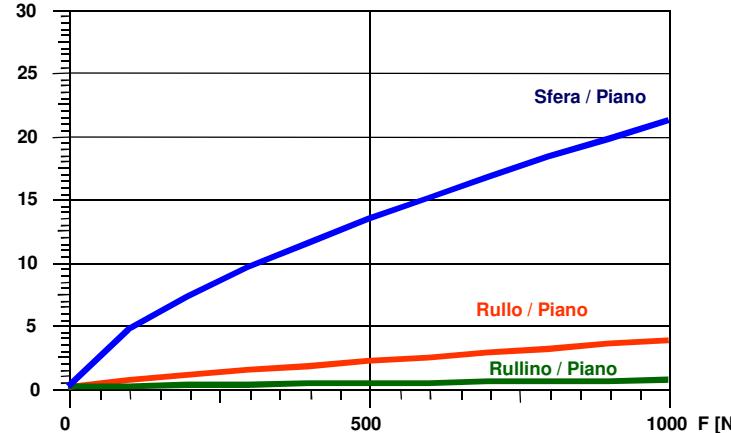
NU 1020 (100x150x24)
 $n_G = 7500 \text{ min}^{-1}$
 $C = 116 \text{ kN}$
del (10.000N) = 0,0343 mm

Pag. 18

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIEGeneralità sui cuscinetti volventi
Rigidezza

Esempio: Sfera 9 mm
Rullo 9 mm $L_w = 9 \text{ mm}$
3 rullini 3 mm $L_w = 9 \text{ mm}$

Del [μm]



Pag. 19

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

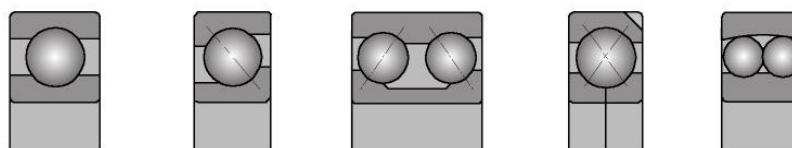


Nozioni di base

Principali tipologie di cuscinetti volventi

← →
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti radiali a sfere Panoramica



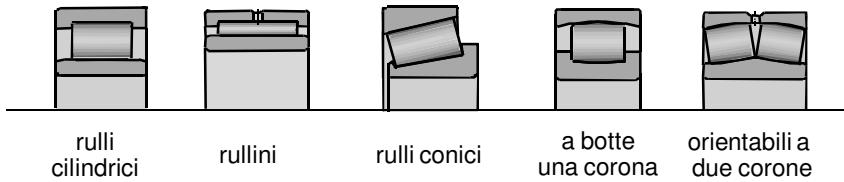
radiali rigidi
a sfere

a sfere a contatto obliquo
monocorona, a due corone

a quattro
punti di
contatto

orientabili

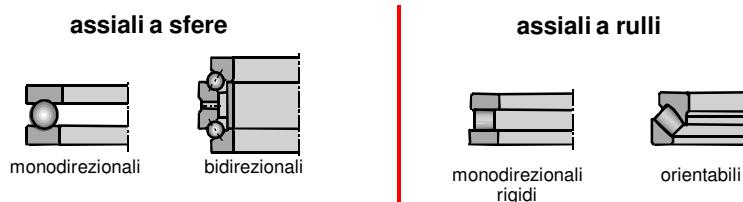
Cuscinetti radiali a rulli
Panoramica



Pag. 22

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti assiali
Panoramica



Pag. 23

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

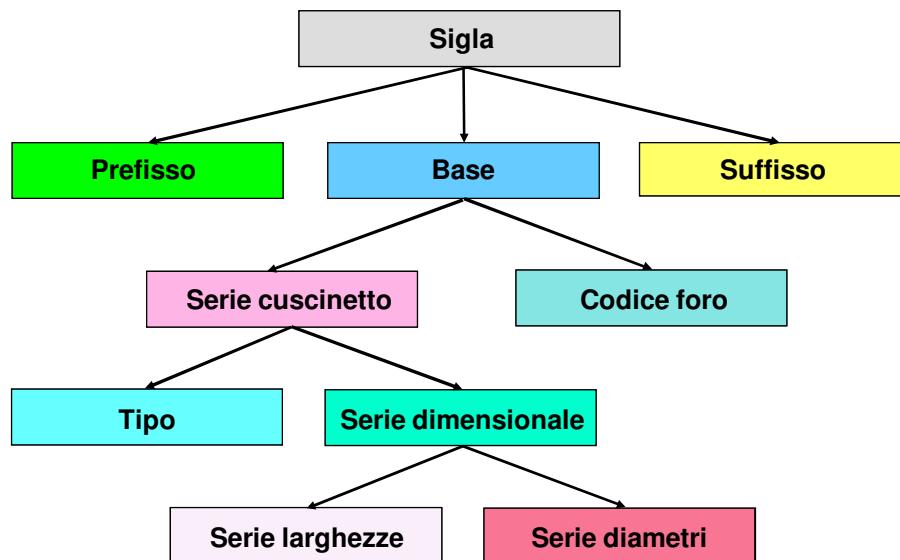


Nozioni di base

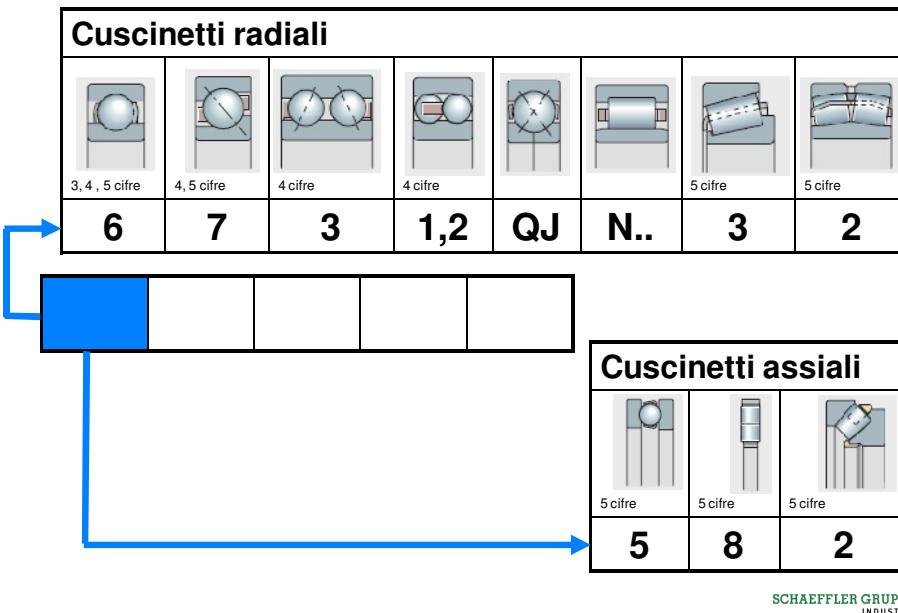
Sigle dei cuscinetti volventi

← →
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

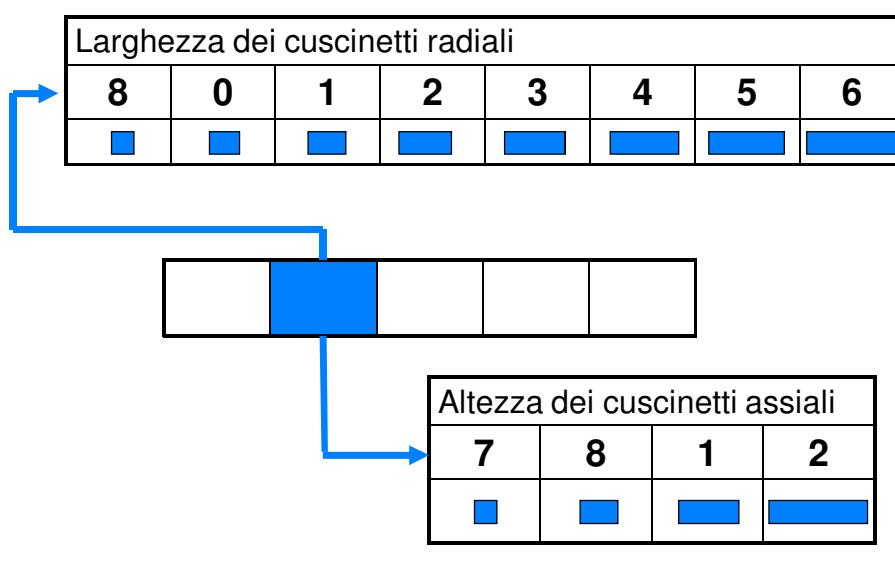
Sigla dei cuscinetti volventi



Sigle standardizzate di cuscinetti volventi
TIPO



Sigle standardizzate di cuscinetti volventi
Serie larghezze



Sigle standardizzate di cuscinetti volventi Serie diametri



Ingombro radiale						
8	9	0	1	2	3	4
						

SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Sigla dei cuscinetti volventi

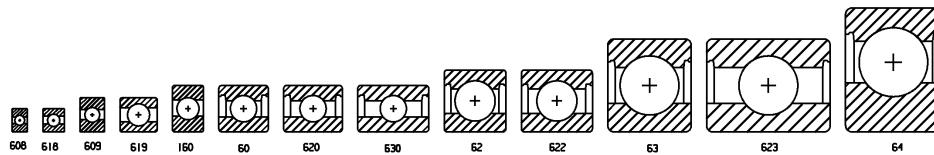


SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Esempio: cuscinetti radiali a sfere

Normativa di riferimento : DIN 616



Pag. 30

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Sigle standardizzate di cuscinetti volventi Diametro effettivo



1 **$d < 10 \text{ mm}$**
e.g. 608 = $\emptyset 8 \text{ mm}$ **da 3 a 9**

2 **$d \geq 10 \text{ a } < 20 \text{ mm}$**
6200 = $\emptyset 10 \text{ mm}$
6201 = $\emptyset 12 \text{ mm}$
6202 = $\emptyset 15 \text{ mm}$
6203 = $\emptyset 17 \text{ mm}$ **da 00 a 03**

3 - x5 **$d \geq 20 \text{ a } 480 \text{ mm}$**
es. 6204 = $\emptyset 20 \text{ mm}$ **da 04 a 96**

4 **$d > 500 \text{ mm}$**
es. 239/500 = $\emptyset 500 \text{ mm}$

5 **$d / ..$**
Eccezioni
es. 320/22X = $\emptyset 22 \text{ mm}$

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Nozioni di base

Distribuzione dei carichi sui corpi volventi

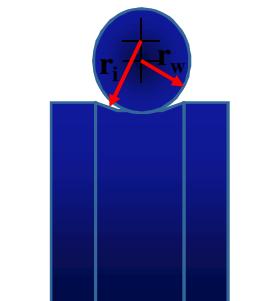
← →
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Generalità sui cuscinetti volventi



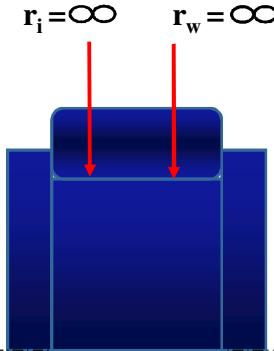
Contatto puntiforme

$$1/r_w > 1/r_i$$

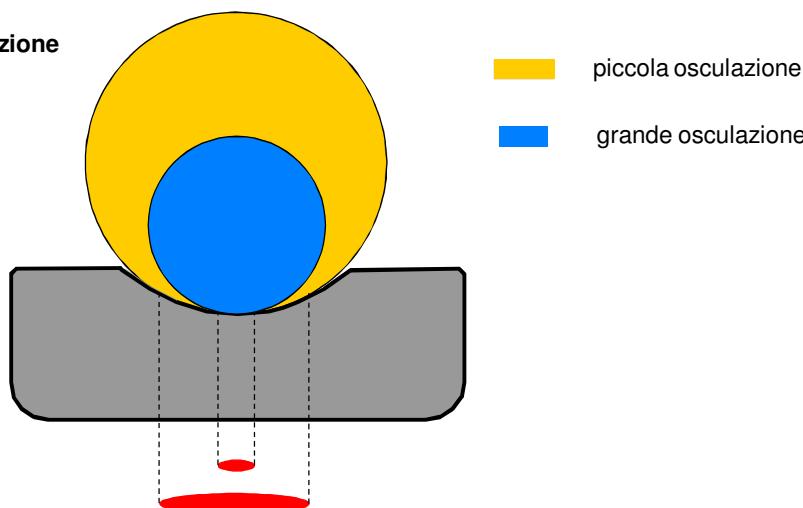


Generalità sui cuscinetti volventi**Contatto lineare**

$$1 / r_w = 1 / r_i$$



Pag. 34

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE**Generalità sui cuscinetti volventi****Osculazione**

Pag. 35

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Osculazione



Che cosa accade se si modifica il valore di osculazione?



