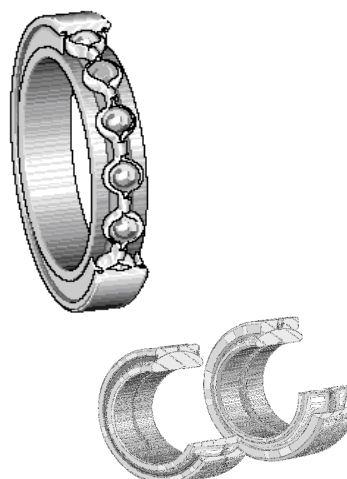




## Introduzione ai cuscinetti volventi

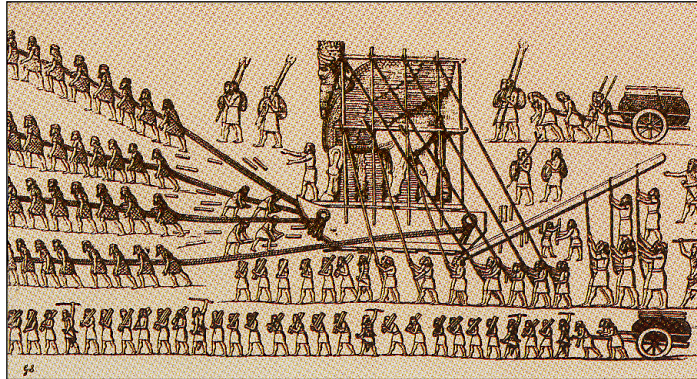


Si definiscono **cuscinetti** tutti gli organi meccanici aventi la funzione sia di sopportare i carichi applicati ad un corpo in moto relativo di rotazione oppure di traslazione da parte degli elementi della catena cinematica cui il corpo appartiene, sia la proprietà di originare coppie resistenti di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





ca. 700 AC



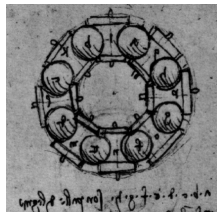
Pag. 3

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Storia della tecnologia dei cuscinetti



Leonardo da Vinci (1452 - 1519) .



Pag. 4

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



# Produzione di sfere in pietra, 1683



Pag. 5

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



Pag. 6

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## La storia della tecnologia dei cuscinetti

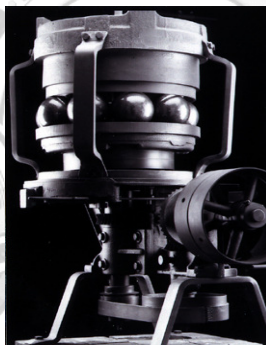


**La FAG Kugelfischer Georg Schäfer AG  
è il più antico produttore di cuscinetti a sfere al mondo,  
il pioniere dell'industria dei cuscinetti volventi.**



**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)**

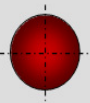
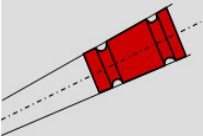


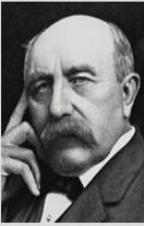

Rilevò 10 anni dopo la morte di Friedrich Fischer la „Erste Automatische Gußstahlkugelfabrik, vormals Friedrich Fischer, AG“. Con grande dedizione personale creò un'impresa industriale famosa a livello internazionale.

Pag. 7

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## La storia della tecnologia dei cuscinetti



<p><b>Ball</b> 1883</p> 	<p><b>Tapered Roller</b> 1897</p> 	<p><b>Needle Roller</b> 1950 (with cage)</p> 
		
<p><b>Friedrich Fischer (1849-1899)</b></p>	<p><b>Henry Timken (1831-1909)</b></p>	<p><b>Georg Schaeffler (1917-1996)</b></p>

Pag. 8

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## INA-Schaeffler KG

### Some figures



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

INA = I ndustrie G.m.b.H.  
+ NA dellager



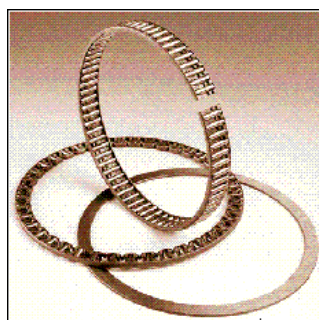
INA-Schaeffler KG

01010

Pag. 9

## La storia della tecnologia dei cuscinetti

### Prodotti di maggior successo



Gabbia a rullini,  
1951



Gabbia a rullini,  
2005

Pag. 10

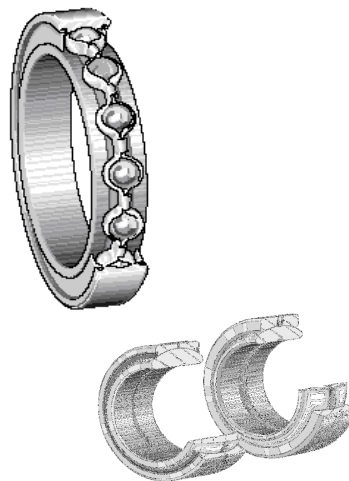
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



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)**



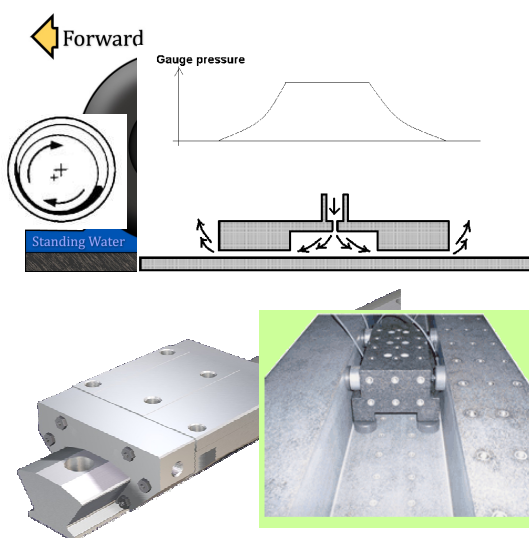
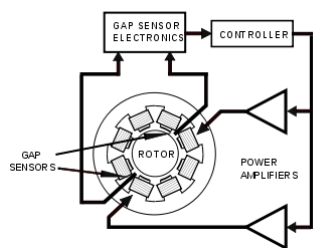
Pag. 14

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



#### Altre tipologie di cuscinetti

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



Pag. 15

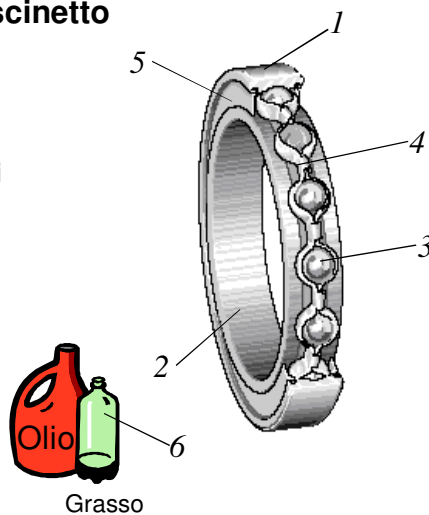
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



## Composizione di un cuscinetto volvente standard

Il cuscinetto si compone di

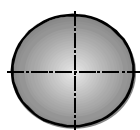
1. anello esterno
2. anello interno
3. corpi volventi
4. gabbia
5. con o senza tenute
6. lubrificante



Pag. 16

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Corpi volventi Panoramica



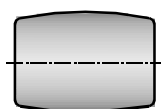
Sfere



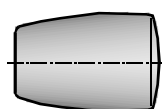
Rulli cilindrici



Rulli conici



Rulli a botte  
simmetrici



Rulli a botte  
asimmetrici

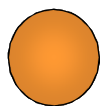


Rullini

Pag. 17

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Corpi volventi



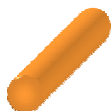
**Sfere: es.**  
elevate velocità,  
basso attrito  
basso carico  
scarsa rigidezza

**6020 (100x150x24)**

**$n_G = 9500 \text{ min}^{-1}$**

**$C = 60 \text{ kN}$**

**del (10.000N) = 0,0406 mm**



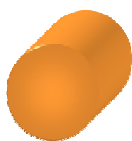
**Rullini: es.**  
basse velocità  
alti carichi  
attrito maggiore  
elevata rigidezza

**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  
rigidità intermedia

**NU 1020 (100x150x24)**

**$n_G = 7500 \text{ min}^{-1}$**

**$C = 116 \text{ kN}$**

**del (10.000N) = 0,0343 mm**

Pag. 18

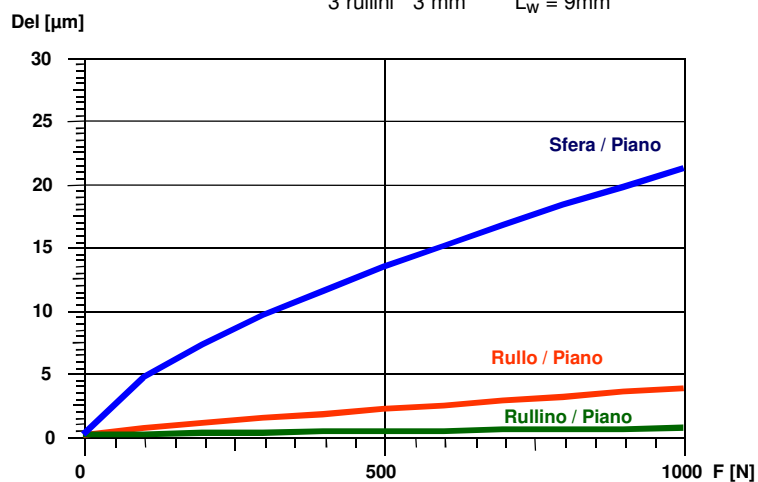
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Generalità sui cuscinetti volventi

#### Rigidità



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



Pag. 19

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

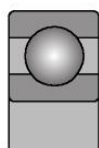


Nozioni di base

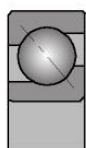
## Principali tipologie di cuscinetti volventi



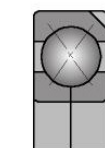
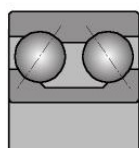
### Cuscinetti radiali a sfere Panoramica