<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del gioco assiale • Maggiore ribaltamento consentito • Cattiva guida dell'albero • Riduzione coefficienti di carico • Riduzione dell'attrito • Incremento pressione hertziana • Rumorosità praticamente invariata • Aumento carico assiale dovuto al maggiore supporto dell'ellisse di contatto • Maggiore sensibilità alla tensione elettrica eccessiva 	<p>Rispetto allo standard</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuzione del gioco assiale • Minore ribaltamento consentito • Buona guida dell'albero • Incremento coefficienti di carico • Incremento dell'attrito • Diminuzione pressione hertziana • Aumento rumorosità (frequenza più alta) • Riduzione carico assiale dovuto al minore supporto dell'ellisse di contatto • Minore sensibilità alla tensione elettrica eccessiva
---	-------------------------------	---

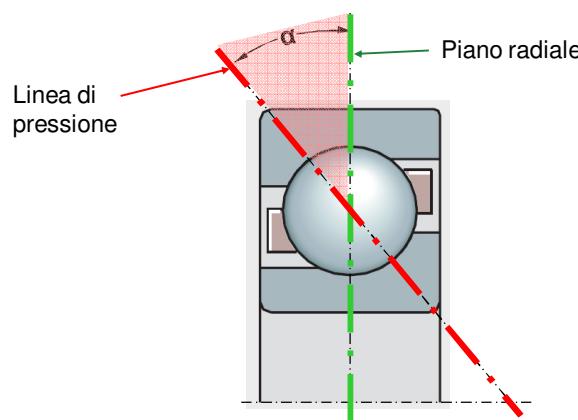
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Generalità sui cuscinetti volventi

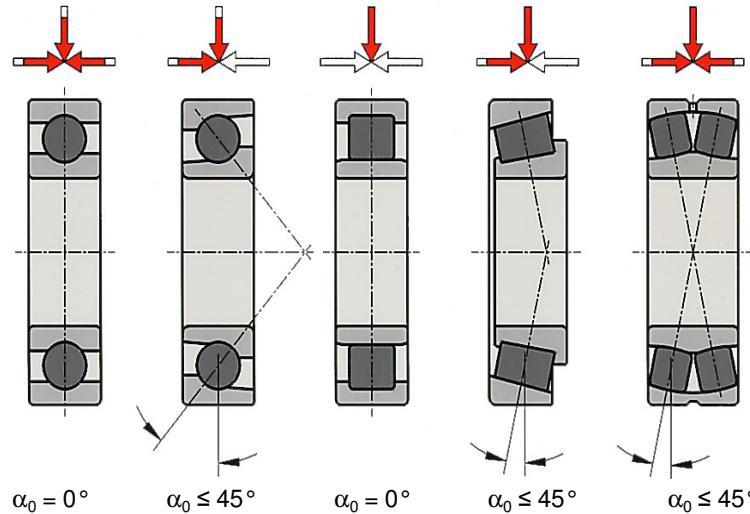
Angolo di pressione



Angolo di pressione α = angolo tra il piano radiale e la linea di pressione



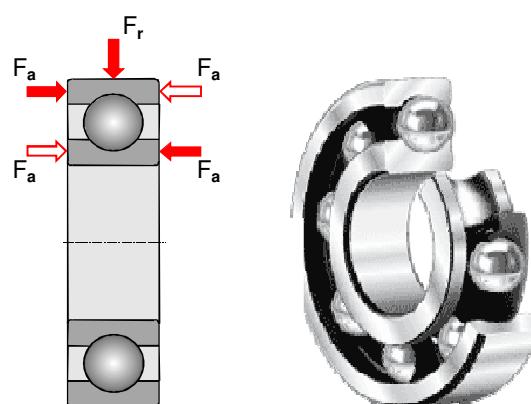
Carichi sopportabili dai cuscinetti radiali



Pag. 38

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti radiali rigidi a sfere



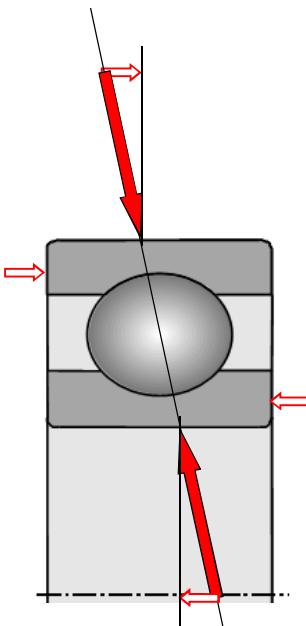
Pag. 39

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti radiali rigidi a sfere



Per effetto dello sfavorevole angolo di pressione, una piccola forza assiale fa nascere una grande forza risultante



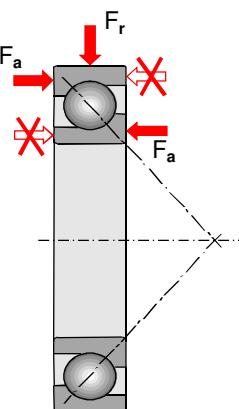
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 40

Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo



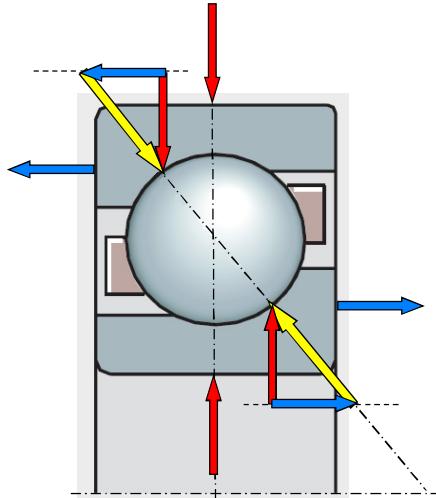
angolo di pressione 40°



Pag. 41

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo
Effetto di un carico radiale

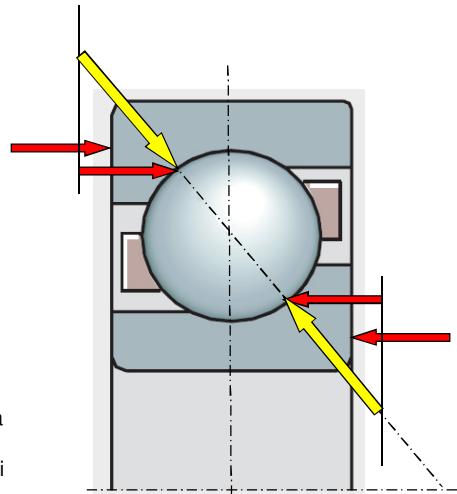


L'angolo di pressione fa sì
che un carico radiale generi
un carico assiale sull'albero

Pag. 42

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo
Effetto di un carico assiale

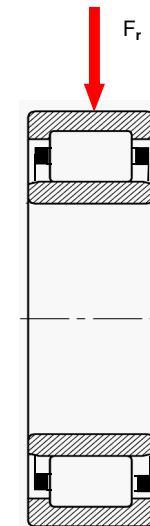
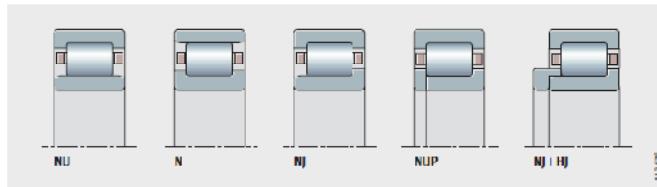


L'angolo di pressione fa sì
che un carico assiale possa
essere sopportato senza
generare eccessive tensioni

Pag. 43

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

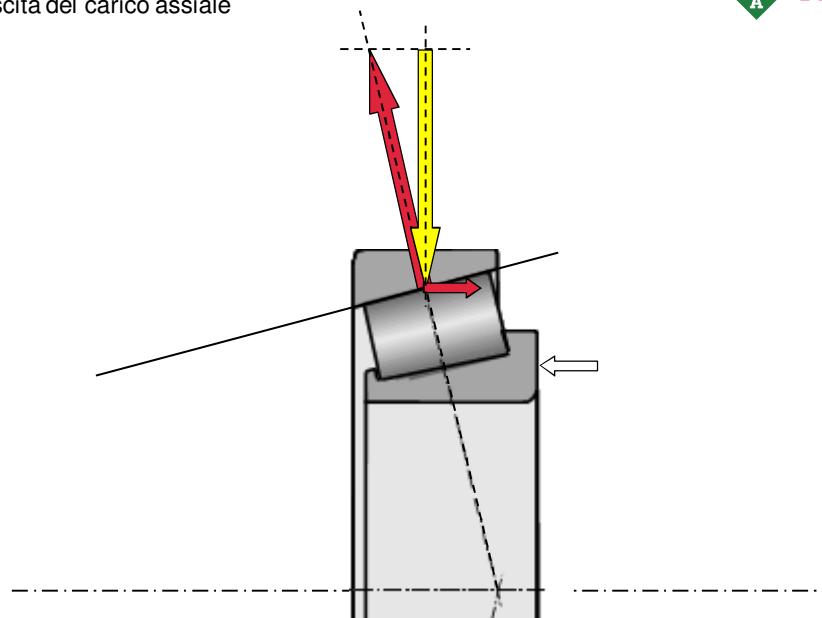
Cuscinetti radiali a rulli cilindrici
Esecuzioni con gabbia



Pag. 44

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

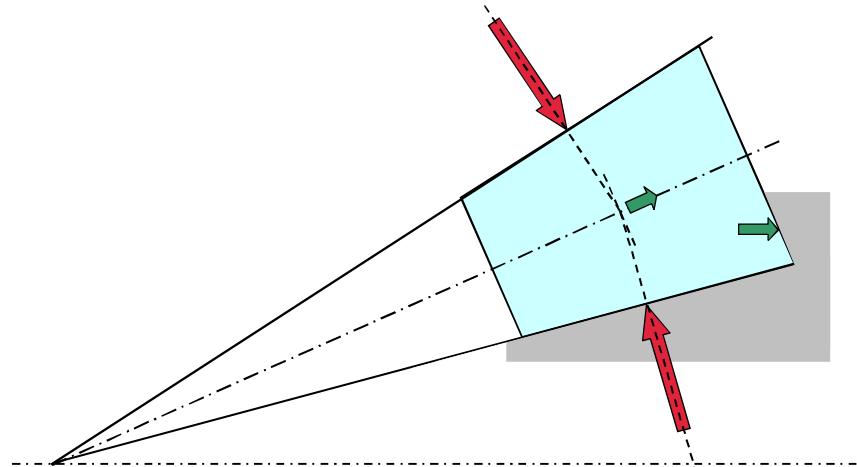
Cuscinetti a rulli conici
Nascita del carico assiale



Pag. 45

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

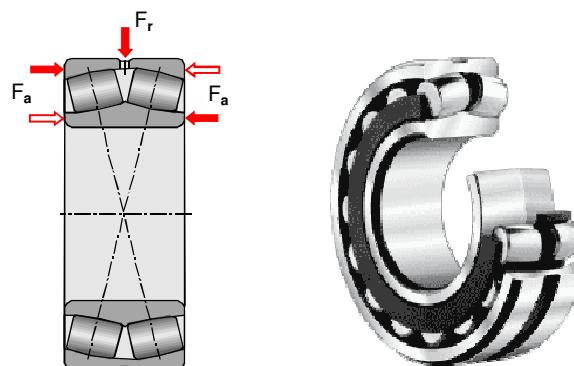
Cuscinetti a rulli conici
Carico assiale sul bordino



Pag. 46

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

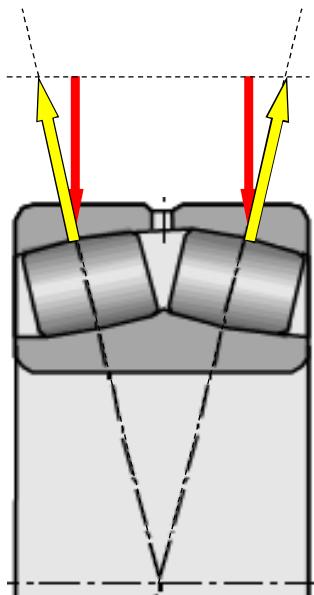
Cuscinetti orientabili a rulli
Caratteristiche

Design
-E1

Pag. 47

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti orientabili a rulli
Effetto di un carico radiale

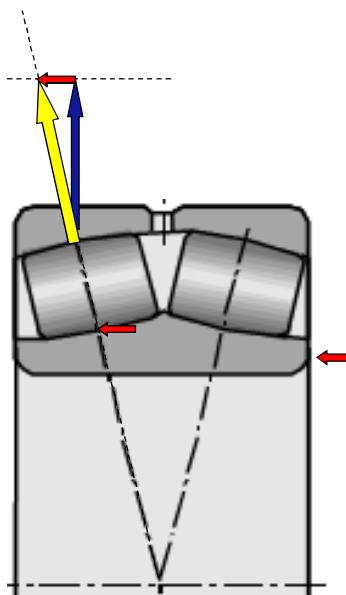


Per effetto dell'angolo di pressione, il carico radiale genera un leggero sovraccarico sui rulli

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 48

Cuscinetti orientabili a rulli
Effetto di un carico assiale

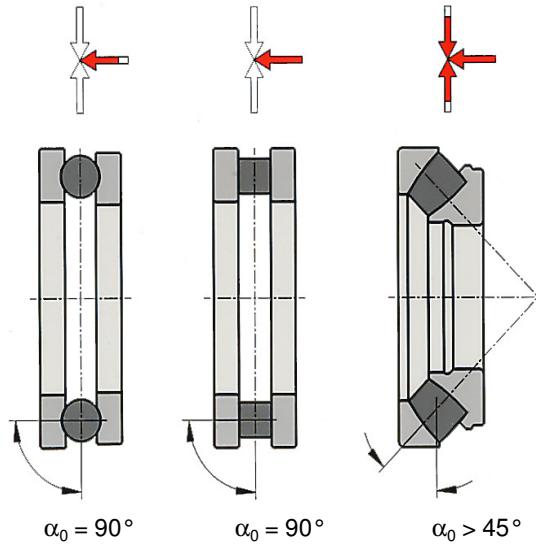


Per effetto dell'angolo di pressione, un leggero carico assiale genera un forte sovraccarico sui rulli

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 49

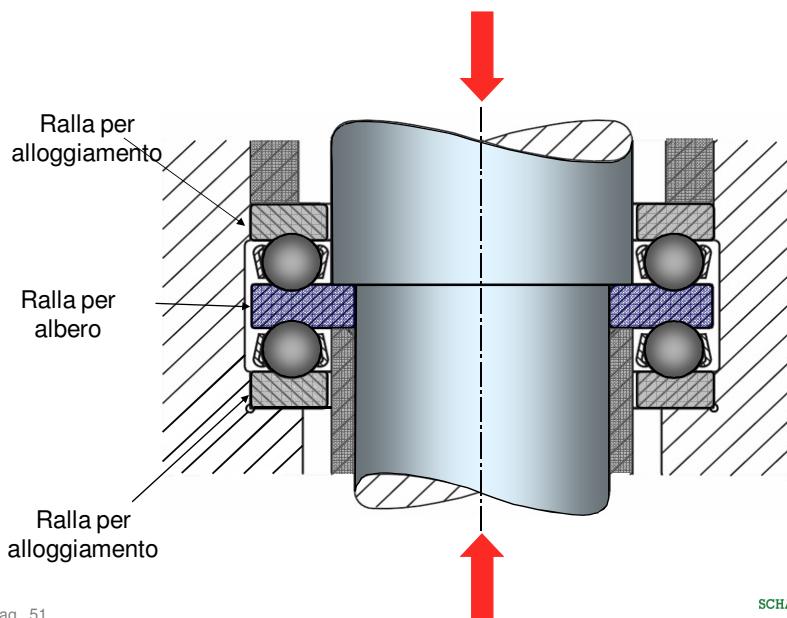
Carichi sopportabili dai cuscinetti assiali