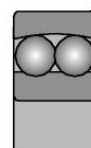
radiali rigidi  
a sfere



a sfere a contatto obliquo  
monocorona, a due corone



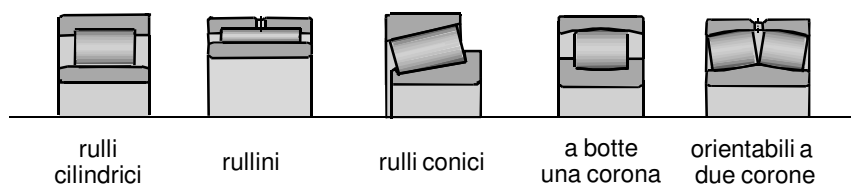
a quattro  
punti di  
contatto



orientabili

## Cuscinetti radiali a rulli

### Panoramica

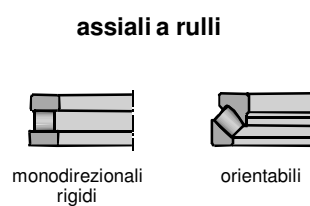
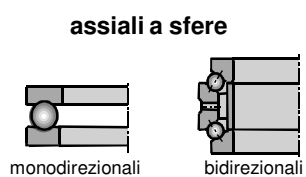


Pag. 22

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti assiali

### Panoramica



Pag. 23

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

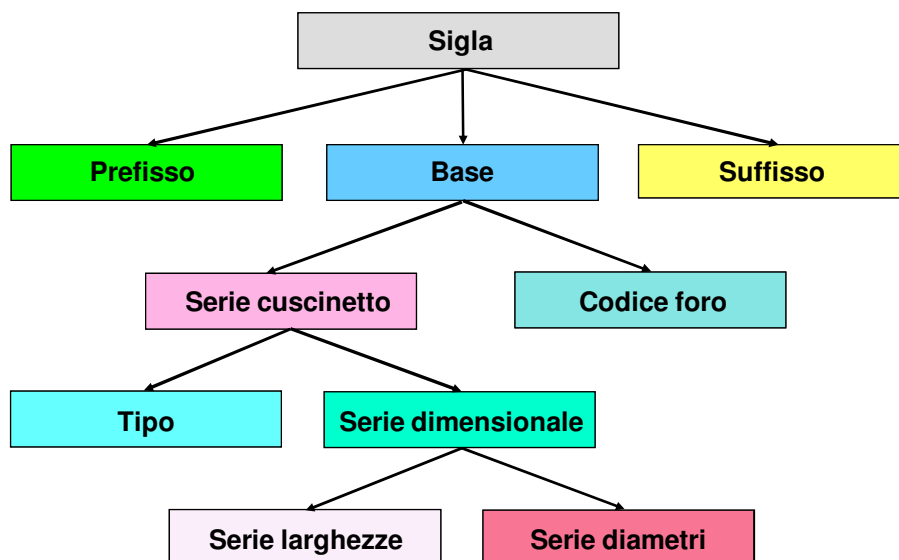


Nozioni di base

## Sigle dei cuscinetti volventi



### Sigla dei cuscinetti volventi



**Sigle standardizzate di cuscinetti volventi  
TIPO**



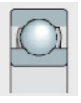
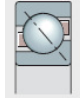

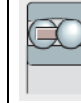
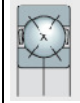
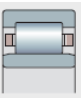
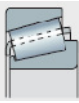

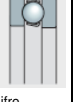
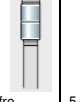

Cuscinetti radiali							
							
3, 4, 5 cifre	4, 5 cifre	4 cifre	4 cifre	4 cifre	5 cifre	5 cifre	5 cifre
<b>6</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>1,2</b>	<b>QJ</b>	<b>N..</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Diagram showing a sequence of boxes for selecting bearing types. The first box is highlighted in blue. An arrow points from the first box to the second box, and another arrow points from the second box to the third box.

Cuscinetti assiali		
		
5 cifre	5 cifre	5 cifre
<b>5</b>	<b>8</b>	<b>2</b>

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

**Sigle standardizzate di cuscinetti volventi  
Serie larghezze**















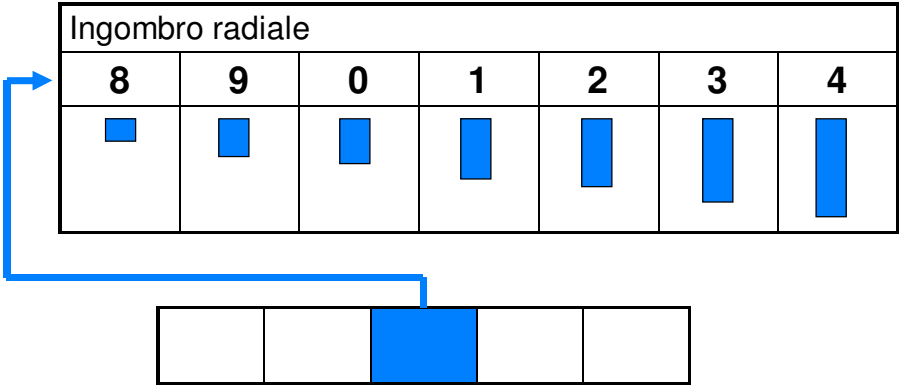
Larghezza dei cuscinetti radiali							
<b>8</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
							

Diagram showing a sequence of boxes for selecting bearing widths. The second box is highlighted in blue. An arrow points from the first box to the second box, and another arrow points from the second box to the third box.

Altezza dei cuscinetti assiali			
<b>7</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
			

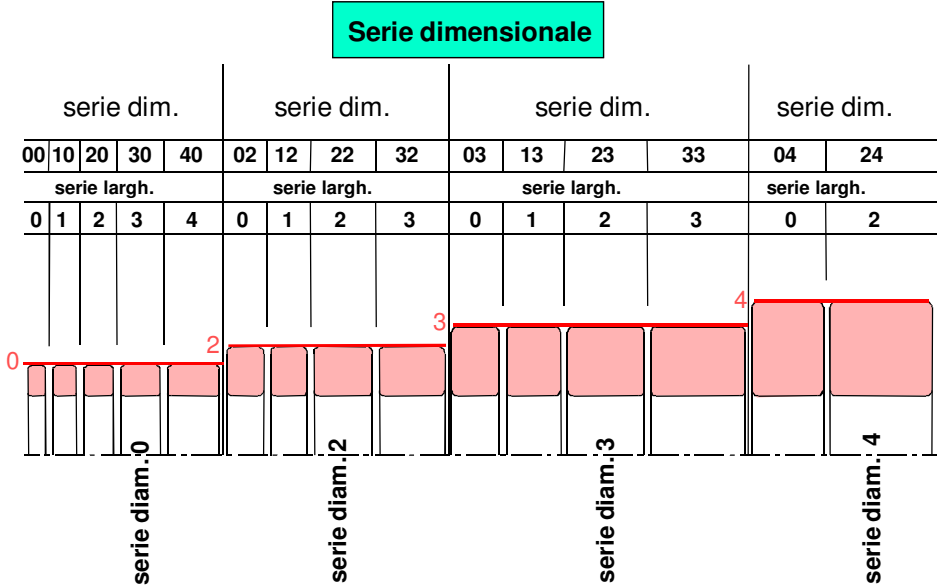
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Sigle standardizzate di cuscinetti volventi  
Serie diametri



SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Sigla dei cuscinetti volventi

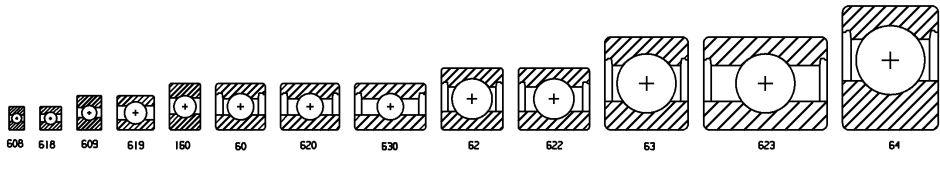


SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



Esempio: cuscinetti radiali a sfere

Normativa di riferimento : DIN 616



Pag. 30

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Sigle standardizzate di cuscinetti volventi  
Diametro effettivo



--	--	--	--	--

5 regole

1	<b>d &lt; 10 mm</b> e.g. 608 = Ø 8 mm	da 3 a 9
2	<b>d ≥ 10 a &lt; 20 mm</b> 6200 = Ø 10 mm 6201 = Ø 12 mm 6202 = Ø 15 mm 6203 = Ø 17 mm	da 00a 03
3 – x5	<b>d ≥ 20 a 480 mm</b> es. 6204 = Ø 20 mm	da 04 a 96
4	<b>d &gt; 500 mm</b> es. 239/500 = Ø 500 mm	
5 Eccezioni	<b>d / ..</b> es. 320/22X = Ø 22 mm	

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



Nozioni di base

## Distribuzione dei carichi sui corpi volventi

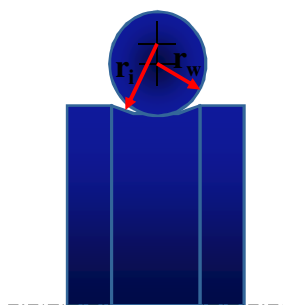


Generalità sui cuscinetti volventi



Contatto puntiforme

$$1 / r_w > 1 / r_i$$

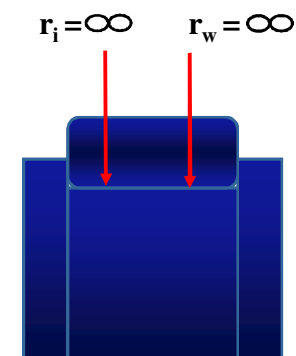


## Generalità sui cuscinetti volventi



### Contatto lineare

$$1 / r_w = 1 / r_i$$



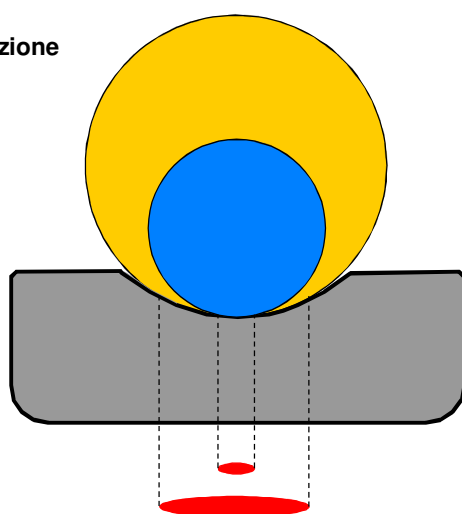
Pag. 34

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Generalità sui cuscinetti volventi