Pag. 50

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Cuscinetti assiali a sfere A doppio effetto



Pag. 51

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

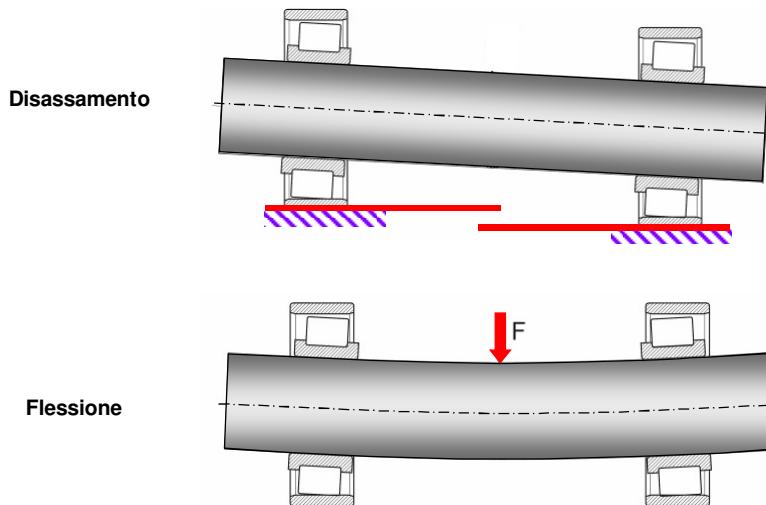


Compensazione di errori angolari



↔
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

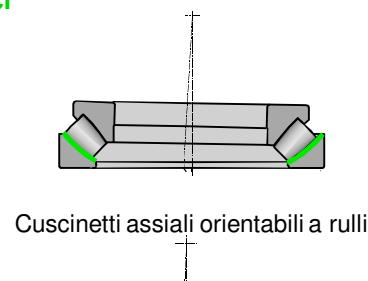
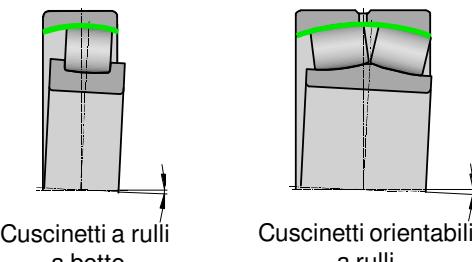
Caratteristiche dei cuscinetti volventi Disassamento



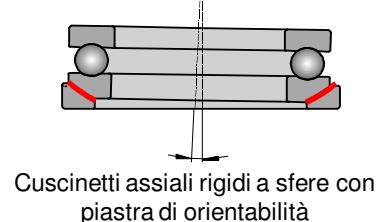
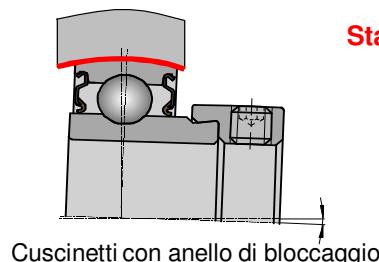
Caratteristiche dei cuscinetti volventi
Cuscinetti volventi orientabili



Dinamici



Statici



Pag. 54

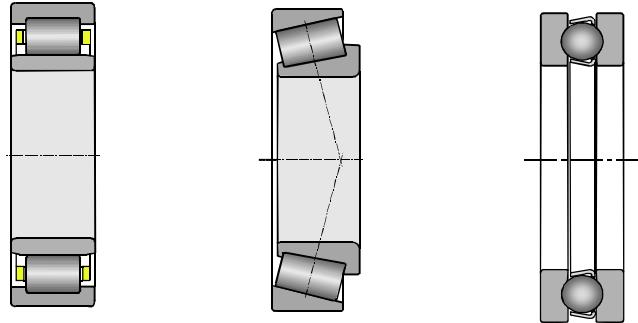
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Scomponibilità



← →
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

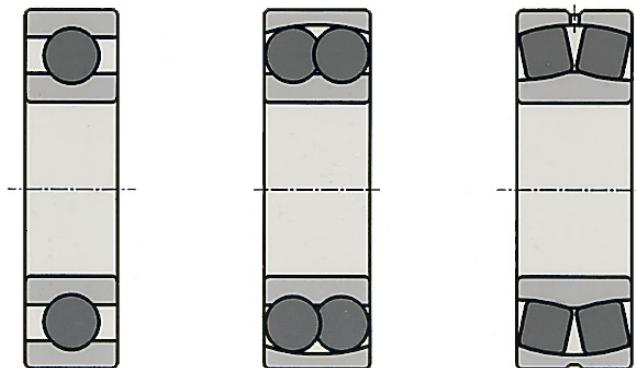
Caratteristiche dei cuscinetti volventi
Cuscinetti volventi scomponibili



Pag. 56

SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Caratteristiche dei cuscinetti volventi
Cuscinetti volventi non scomponibili



Pag. 57

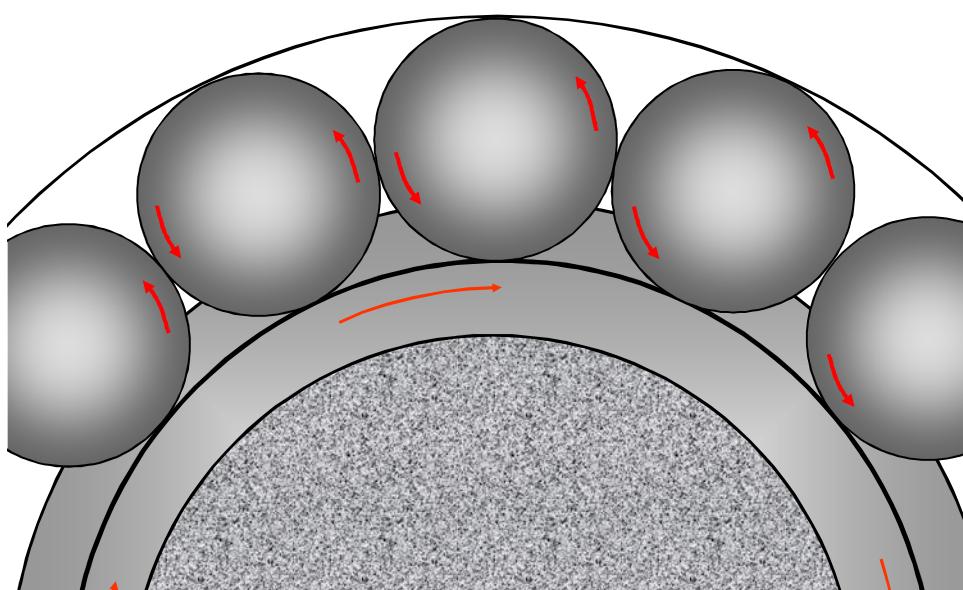
SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



↔↔
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Generalità sui cuscinetti volventi

Pieno riempimenti di sfere - Attriti

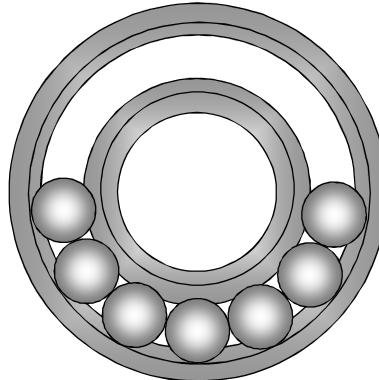


Caratteristiche dei cuscinetti volventi
Gabbia dei cuscinetti volventi



Quali sono le funzioni della gabbia?

1. Separa i corpi volventi gli uni dagli altri
2. Mantiene i corpi volventi alla medesima distanza gli uni dagli altri
3. Nei cuscinetti i cui singoli componenti possono essere separati o allontanati gli uni dagli altri, previene un'eventuale fuoriuscita dei corpi volventi



SCHAFFLER GRUPPE
 INDUSTRIE

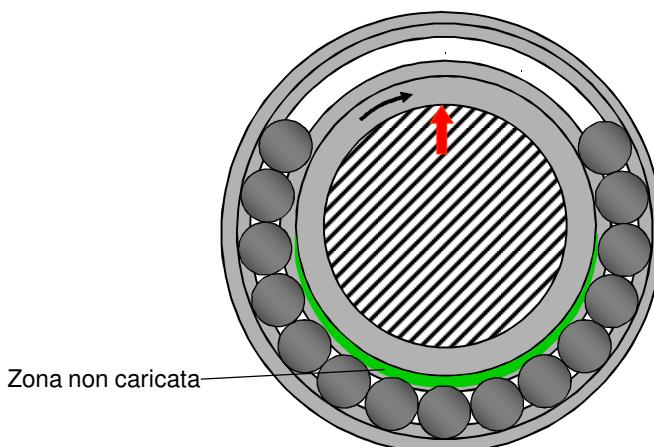
Pag. 60

Caratteristiche dei cuscinetti volventi
Gabbia dei cuscinetti volventi



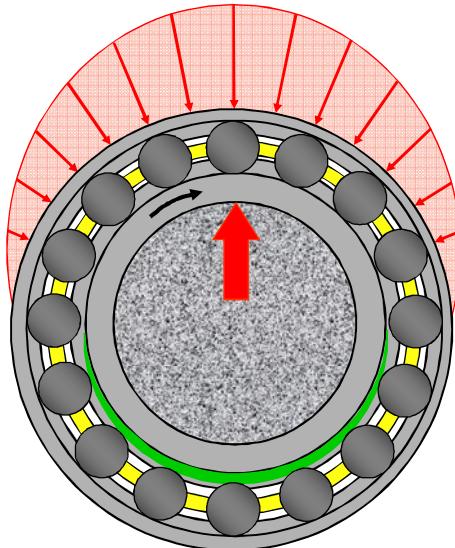
Quali altre funzioni ha la gabbia?

4. Guida i corpi volventi al di fuori della zona non caricata del cuscinetto



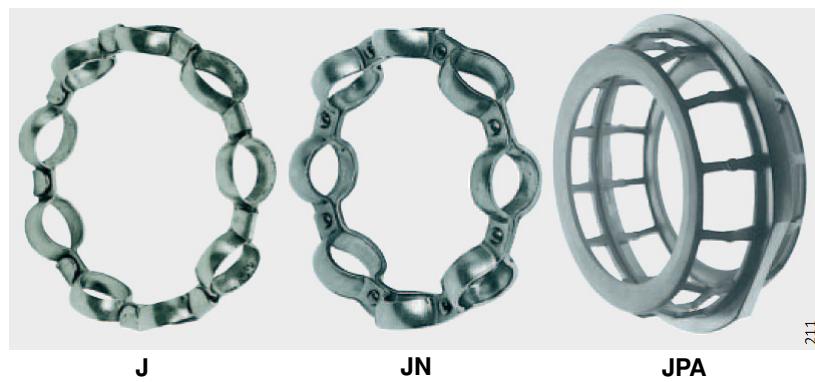
SCHAFFLER GRUPPE
 INDUSTRIE

Caratteristiche dei cuscinetti volventi
Gabbia dei cuscinetti volventi

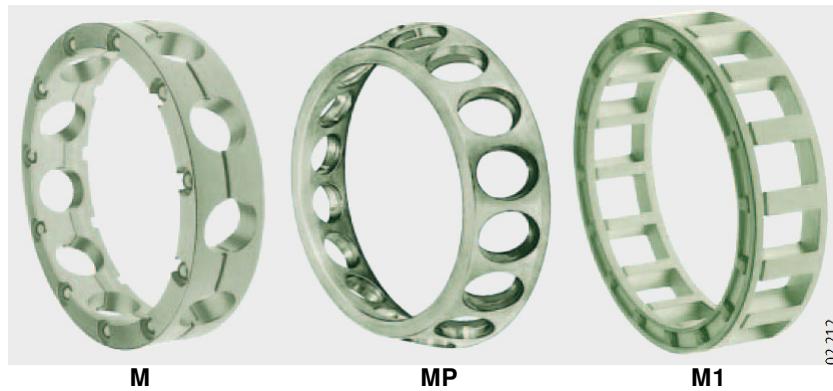


SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Generalità sui cuscinetti volventi
Gabbia in lamiera



Generalità sui cuscinetti volventi
Gabbia massiccia in ottone



Pag. 64

SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

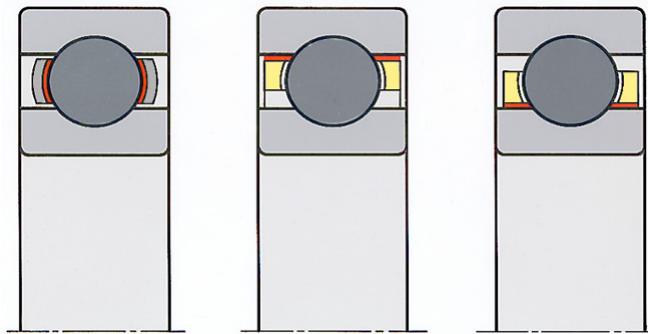
Generalità sui cuscinetti volventi
Gabbie massicce in plastica



Pag. 65

SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Generalità sui cuscinetti volventi
Gabbia



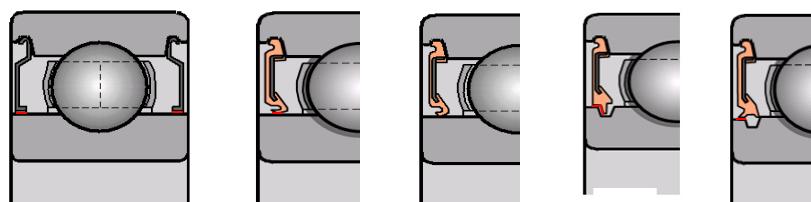
Guida sui corpi volventi

Guida sull'anello esterno
Suffisso AGuida sull'anello interno
Suffisso B

Pag. 66

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Tenute



Z opp. 2Z

RSD

RSR

BRS

URS

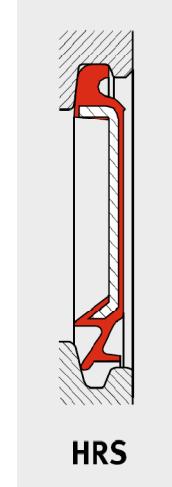
Z	schermo	senza contatto	- lamiera d'acciaio
RSD	anello di tenuta	senza contatto	- NBR con armatura
RS / RSR	anello di tenuta	a contatto	- NBR con armatura
BRS	tenuta a labirinto	senza contatto	- NBR con armatura
URS	tenuta a labbro	a contatto	- NBR con armatura