### Osculazione



- piccola osculazione
- grande osculazione

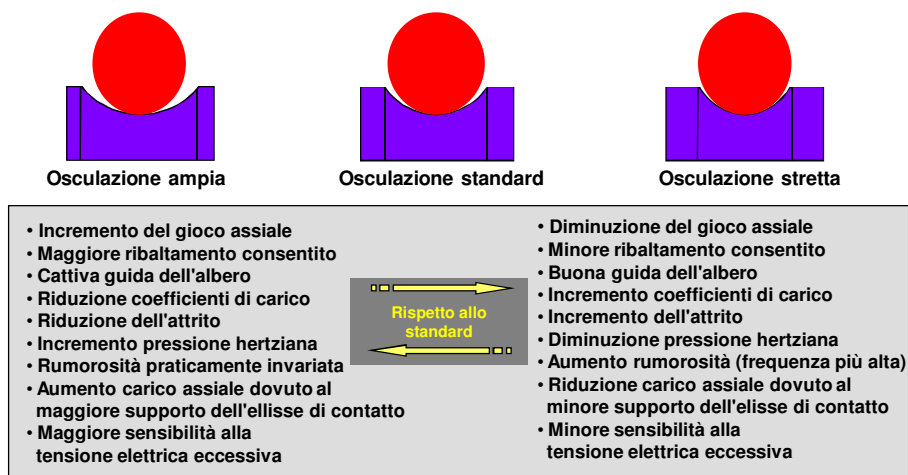
Pag. 35

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Osculazione



Che cosa accade se si modifica il valore di osculazione?

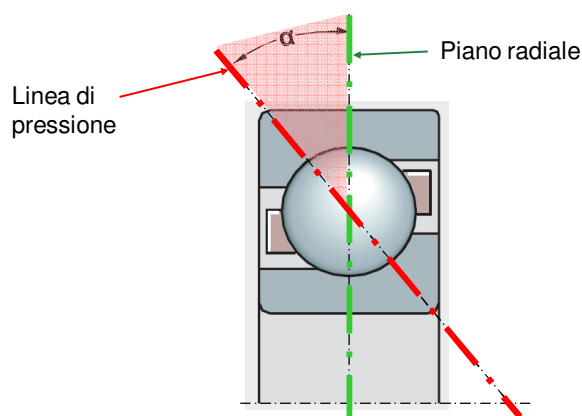


SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

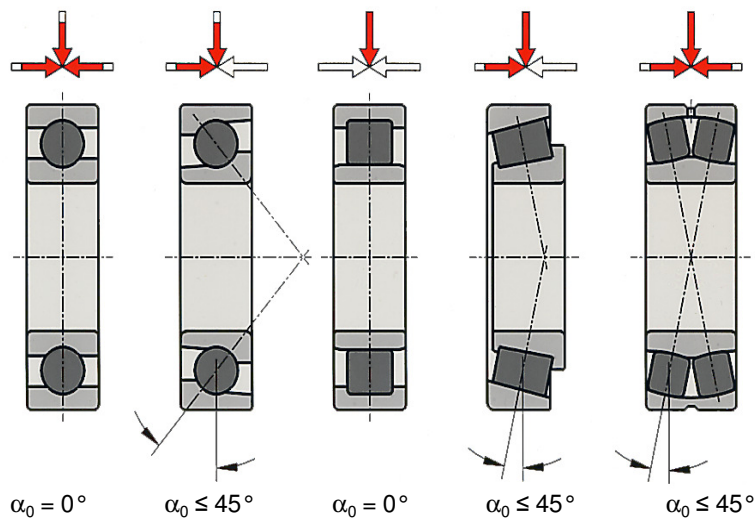
## Generalità sui cuscinetti volventi Angolo di pressione



Angolo di pressione  $\alpha$  = angolo tra il piano radiale e la linea di pressione



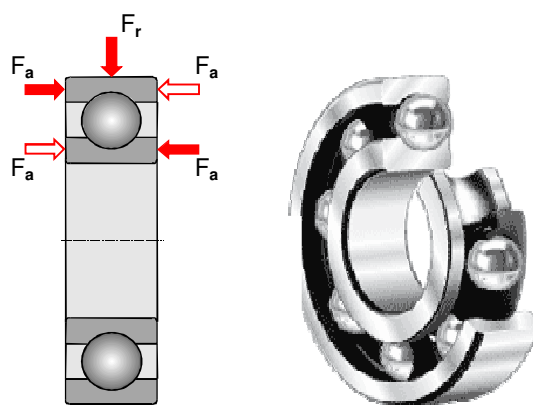
## Carichi sopportabili dai cuscinetti radiali



Pag. 38

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti radiali rigidi a sfere



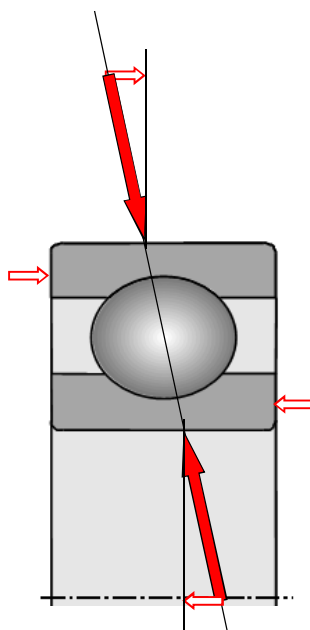
Pag. 39

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti radiali rigidi a sfere



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



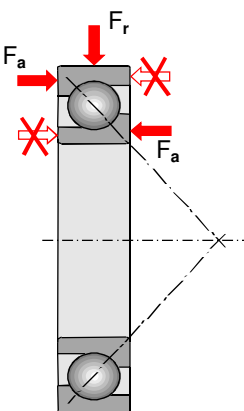
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Pag. 40

## Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo



angolo di pressione 40 °

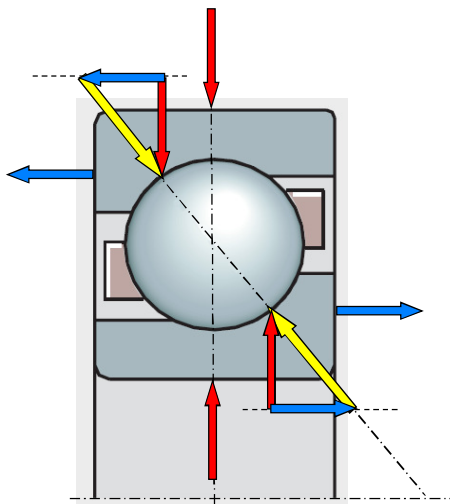


Pag. 41

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo

Effetto di un carico radiale



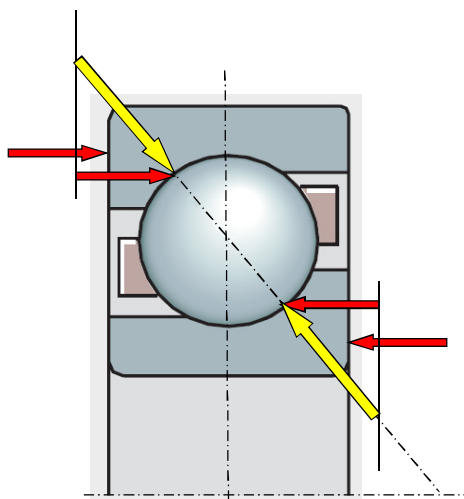
L'angolo di pressione fa sì che un carico radiale generi un carico assiale sull'albero

Pag. 42

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo

Effetto di un carico assiale



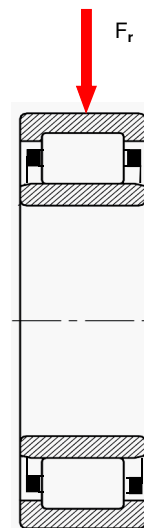
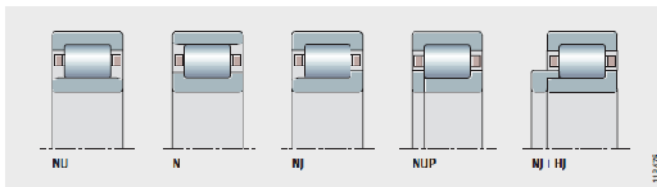
L'angolo di pressione fa sì che un carico assiale possa essere sopportato senza generare eccessive tensioni

Pag. 43

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti radiali a rulli cilindrici

Esecuzioni con gabbia

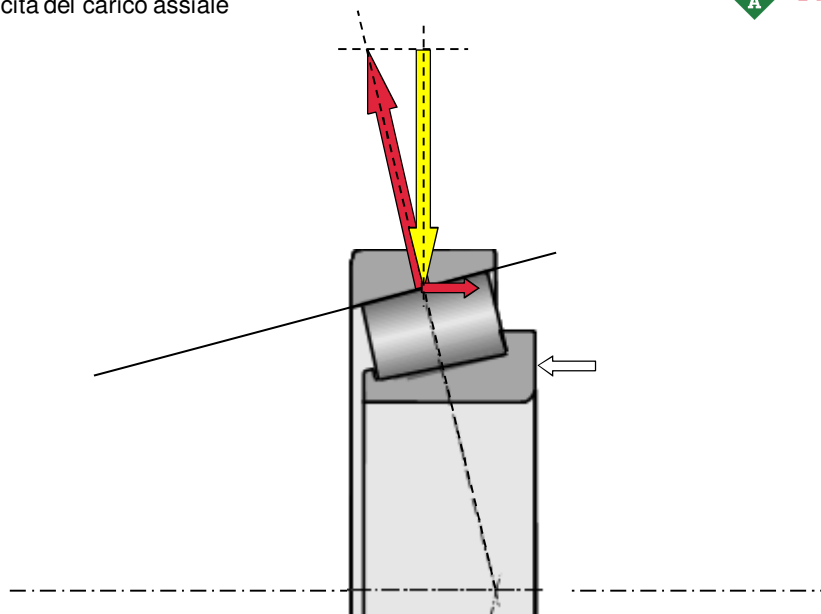


Pag. 44

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti a rulli conici

Nascita del carico assiale



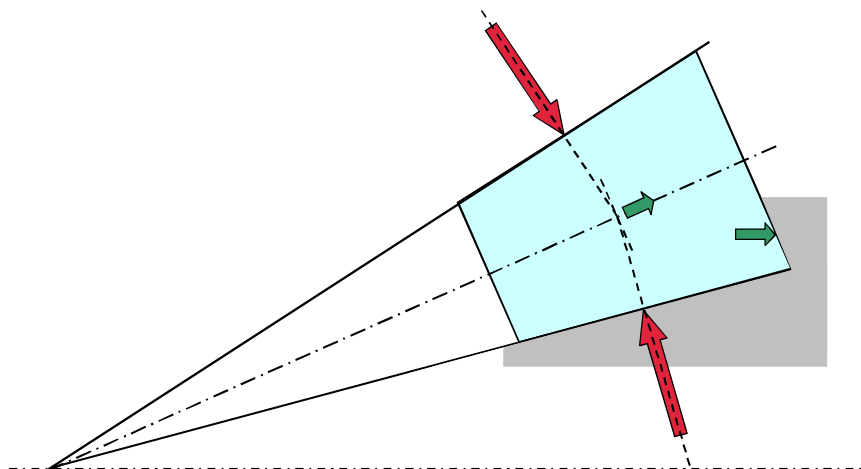
Pag. 45



SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Cuscinetti a rulli conici

Carico assiale sul bordino

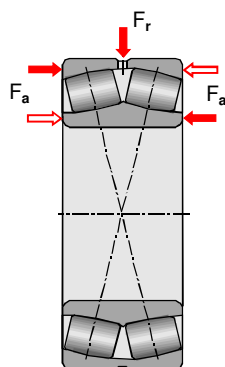


Pag. 46

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Cuscinetti orientabili a rulli