Pag. 67

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Tenuta HRS**Caratteristiche tecniche:**

- Tenuta HRS innovativa con una geometria del labbro di nuovo design
- Contatto assiale tra anello interno e labbro di tenuta
- Scanalature di ventilazione
- Protezione per uscita grasso e ingresso impurità

**HRS**

Pag. 68

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE**Nozioni di base****Precisione**

 SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Precisione Suffissi



Classi di tolleranza

Nessun suffisso	classe di tolleranza PN “Normale” (prima P0)
P6	precisione superiore a PN
P5	precisione superiore a P6
P4	precisione superiore a P5
P4S	tolleranze di forma e dimensione secondo P4, tolleranze di rotazione secondo P2
P2	precisione superiore a P4

Pag. 70

SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Precisione



Sigle di misura e simboli di tolleranza	Caratteristica con tolleranza secondo DIN 1.132 e DIN 520
d	Diametro nominale del foro
Δ_{dmp}	Spostamento del diametro nominale del foro in un singolo piano
Δ_{dmp}	Spostamento del diametro medio grande per fori conici
V_{dmp}	Variazione di un singolo diametro del foro in un piano singolo
V_{dmp}	Variazione del diametro medio del foro
D	Diametro nominale del manicotto esterno
Δ_{Dmp}	Spostamento del diametro medio del manicotto in un piano singolo
V_{Dmp}	Variazione di un singolo diametro del manicotto in un piano singolo
V_{Dmp}	Variazione del diametro medio del manicotto esterno
C	Larghezza nominale dell'anello interno
Δ_{B5}	Spostamento in una singola misura della larghezza dell'anello interno
V_{B5}	Variazione della larghezza dell'anello interno
C	Larghezza nominale dell'anello esterno
Δ_{E5}	Spostamento di una singola misura della larghezza dell'anello esterno
V_{C5}	Variazione della larghezza dell'anello esterno
K_{d5}	Eccentricità di rotazione radiale dell'anello interno nel cuscinetto asssemblato
K_{e5}	Eccentricità di rotazione radiale dell'anello esterno nel cuscinetto asssemblato
S_d	Differe di quadratura delle facce frontali rispetto al foro
S_d	Variazione dell'inclinazione della linea del manicotto esterno rispetto alla superficie laterale
S_{d5}	Eccentricità di rotazione radiale dell'anello interno nel cuscinetto asssemblato
S_{e5}	Eccentricità di rotazione radiale dell'anello esterno nel cuscinetto asssemblato
S_l	Variazione dello spessore di una ralla per albero
S_{l5}	Variazione dello spessore di una ralla per albero
T	Altezza nominale di un cuscinetto assiale a servizio effettivo

Pag. 71

SCHAEFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Precisione

Cuscinetti radiali



Cuscinetto : 6006 – tolleranza foro ?

Cuscinetto 6006 P5 – tolleranza foro ?

Classe di tolleranza PN anello interno toleranze in μm		Δ_{dmp} Scostamento	V_{dmp} Serie dei diametri			V_{dmp}	K_{ia}
d mm	oltre 0,6 ¹⁾		0	0,1	2,3,4		
oltre 0,6 ¹⁾	2,5	0	-8			max.	max.
2,5	10	0	-8			8	6
10	18	0	-8			6	6
18	30	0	-10			8	10
30	50	13	10	8	8	13	10

Classe di tolleranza P5 anello interno toleranze in μm		Δ_{dmp} Scostamento	V_{dmp} Serie dei diametri			V_{dmp}	K_{ia}	S_d
d mm	oltre 0,6 ¹⁾		superiore	inferiore	max.			
oltre 0,6 ¹⁾	2,5	0	-5			5	4	3
2,5	10	0	-5			5	4	3
10	18	0	-5			5	4	3
18	30	0	-6			6	5	4
30	50	8	6	5	8	8	6	5

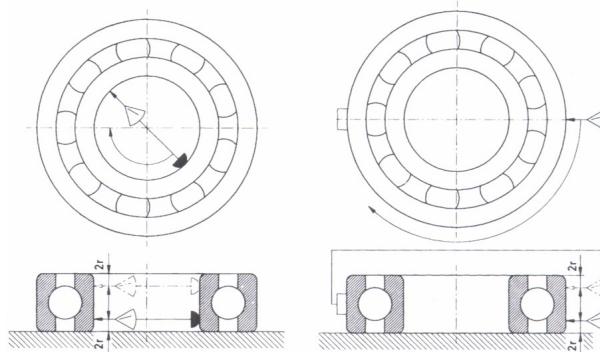
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 72

Precisione



$d_{\text{mp}} / D_{\text{mp}}$
 $V_{\text{dmp}} / V_{\text{Dmp}}$



Misurazione su due punti del diametro del foro d e del diametro esterno D .

Il diametro medio (d_{mp} , D_{mp}) in un piano di misura è calcolato sulla base dei valori massimo e minimo determinati nel piano.

La variazione (V_{dmp} , V_{Dmp} - parallelismo) del diametro medio è la differenza tra il massimo ed il minimo diametro medio ottenuti da misurazioni su vari piani. I piani di misura devono trovarsi ad una distanza minima $2r$ dalla superficie frontale del cuscinetto.

Pag. 73

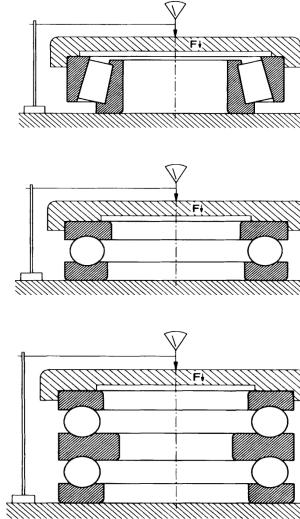
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Precisione



Altezza - T

L'altezza T dei cuscinetti a rulli conici e dei cuscinetti assiali è misurata sull'asse del cuscinetto. Il comparatore è impostato alla quota T tramite cuscinetti campione. I cuscinetti sono caricati con 50 ± 5 N (in aggiunta al peso proprio) e sono fatti ruotare ripetutamente prima della misurazione. I rulli conici devono essere in contatto con il bordo del cono.



SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

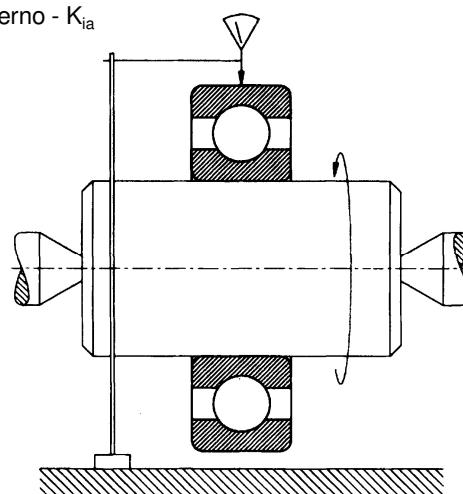
Pag. 74

Precisione



Precisione di rotolamento dell'anello interno - K_{ia}

Precisione di rotolamento K_{ia} del cuscinetto assemblato con anello interno rotante. La differenza tra il valore maggiore e minore misurato è la precisione di rotolamento dell'anello interno K_{ia} .



SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 75



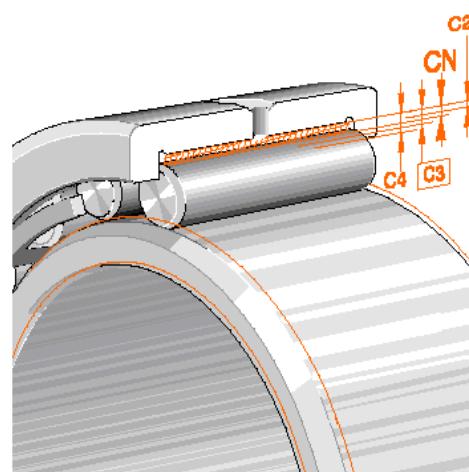
↔↔
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Gioco del cuscinetto

Definizione

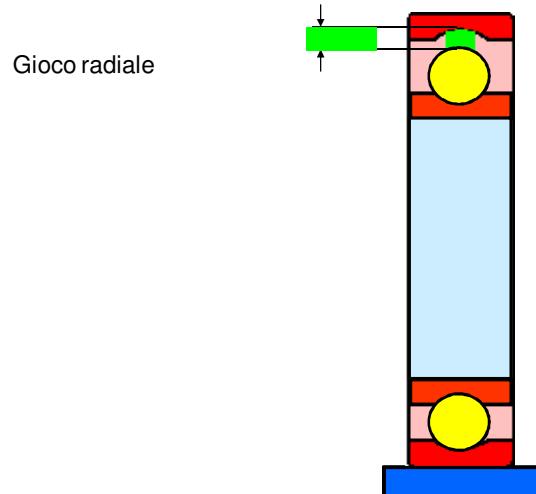


Il **gioco del cuscinetto** – in caso di cuscinetto non montato – è lo spazio entro cui gli anelli del cuscinetto possono essere spostati da un'estremità all'altra in direzione assiale o radiale. Si distingue tra gioco assiale e gioco radiale.



SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

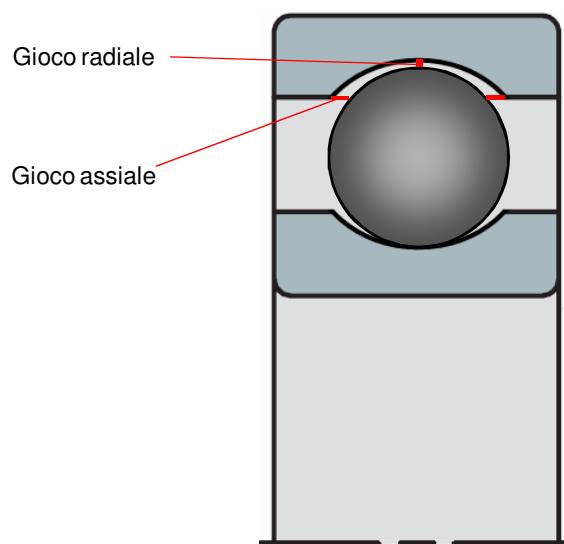
Gioco del cuscinetto
Gioco radiale



Pag. 78

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Gioco radiale / gioco assiale
Relazioni geometriche



Pag. 79

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Gioco del cuscinetto

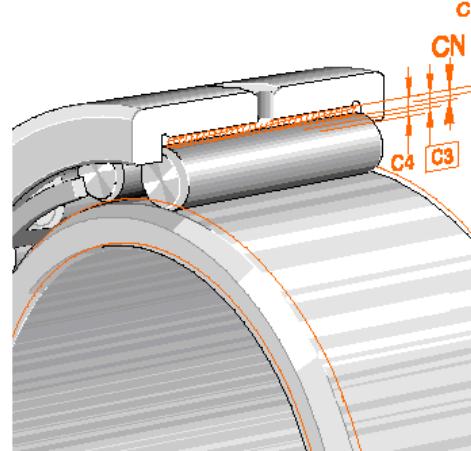
Categorie di giochi radiali



Le categorie di giochi radiali sono stabilite nella DIN 620, sezione 4.

- C1 inferiore a C2
- C2 inferiore al normale
- CN¹ gioco normale, in genere non specificato
- C3 superiore al normale
- C4 superiore a C3

¹⁾ in passato C0



SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 80

Cuscinetti radiali rigidi a sfere

Gioco radiale



Esempio:
6008-C3

Foro
d
mm

Foro d mm	Gioco radiale									
	C2 μm		CN μm		C3 μm		C4 μm			
oltre	fino a	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
2,5	6	0	7	2	13	8	23	—	—	
6	10	0	7	2	13	8	23	14	29	
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	
40	50	1	11	6	23	13	30	30	51	
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	



Pag. 81

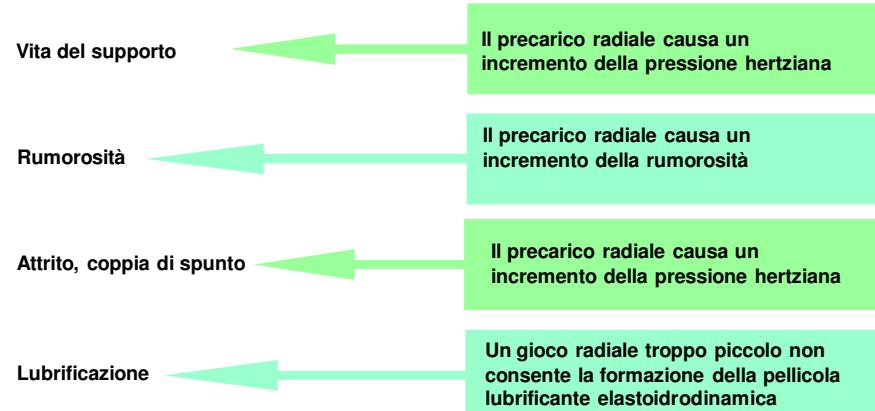
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Gioco radiale / gioco assiale



Gioco radiale e assiale

È importante perchè ha impatto su ...