Caratteristiche

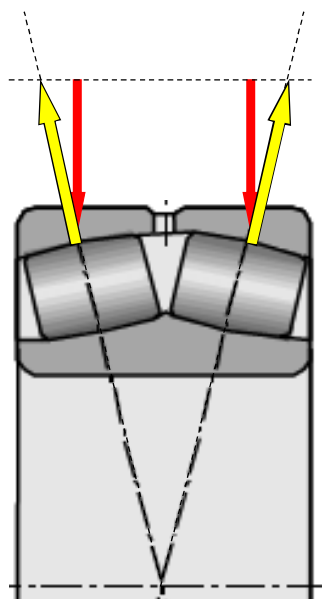
Design  
-E1

Pag. 47

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Cuscinetti orientabili a rulli

Effetto di un carico radiale



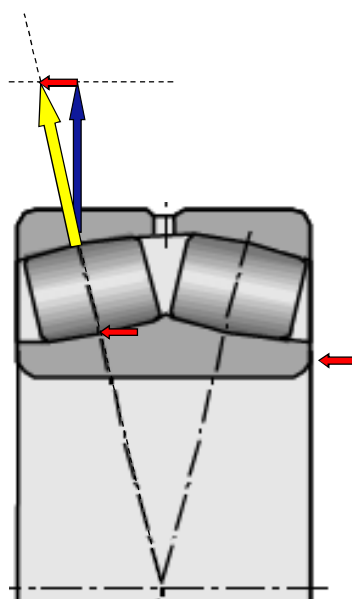
Per effetto dell'angolo di pressione, il carico radiale genera un leggero sovraccarico sui rulli

Pag. 48

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Cuscinetti orientabili a rulli

Effetto di un carico assiale

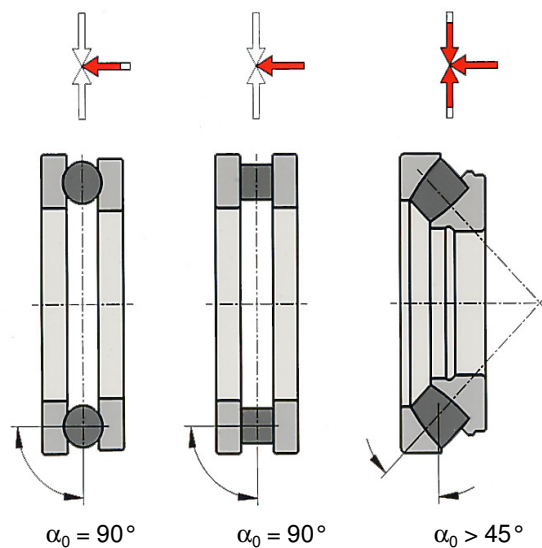


Per effetto dell'angolo di pressione, un leggero carico assiale genera un forte sovraccarico sui rulli

Pag. 49

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Carichi sopportabili dai cuscinetti assiali