Un gioco radiale errato è causa di cattive prestazioni

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

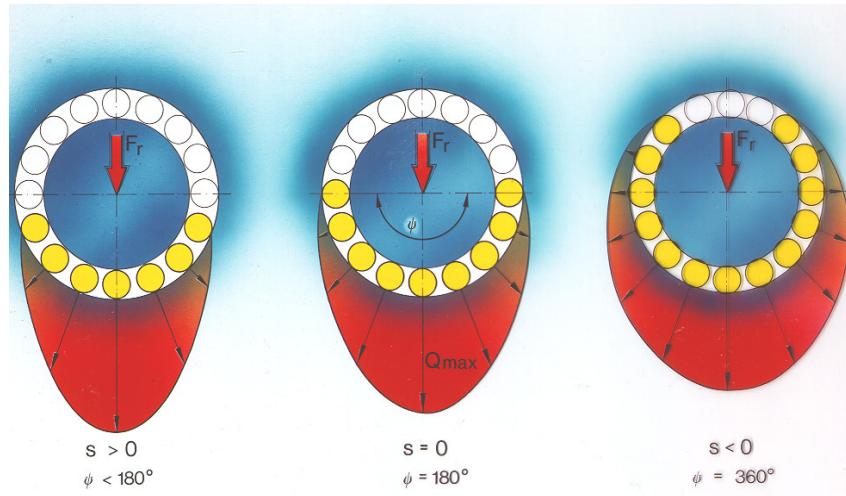
Giochi



Gruppi di gioco radiale	Gruppo	Suffisso	Classificazione	Spettro di applicazione
CN		nessun suffisso	Gioco normale (standard)	Utilizzabile per: ■ condizioni d'esercizio normali per tolleranze albero/alloggiamento come nel "gioco d'esercizio" e "struttura del supporto"
C3			Gioco radiale >CN (Esecuzione speciale)	Utilizzabile per: ■ Accoppiamenti forzati degli anelli del cuscinetto
C4			Gioco >C3	■ Grande differenza di temperatura tra anello interno ed esterno
C5			Gioco >C4	
C2			Gioco radiale <CN	Utilizzabile per: ■ forti variazioni di carico abbinate a movimenti di oscillazione ⚠ Osservare attentamente il cuscinetto, dato che si potrebbero verificare forti riscaldamenti.

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Accoppiamento forzato – influenza sul gioco radiale
Influenza del gioco sulla distribuzione del carico



Cuscinetto a sfere $Q_{\max} = \frac{4,37 \times F_r}{Z}$

Cuscinetto a rulli cilindrici $Q_{\max} = \frac{4,06 \times F_r}{Z}$

Pag. 84

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Nozioni di base

Tolleranze di montaggio



← →
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Condizioni di rotazione

Con "condizione di rotazione" si intende il movimento relativo tra anelli e direzione del carico.

Carico circonferenziale (rotante)

Si ha una condizione di carico circonferenziale quando la direzione del carico è rotante rispetto agli anelli.

Ad ogni giro dell'anello in esame, ogni punto della pista di rotolamento è sottoposto a carico.



L'anello che vede il carico come carico circonferenziale va fissato sulla sede con accoppiamento forzato

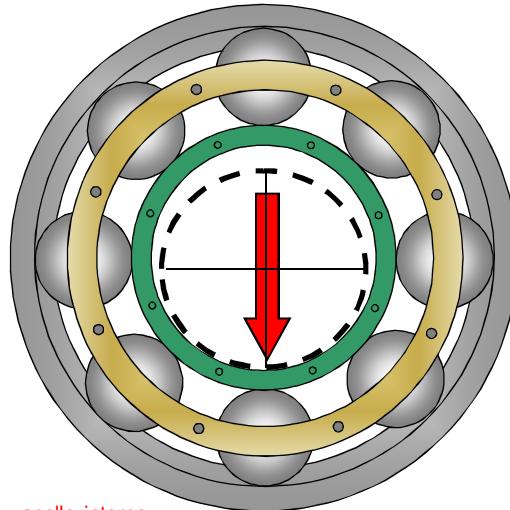
Condizioni di rotazione

Carico puntiforme (fisso)

Si ha una condizione di carico puntiforme quando il carico agisce sempre sulla stessa zona del cuscinetto.

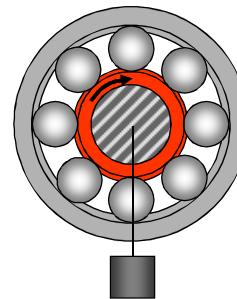
In questo caso è possibile un accoppiamento libero.

Progettazione delle sedi



Carico periferico su anello interno
+ gioco tra albero e anello interno
= rotolamento tra albero e anello

Pag. 89

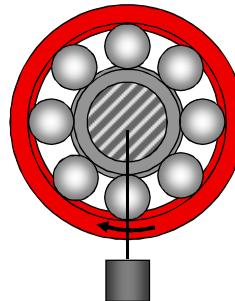
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIETolleranze di montaggio
Progettazione delle sedi

Anello interno	Carico periferico
Anello esterno	Carico puntiforme

Pag. 90

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Tolleranze di montaggio
Progettazione delle sedi

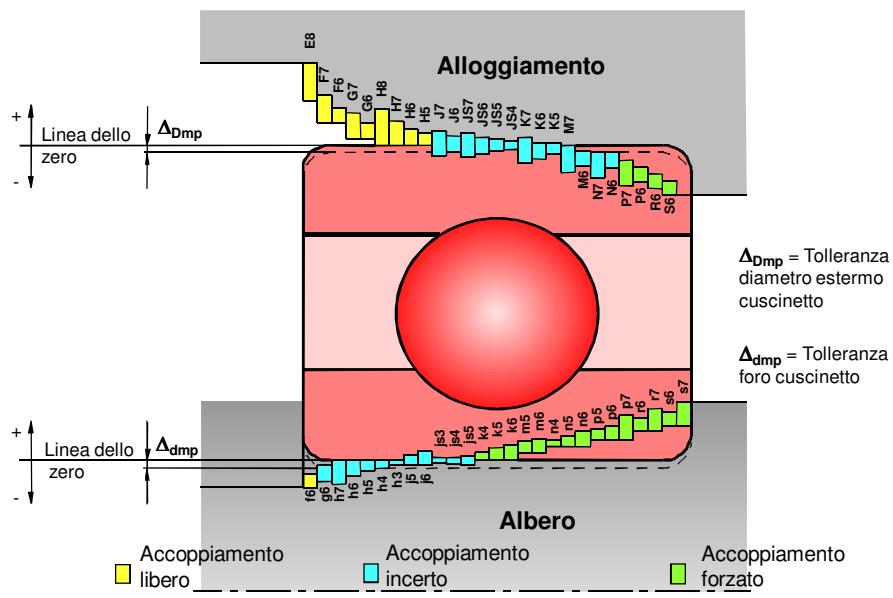


Anello interno Carico puntiforme
Anello esterno Carico periferico

Pag. 91

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Tolleranze di montaggio
Progettazione delle sedi

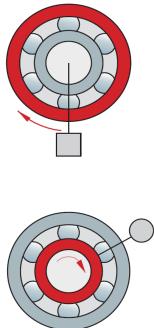
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti



Cuscinetto radiale con foro cilindrico



Carico puntiforme sull'anello interno

Tipo di cuscinetto	Diametro dell'albero mm	Scorrevolezza Carico	Tolleranza
Cuscinetti a sfere, cuscinetti a rulli	Tutte le grandezze	Anello interno facilmente spostabile	g6 (g5)
		Anello interno difficilmente spostabile cuscinetti a sfere, a contatto obliquo e cuscinetti a rulli conici con registrazione	h6 (j6)
Cuscinetti a rullini	Tutte le grandezze	Cuscinetto libero	h6 (g6)¹⁾

Pag. 93

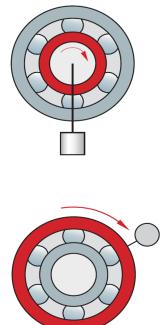
SCHAFFLER GRUPPE INDUSTRIE

Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti



Cuscinetto radiale con foro cilindrico



Carico rotante per l'anello interno o direzione di carico indeterminata	Cuscinetti a sfere	fino 50	Carico normale ²⁾	j6 (j5)
		50 fino a 100	Carico basso ³⁾	j6 (j5)
			Carico norm./elevato ⁴⁾	k6 (k5)
		100 fino a 200	Carico basso ²⁾	k6 (m6)
			Carico norm./elevato ⁵⁾	m6 (m5)
	Cuscinetti a rulli	oltre 200	Carico basso	m6 (m5)
			Carico norm./elevato	n6 (n5)
		fino 60	Carico basso	j6 (j5)
			Carico norm./elevato	k6 (k5)
		60 fino a 200	Carico basso	k6 (k5)
	Cuscinetti a rullini		Carico normale	m6 (m5)
			Carico elevato	n6 (n5)
		200 fino a 500	Carico normale	m6 (n6)
			Carico elevato, urti	p6
		oltre 500	Carico normale	n6 (p6)
			Carico elevato	p6
		fino 50	Carico basso	k6
			Carico norm./elevato	m6
		50 fino a 120	Carico basso	m6
			Carico norm./elevato	n6
		120 fino a 250	Carico basso	n6
			Carico norm./elevato	p6
		250 fino a 400	Carico basso	p6
			Carico norm./elevato	r6
		400 fino a 500	Carico basso	r6
			Carico norm./elevato	s6
		oltre 500	Carico basso	r6
			Carico norm./elevato	s6

Pag. 94

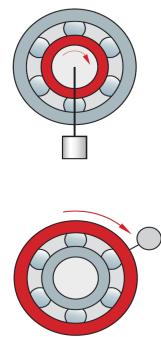
SCHAFFLER GRUPPE INDUSTRIE

Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti



Cuscinetto radiale



Carico puntiforme sull'anello esterno

Spostabilità carico	Condizioni d'esercizio	Tolleranza
Anello esterno facilmente spostabile, supporto monoblocco	La qualità della tolleranza si basa sulla necessaria precisione di rotolamento	H7 (H6) ¹⁾
Anello esterno facilmente spostabile, supporto in due metà		H8 (H7)
Anello esterno difficilmente spostabile, supporto monoblocco	Necessaria una elevata precisione di rotolamento	H6 (J6)
Anello esterno difficilmente spostabile, cuscinetti a sfere a contatto obliqui e cuscinetti a nulli conici con registrazione	Normale precisione di rotolamento	H7 (J7)
Anello esterno facilmente spostabile	Adduzione di calore dall'albero	G7 ²⁾

Pag. 95

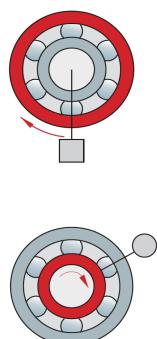
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti



Cuscinetto radiale



Carico orario per l'anello esterno o direzione di carico indeterminata



Carico ridotto, anello esterno non spostabile

Carico normale, urti, anello esterno non spostabile

Carico elevato, urti ($L/P < 6$), anello esterno non spostabile

Carico elevato, forti urti, allacciamento a parete sottile, anello esterno non spostabile

Per elevate esigenze di precisione d'esercizio K6, M6, N6 e P6

M7 (M6)

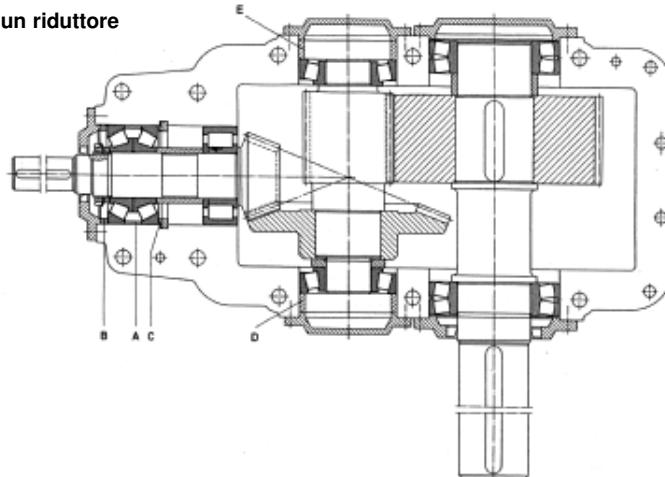
N7 (N6)

P7 (P6)

Pag. 96

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Schema di un riduttore



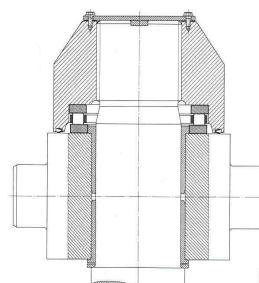
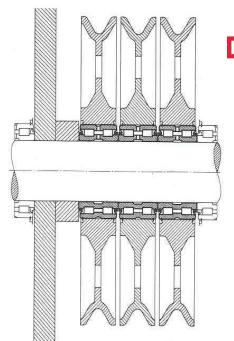
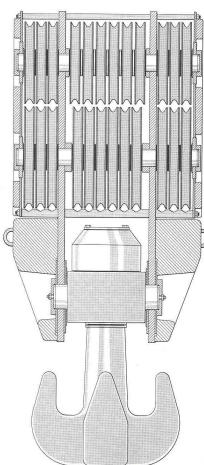
	cuscinetti	n [rpm]	P[kN]	
ingresso	31315-N11CA	1000	37.3	
ingresso	NUP 2315 E	1000	40.7	
intermedio	30320	396	56.2 / 40.52	
uscita	23028	160	73.9	

Pag. 97

Tolleranze di montaggio ?

albero : k5 – m6

alloggiamento : H6 – H7

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Tolleranze di montaggio cuscinetto assiale e radiale ?

Cuscinetto assiale

albero in h8
alloggiamento in H9

Cuscinetto radiale

libero su albero. es h6
forzato su alloggiamento. es M7

Pag. 98

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Fretting corrosion



• Sintomi

- Macchie nere/marroni sulle sedi
- Usura sulle sedi
- Rumorosità
- Possibili rotture a fatica

• Cause

- Micro-movimenti tra le parti a contatto nei casi di accoppiamento non forzato
- Inflessioni di albero o alloggiamento
- Errori di forma delle sedi

• Rimedi

- Rispetto delle tolleranze prescritte
- Ricoprire le sedi con lubrificanti adatti



Pag. 99

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

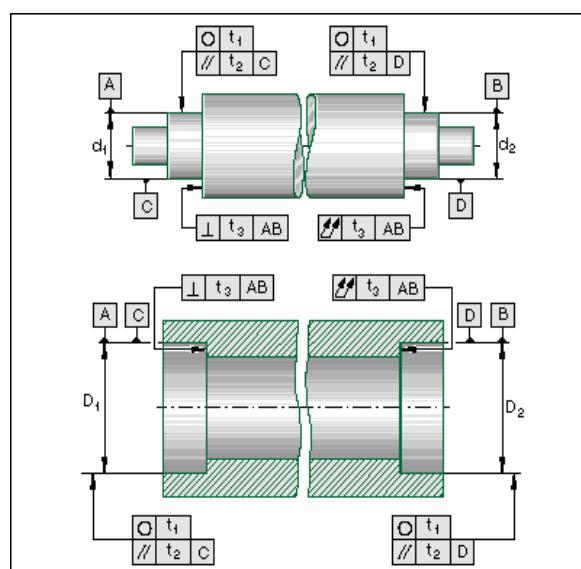
Progettazione delle sedi Tolleranze di forma delle sedi



La precisione del punto di supporto è influenzata da :

- la precisione della struttura circostante
- la precisione delle sedi del cuscinetto
- il gioco in esercizio
- la precisione del cuscinetto

La precisione delle sedi è funzione della classe di precisione del cuscinetto.



Pag. 100

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Progettazione delle sedi
Tolleranze di forma delle sedi

Tolleranze di forma e di posizione
delle superfici d'appoggio dei
cuscinetti

Superficie d'appoggio del cuscinetto	Tolleranza su diametro	Tolleranza di rotondità	Tolleranza di parallellismo		Tolleranza di planarità dello spallamento t3
			t1	t2	
Classe di tolleranza dei cuscinetti PN					
Albero	IT 6 (IT 5)	Carico periferico IT 4/2	IT 4	IT 4	
		Carico puniforme IT 5/2	IT 5		
Supporti	IT 7 (IT 6)	Carico periferico IT 5/2	IT 5	IT 5	
		Carico puniforme IT 6/2	IT 6		
Classe di tolleranza dei cuscinetti P5					
Albero	IT 5	Carico periferico IT 2/2	IT 2	IT 2	
		Carico puniforme IT 3/2	IT 3		
Supporti	IT 6	Carico periferico IT 3/2	IT 3	IT 3	
		Carico puniforme IT 4/2	IT 4		



Pag. 101

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Nozioni di base

Configurazione del sistema di supporto

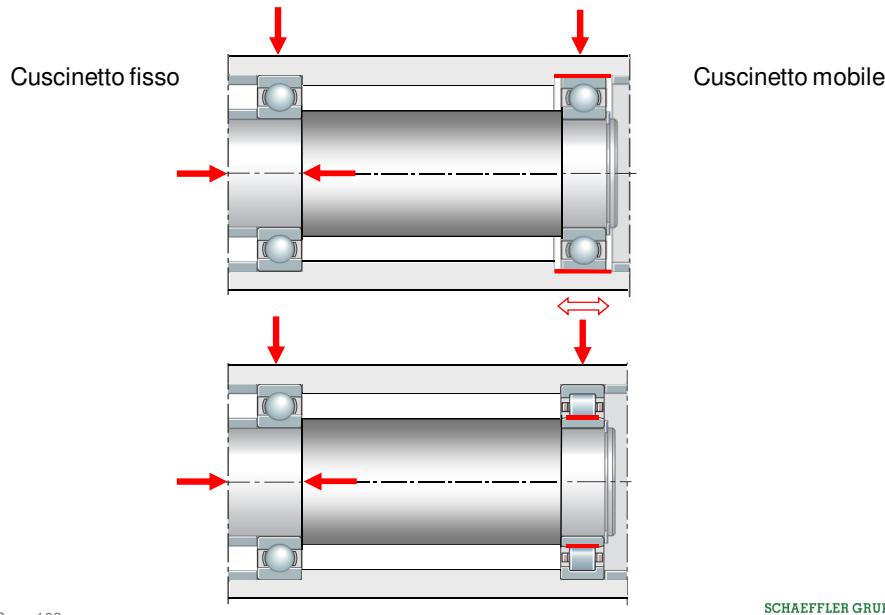
Cuscinetto fisso – mobile

Cuscinetti flottanti

Cuscinetti registrabili



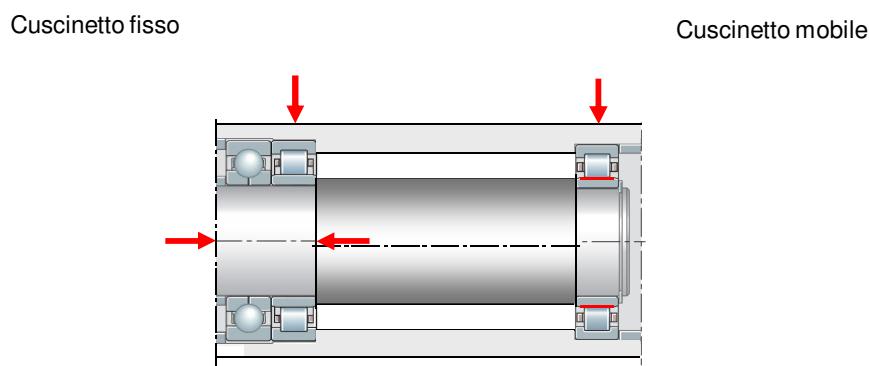
Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Pag. 103

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



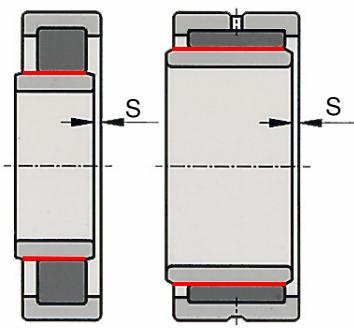
Pag. 104

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

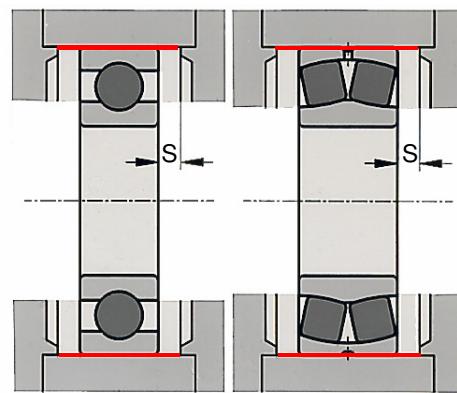
Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Movimento assiale
entro il cuscinetto



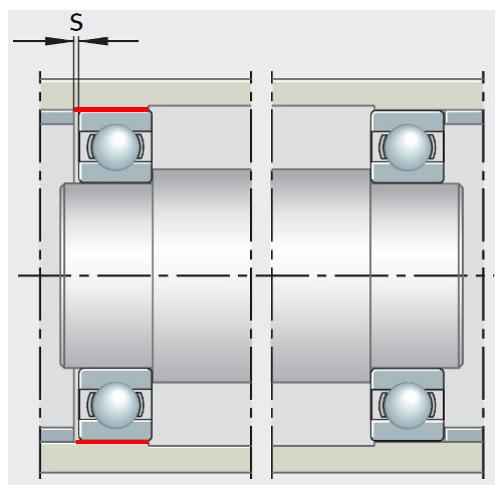
Movimento assiale tra
cuscinetto e alloggiamento



Pag. 105

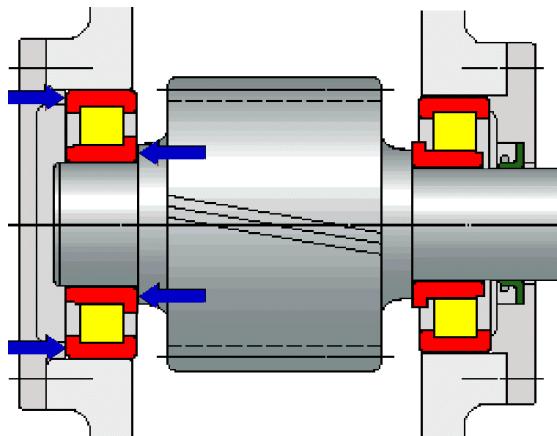
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Configurazione : cuscinetti flottanti



Pag. 106

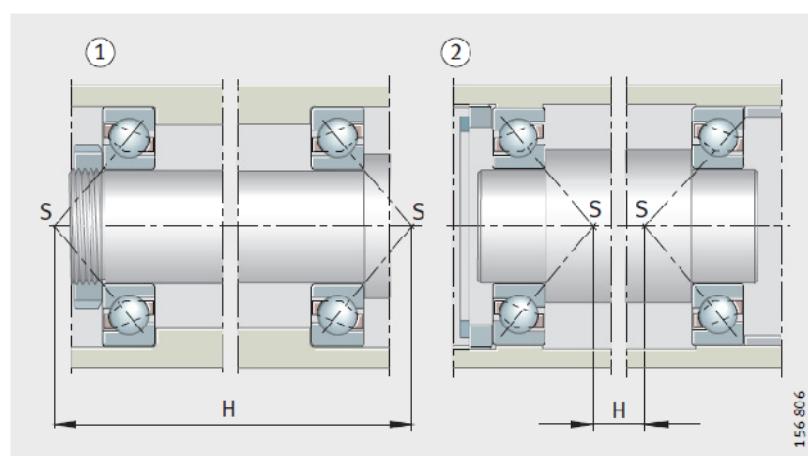
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Configurazione : cuscinetti flottanti**Cuscinetto di appoggio****Cuscinetto di appoggio**

Pag. 107

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE**Configurazione : cuscinetti registrabili**

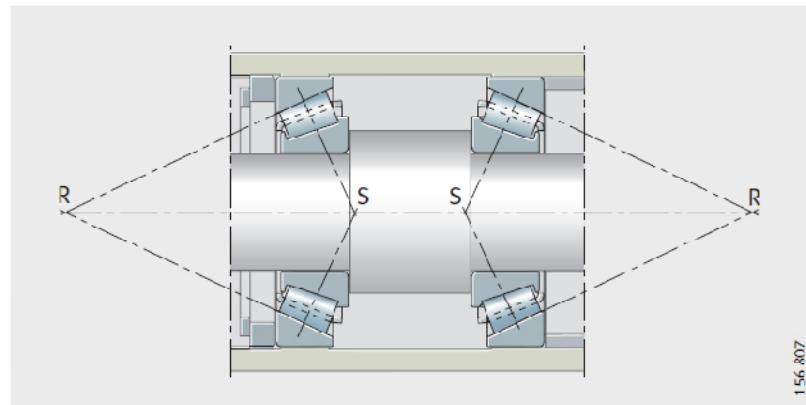
Questa configurazione permette la registrazione dei giochi



Pag. 108

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Configurazione : cuscinetti registrabili



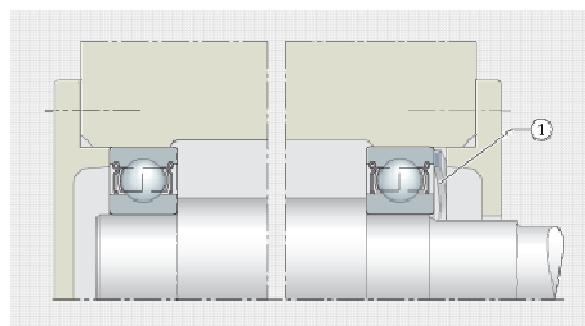
Pag. 109

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Configurazione : cuscinetti registrabili



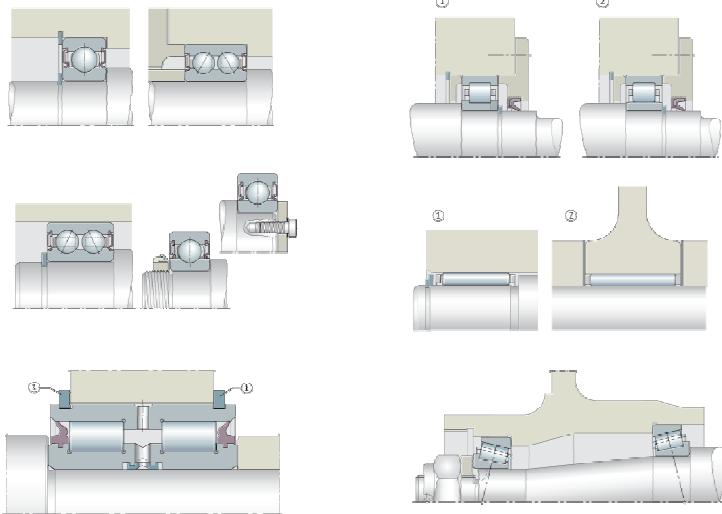
- Registrazione Elastica



Pag. 110

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

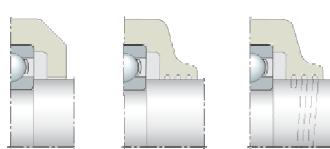
2

Configurazione : Bloccaggio assiale

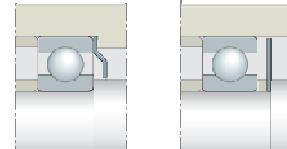
Pag. 111

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

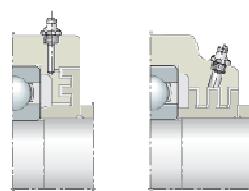
2

Configurazione : Tenute

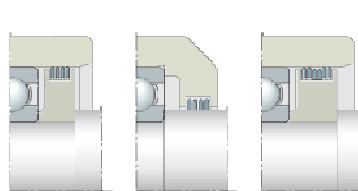
Tenute non strisciante



Schermi parapolvere rigidi



Tenute a labirinto

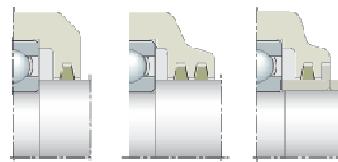


Anelli lamellari

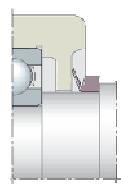
Pag. 112

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

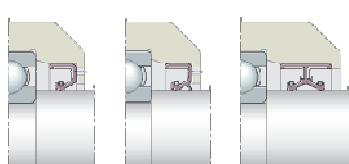
9

Configurazione : Tenute

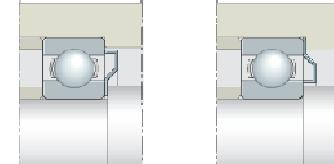
Anelli in feltro



Anelli V



Tenute radiali per albero



Lamierini di tenuta

Pag. 113

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE**Nozioni di base****Calcolo della durata**

Calcolo della durata



La durata si riferisce al numero di rotazioni – e al tempo che ne consegue – che un anello del cuscinetto effettua rispetto all’altro. La durata termina nel momento in cui uno dei due anelli mostra i primi segni di affaticamento del materiale.

Fattori che influiscono sull’affaticamento (classica teoria dell’affaticamento):

- la configurazione di carico dinamico sul cuscinetto volvente in rotazione
- l’entità del carico

Il metodo di calcolo per cuscinetti volventi secondo ISO riduce l’affaticamento del materiale all’ipotesi di massima tensione tangenziale alternata.

Tale ipotesi è supportata dalla presenza del maggior numero di rotture da fatica alla profondità in cui la tensione tangenziale alternata raggiunge il suo valore massimo

Pag. 115

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata

Vita teorica



Durata in milioni di giri oppure ore di esercizio

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

$$L_{10h} = \left(\frac{16666}{n}\right) \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^P$$

Durata raggiunta o superata dal **90%** di un lotto significativo di cuscinetti all’apparenza identici prima che compaiano i primi segni di affaticamento del materiale.

C	Capacità di carico dinamico	
P	Carico dinamico equivalente per cuscinetti radiali e assiali	$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
P	esponente →	Cuscinetti a rulli e rullini $p = \frac{10}{3}$ Cuscinetti a sfere $p = 3$

Pag. 116

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata

Coefficiente di carico dinamico C



Cuscinetto a sfere radiale	D _w <=25,4mm	$C = b_m \cdot f_c \cdot (i \cdot \cos \alpha_0)^{0,7} \cdot z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$
	D _w >25,4mm	$C = b_m \cdot f_c \cdot (i \cdot \cos \alpha_0)^{0,7} \cdot z^{2/3} \cdot 3,647 \cdot D_w^{1,4}$
Cuscinetto a rulli radiale		$C = b_m \cdot f_c \cdot (i \cdot l_{eff} \cdot \cos \alpha_0)^{7/9} \cdot z^{3/4} \cdot D_w^{29/27}$
Cuscinetto a sfere assiale $\alpha_0 = 90^\circ$	D _w <=25,4mm	$C = b_m \cdot f_c \cdot z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$
	D _w >25,4mm	$C = b_m \cdot f_c \cdot z^{2/3} \cdot 3,647 \cdot D_w^{1,4}$
Cuscinetto a sfere assiale $\alpha_0 < 90^\circ$	D _w <=25,4mm	$C = b_m \cdot f_c \cdot (\cos \alpha)^{0,7} \cdot \tan \alpha_0 \cdot z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$
	D _w >25,4mm	$C = b_m \cdot f_c \cdot (\cos \alpha)^{0,7} \cdot \tan \alpha_0 \cdot z^{2/3} \cdot 3,647 \cdot D_w^{1,4}$
Cuscinetto a rulli assiale	$\alpha_0 < 90^\circ$	$C = b_m \cdot f_c \cdot l_{eff}^{7/9} \cdot z^{3/4} \cdot D_w^{29/27}$
	$\alpha_0 > 90^\circ$	$C = b_m \cdot f_c \cdot l_{eff}^{7/9} \cdot \tan \alpha_0 \cdot z^{3/4} \cdot D_w^{29/27}$

D _w	mm	Diametro cuscinetto volvente
l _{eff}	mm	Lunghezza effettiva di contatto tra rullo e pista di rotolamento
D _{pw}	mm	Diametro primitivo delle gabbie a sfere o a rulli
i	-	Numero di corone di corpi volventi in un cuscinetto
z	-	Numero di corpi volventi in una corona
α_0	°	Angolo di contatto nominale

L'entità del coefficiente f_c dipende dal tipo di cuscinetto e dal rapporto $\frac{D_w \cdot \cos \alpha_0}{D_{pw}}$

L'entità del coefficiente b_m dipende dalla qualità del materiale, dalla qualità di produzione e dal tipo di cuscinetto.

Pag. 117

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata

Condizioni equivalenti



Carico dinamico equivalente **P** e **n** per
cuscinetti assiali e radiali

Le equazioni della durata conformi a DIN ISO 281 presuppongono un carico costante **P** e una velocità costante **n**

Se il carico e la velocità non sono costanti, è possibile calcolare i valori d'esercizio equivalenti che inducono il medesimo affaticamento prodotto dalle condizioni effettive.

Pag. 118

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata

Condizioni equivalenti



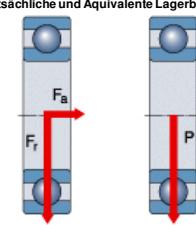
Il carico dinamico equivalente P

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

è un valore matematico calcolato in base alla distribuzione della pressione e alla teoria dell'affaticamento.

Questo valore è costante in termini di dimensione e direzione; è un carico radiale per i cuscinetti radiali e assiale per i cuscinetti assiali (non ammettono carichi combinati).

P dà come risultato la medesima durata generata dal carico combinato effettivamente agente sul cuscinetto.

X	Coefficiente radiale (valori tratti da cataloghi di cuscinetti volventi)	 Tatsächliche und Äquivalente Lagerbelastung
Y	Coefficiente assiale (valori tratti da cataloghi di cuscinetti volventi)	

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Pag. 119

Calcolo della durata

Condizioni equivalenti



Il problema di determinare un carico equivalente si pone anche quando il cuscinetto è sottoposto ad un carico variabile e ad una velocità variabile.

Le formule per questo tipo di calcolo partono dall'ipotesi che ciascun carico P_i applicato per un numero di cicli $N_i = q_i \cdot n_i$ consumi una frazione di vita N_i / N_i^* dove N_i^* è il numero di cicli che porterebbe il cuscinetto a rottura se fosse applicato il carico P_i .

L'ipotesi di partenza è quindi che:

$$\frac{N_1}{N_1^*} + \frac{N_2}{N_2^*} + \frac{N_3}{N_3^*} + \dots + \frac{N_n}{N_n^*} = 1$$

L'equazione della durata $L = (C/P)^a$ può essere riscritta come $C = \text{cost} = N P^a$
Ne deriva:

$$N_1^* P_1^a = N P^a$$

$$N_1 P_1^a + N_2 P_2^a + \dots + N_n P_n^a = N P^a$$

dove:

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n = n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_n t_n = nT$$

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

Pag. 120

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo dei valori dinamici equivalenti



- Carico e velocità variabili in modo graduale

$$n = \frac{q_1 \cdot n_1 + q_2 \cdot n_2 + \dots + q_z \cdot n_z}{100}$$

velocità equivalente

$$P = \sqrt{p \cdot \frac{\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot F_i^p + \dots + \frac{1}{a_z} \cdot q_z \cdot n_z \cdot F_z^p}{q_i \cdot n_i + \dots + q_z \cdot n_z}}$$

carico equivalente

Pag. 121

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo dei valori dinamici equivalenti



- Carico e velocità variabili in modo continuo

$$n = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) \cdot dt$$

n min^{-1}

Velocità di rotazione media

T min

Intervallo di tempo considerato

P N

Carico equivalente sul cuscinetto

p -

Esponente per il calcolo della durata:

per cuscinetti a rulli: p = 10/3

per cuscinetti a sfere: p = 3

a_i, a(t) -Fattore di durata a_{DIN} per le condizioni momentanee d'esercizio,vedere Fattore di durata a_{DIN}.n_i, n(t) min^{-1}

Velocità di rotazione nella condizione momentanea d'esercizio

q_i %

Percentuale di durata di una data condizione d'esercizio riferita alla durata

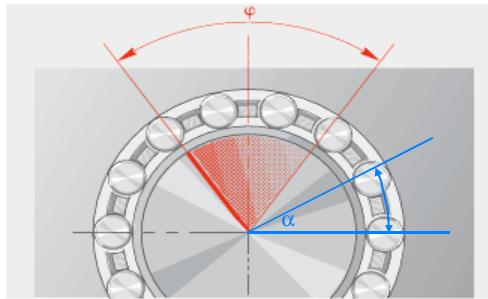
totale d'esercizio; q_i = (Δt_i/T) · 100F_i, F(t) N

Carico sul cuscinetto nella condizione momentanea d'esercizio

Pag. 122

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Movimento oscillante



$$n = n_{osc} \cdot \frac{\phi}{180}$$

ϕ Angolo di oscillazione

n Velocità equivalente

n_{osc} Frequenza di oscillazione

Attenzione: la formula va utilizzata soltanto se l'angolo di oscillazione è maggiore di due volte il passo dei corpi volventi, altrimenti vi è il pericolo di ondulazione della pista.

$$\phi > 2\alpha$$

Pag. 123

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata - esempio

Condizioni equivalenti



Calcolare la durata del cuscinetto 6210 (gioco CN) su cui agiscono i seguenti carichi:

Fr=12.000 N
Fa=5.000 N

Da catalogo troviamo:

Cuscinetti radiali
rigidi a sfere
ad una corona
aperti o con tenute

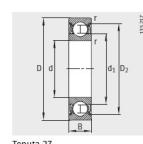
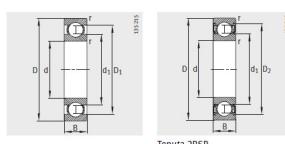


Tabella dimensionale (continuazione) - Dimensioni in mm

Sigle	Massa m ~kg	Dimensioni						Dimensioni delle parti adiacenti			Coefficiente di carico		Carico limite di fatica C _{fr} N	Velocità di rotazione limite n _U min ⁻¹	Velocità di rotazione di riferimento n ₀ min ⁻¹		
		d	D	B	r	D ₁	D ₂	d ₁	d ₂	r _a	min.	max.	min.	max.			
61810-22-Y	0,052	50	65	7	0,3	—	61,8	55,1	—	52	63	0,3	6.900	6.100	265	9.300	8.000
61910	0,13	50	72	12	0,6	65,5	—	56,6	—	53,2	68,8	0,6	14.600	11.800	600	22.000	8.100
61910-2RSR	0,13	50	72	12	0,6	—	68,6	56,6	—	53,2	68,8	0,6	33.600	31.800	600	6.000	—
16010	0,181	50	80	10	0,6	70,6	—	60,1	—	53,2	76,0	0,6	35.000	33.200	610	20.000	6.700
6010	0,272	50	80	16	1	70,1	—	59,8	—	54,6	75,4	1	29.900	19.400	770	20.000	9.300
6010-2RSR	0,283	50	80	16	1	—	72,9	59,8	—	54,6	75,4	1	29.900	19.400	770	1.400	—
6010-2Z	0,283	50	80	16	1	—	72,9	59,8	—	54,6	75,4	1	29.900	19.400	770	8.500	9.300
56610	0,26	50	80	16	1	70,1	—	59,8	—	54,6	75,4	1	29.900	19.400	770	20.000	8.900
6610-2RSR	0,271	50	80	16	1	—	72,9	59,8	—	54,6	75,4	1	29.900	19.400	770	5.600	—
6210	0,461	50	90	20	1,1	77,0	—	62	—	57	83	1	18.000	16.200	—	—	—
6210-2RSR	0,48	50	90	20	1,1	—	80	62	—	57	83	1	4.800	—	—	—	—
6210-2Z	0,478	50	90	20	1,1	—	80	62	—	57	83	1	7.500	8.200	—	—	—
66210	0,469	50	90	20	1,1	77,9	—	62	—	57	83	1	36.500	24.000	1420	18.000	8.200

pag. 124

C=36.500 N
C₀=24.000N

Calcolo della durata - esempio

Condizioni equivalenti



Inoltre se: $Fa/Fr \leq e \rightarrow P = Fr$
 $Fa/Fr > e \rightarrow P = X*Fr + Y*Fa$

Il valore di „e“ è tabellato per ogni tipologia di cuscinetto. Per i cuscinetti radiali rigidi a sfera, cambiando l'angolo di contatto al variare del carico assiale, cambia anche il valore di „e“, ed ogni volta bisognerà verificare il valore di X e Y.

Le tabelle sono parametrizzate secondo il rapporto

$\frac{f_0 * F_a}{C_0}$ riportato per ogni serie dimensionale sul catalogo, dove f_0 dipende dal rapporto dei raggi di curvatura

Pag. 125

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata - esempio

Condizioni equivalenti



Fattore f_0 per cuscinetti radiali rigidi a sfere	Fattore e, X ed Y											
	Simbolo del foro	Fattore f_0	618	619	160	60	62	622	63	623	64	42
3	—	—	—	—	—	12,9	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	12,2	—	12,4	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	13,2	—	12,2	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	13	12,4	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	12,4	13	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	13	12,6	—	—	—	—	—
00	—	—	—	—	—	12,4	12,1	12,1	11,3	—	—	12,1
01	—	—	—	—	—	13	12,3	12,2	11,1	—	—	12,7
02	—	—	—	—	—	13,9	13,9	13,1	13,1	12,1	12,1	13,4
03	—	—	—	—	—	14,3	14,3	13,1	13,1	12,3	12,2	12,4
04	—	—	—	—	—	14,9	13,9	13,1	13,1	12,4	12,1	13,1
05	—	—	—	—	—	15,4	14,5	13,8	13,8	12,4	12,4	14,3
06	—	—	—	—	—	15,2	14,8	13,8	13,8	13	13	12,2
07	—	—	—	—	—	15,6	14,8	13,8	13,8	13,1	13,1	14,5
08	—	—	—	—	—	15,4	16	15,3	14	14	13	13
09	—	—	—	—	—	16,2	15,7	15,9	15,9	14,3	14,1	13
10	—	—	—	—	—	16,1	16	16,1	16	14,3	14,1	13
11	—	—	—	—	—	16,2	16	16,1	16	14,3	14,1	13
12	—	—	—	—	—	16,3	16,1	16,3	16,3	13,1	13,1	13,2
13	—	—	—	—	—	16,2	16,3	16,4	15,7	14,3	13,2	15,3
14	—	—	—	—	—	16,1	16,1	16,2	15,8	14,3	13,2	15,8

$$\frac{f_0 * F_a}{C_0} = 2,98$$

$\frac{f_0 * F_a}{C_0}$	Fattore per gioco radiale									
	$\frac{f_0 * F_a}{C_0}$	CN	C3	C4	e	X	Y	e	X	Y
0,3	0,22	0,56	2	—	0,32	0,46	1,7	0,4	0,44	1,4
0,5	0,24	0,56	1,8	—	0,35	0,46	1,56	0,43	0,44	1,31
0,9	0,28	0,56	1,58	—	0,39	0,46	1,41	0,45	0,44	1,23
1,6	0,32	0,56	1,4	—	0,43	0,46	1,24	0,48	0,44	1,16
3	0,36	0,56	1,2	—	0,48	0,46	1,14	0,52	0,44	1,08
6	0,43	0,56	1	—	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

C_0 Coefficiente di carico statico secondo tabelle dimensionali
 f_0 Fattore, vedere tabella Fattore f_0 per cuscinetti radiali rigidi a sfera, pagina 191
 F_a Carico assiale dinamico del cuscinetto.

Qual'ora il valore $\frac{f_0 * F_a}{C_0}$ non fosse tabellato bisognerà procedere per interpolazione lineare

Per semplicità assumiamo: $e=0,36$
 $X=0,56$
 $Y=1,2$

$$Fa/Fr=0,42>e \rightarrow P = X*Fr + Y*Fa = 0,56*12.000 + 1,2*5000 = 12.720 \text{ N}$$

Il carico assiale ha una grande influenza \longrightarrow

Pag. 126

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Calcolo della durata - esempio

Condizioni equivalenti



$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{36.500}{12.720} \right)^3 = 24 * 10^6 \text{ giri}$$

Ipotizziamo che il cuscinetti ruoti a $n=1500$ giri/min

$$L_{10h} = \frac{16666}{n} \left(\frac{C}{P} \right)^p = \frac{16666}{1500} \left(\frac{36.500}{12.720} \right)^3 = 263h$$

Pag. 127

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Slittamento per effetto dei bassi carichi

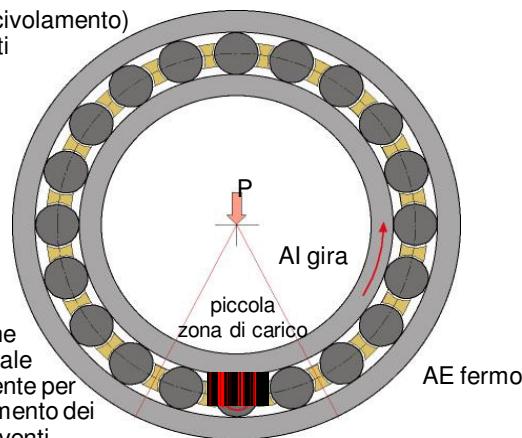


Lo slittamento è lo scorrimento (scivolamento) dell'anello interno sui corpi volventi con carico troppo basso

Carico minimo:
Cuscinetti a sfere $P/C > 0,01$
Cuscinetti a rulli $P/C > 0,02$



Pressione superficiale insufficiente per l'azionamento dei corpi volventi



Nel nostro es. $P/C=0.35>>0.01$

Pag. 128

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

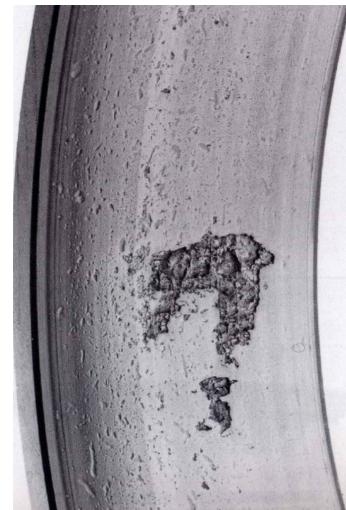


Evoluzione nel calcolo della durata

← →
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



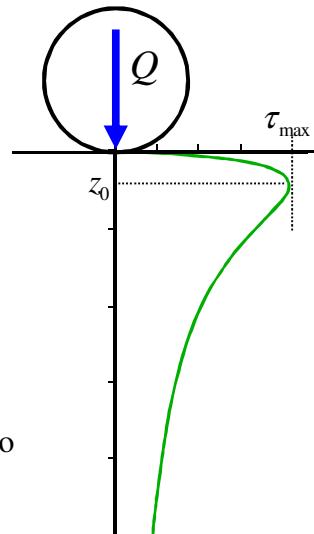
La durata di un cuscinetto fa riferimento al numero di rotazioni – e al tempo che ne consegue – che un anello del cuscinetto effettua rispetto all'altro.
La durata termina nel momento in cui si evidenziano i primi segni di affaticamento del materiale.



Norma ISO 281
Approccio di calcolo secondo Lundberg-Palmgren



$$\ln\left(\frac{1}{S}\right) \sim \frac{\tau_0^c \cdot N^e \cdot V}{z_0^h}$$

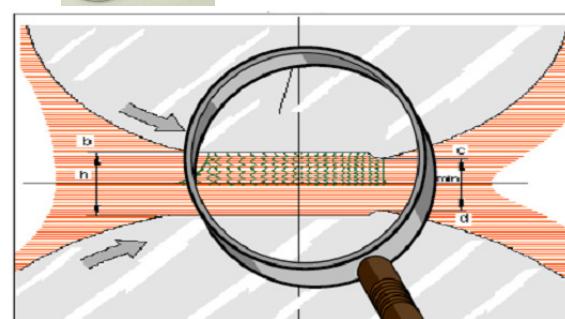
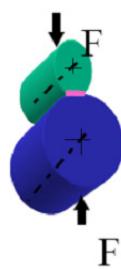


S = Probabilità di sopravvivenza
 τ_0 = massima tensione tangenziale
 z_0 = profondità della massima τ
 N = numero di cicli di carico
 V = volume sollecitato
 c = esponente determinato in modo empirico

Pag. 131

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Vita di esercizio
Influenza della lubrificazione



Parameters: load, speed, viscosity, Young's modulus

Pag. 154

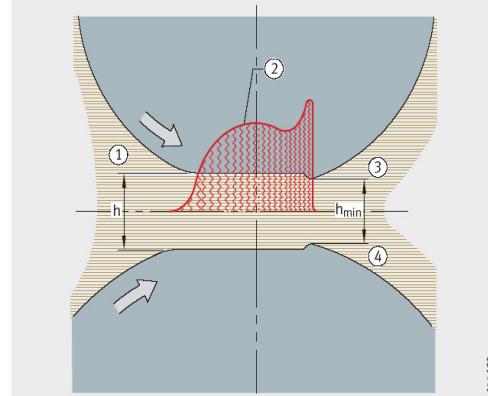
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



EHD = ElastoHydroDynamic

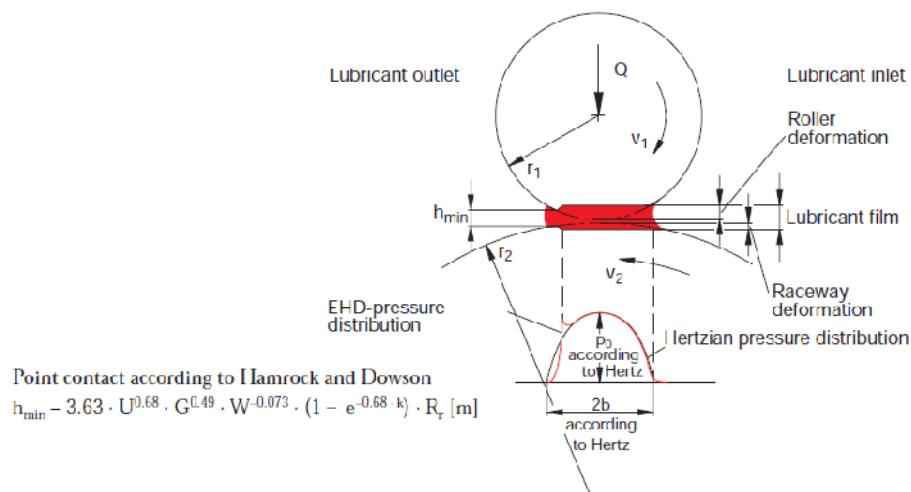
considera accanto alle equazioni fondamentali dell'idrodinamica anche la deformazione elastica dei corpi a contatto.

- ① Zona di entrata
- ② Andamento della pressione secondo la teoria EHD
- ③ Zona di uscita



Pag. 155

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Line contact according to Dowson

$$h_{\min} = 2.65 \cdot U^{0.7} \cdot G^{0.54} \cdot W^{-0.13} \cdot R_r \text{ [m]}$$

with $U = \eta_0 \cdot v / (E' \cdot R_r)$
 $G = \alpha \cdot E'$
 $W = Q / (F' \cdot R_r^2)$ for point contact
 $W' = Q / (E' \cdot R_r \cdot L)$ for line contact

Pag. 156

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Revisione della Norma ISO 281
Calcolo del rapporto di viscosità k



9.3.3.3.1 Calculation of viscosity ratio

$$K^* = \frac{V}{V_1}$$

The reference kinematic viscosity ν_1 , can be estimated by means of the diagram in Figure 2, depending on bearing speed and pitch diameter, D_{pw} . (the mean bearing diameter 0,5 ($d + D$) can also be used) or be calculated with the following Equations (28) and (29).

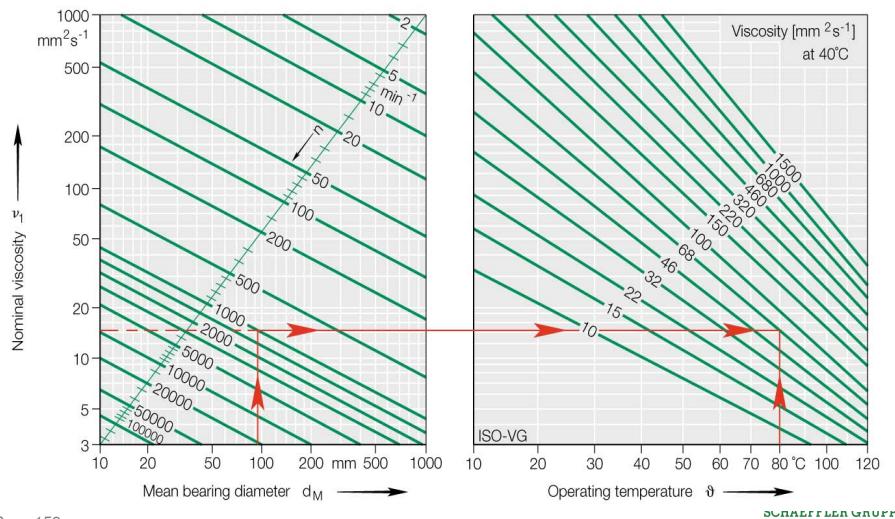
$$\nu_1 = 45000 n^{-0.83} D_{pw}^{-0.5} \quad \text{for } n < 1000 \text{ r/min} \quad (28)$$

$$\nu_1 = 4500 n^{-0.5} D_{pw}^{-0.5} \quad \text{for } n \geq 1000 \text{ r/min} \quad (29)$$

Pag. 157

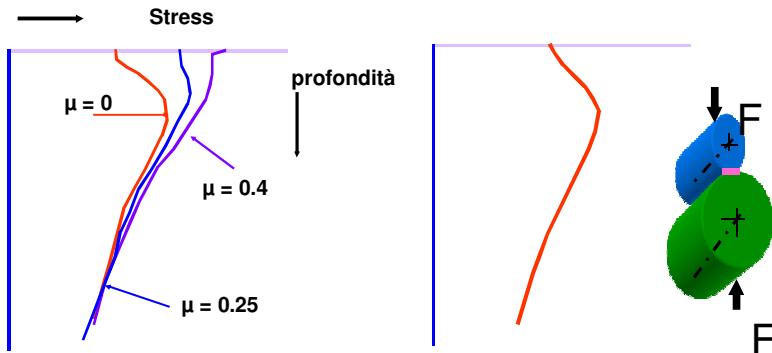
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Determinazione della viscosità nominale ν_1



Pag. 158

Fatica con inizio superficiale



In condizioni di attrito misto (lubrificazione insufficiente) il valore massimo delle tensioni di taglio si sposta verso la superficie.

Pag. 159

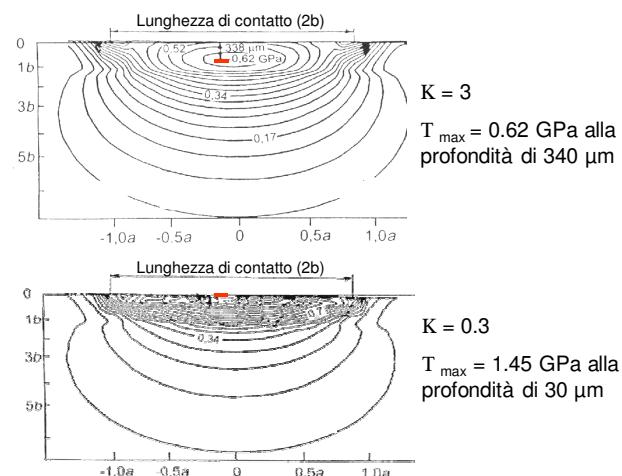
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Fatica con inizio superficiale



Diagram of a Hertzian contact under a force F . The contact area is shaded in blue and green. The text below states:

Pressione Hertziana nominale
= 2.3 GPa

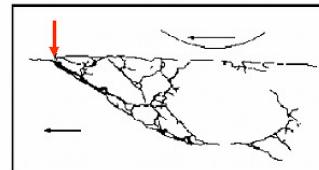


Pag. 160

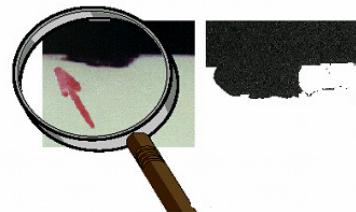
SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE



Affaticamento superficiale



Per effetto della scarsa lubrificazione e delle tensioni tangenziali si formano sfogliature superficiali.
La superficie collassa progressivamente.
La profondità delle sfogliature è inferiore a quella caratteristica della fatica classica (confrontare le due figure)



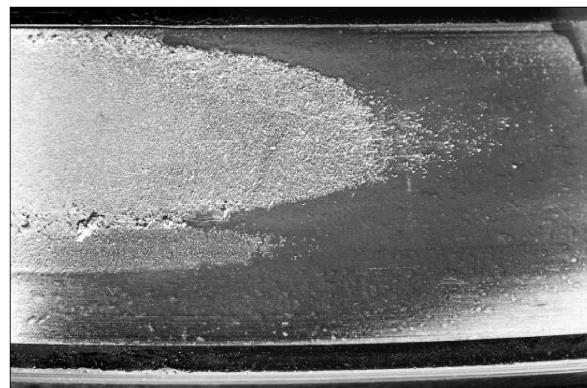
Pag. 161

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE

Surface initiated fatigue



Micropitting causato da insufficiente viscosità dell'olio



Pag. 162

SCHAFFLER GRUPPE
INDUSTRIE