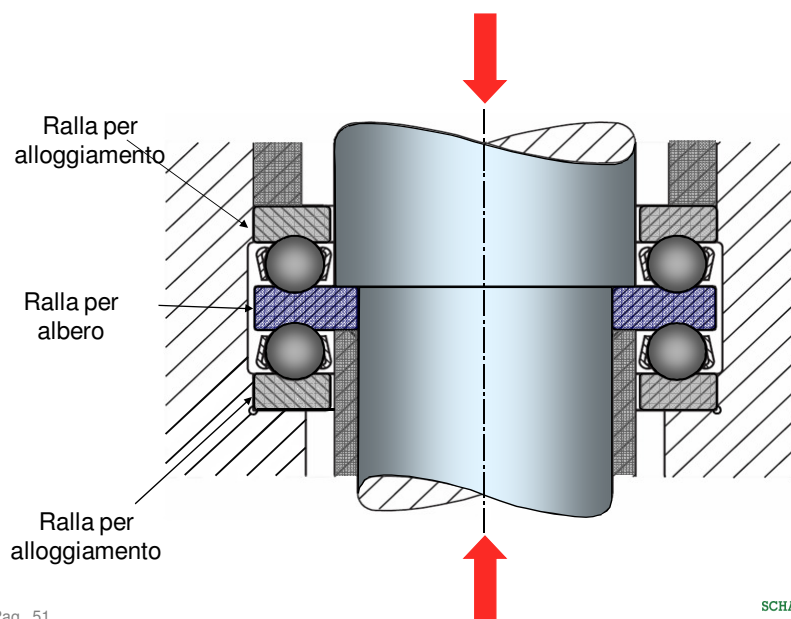


Pag. 50

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti assiali a sfere

A doppio effetto



Pag. 51

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



## Compensazione di errori angolari

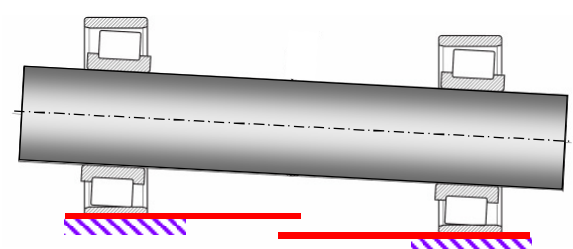


### Caratteristiche dei cuscinetti volventi

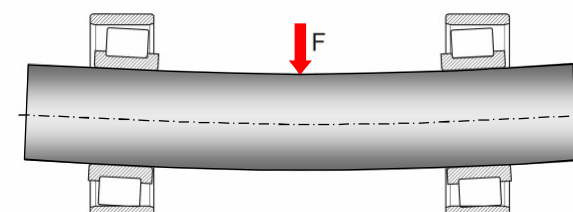
Disassamento



Disassamento



Flessione

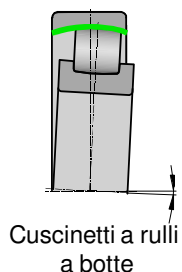


## Caratteristiche dei cuscinetti volventi

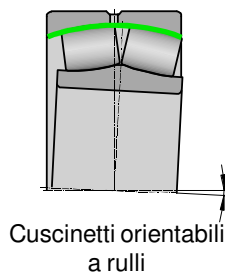
Cuscinetti volventi orientabili



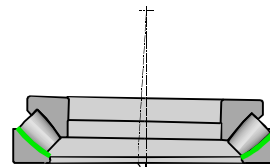
### Dinamici



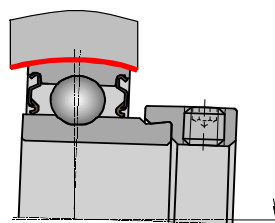
Cuscinetti a rulli a botte



Cuscinetti orientabili a rulli

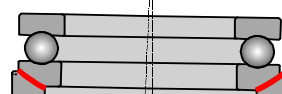


Cuscinetti assiali orientabili a rulli



Cuscinetti con anello di bloccaggio

### Statici



Cuscinetti assiali rigidi a sfere con piastra di orientabilità

Pag. 54

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



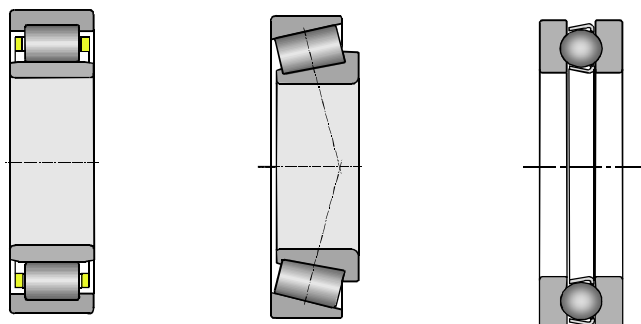
## Scomponibilità



SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Caratteristiche dei cuscinetti volventi

Cuscinetti volventi scomponibili

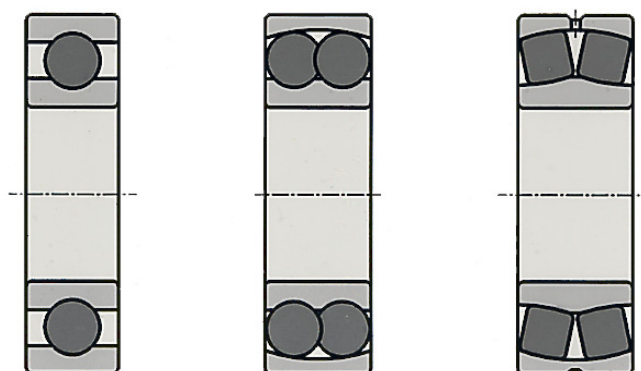


Pag. 56

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Caratteristiche dei cuscinetti volventi

Cuscinetti volventi non scomponibili



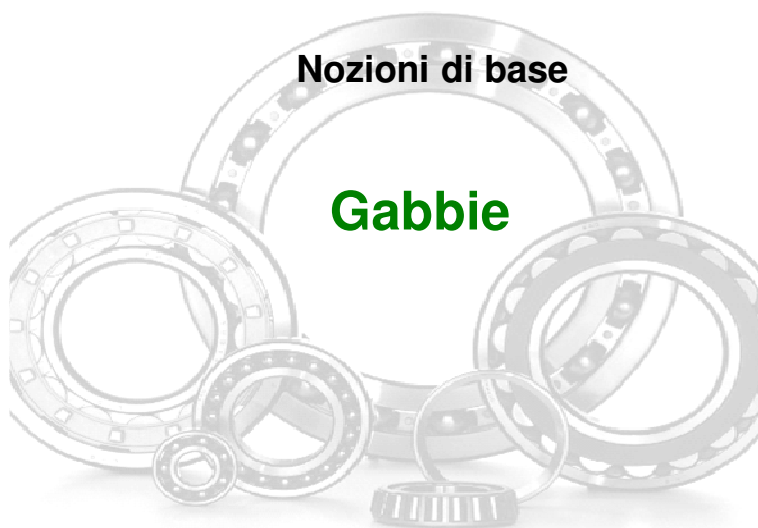
Pag. 57

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



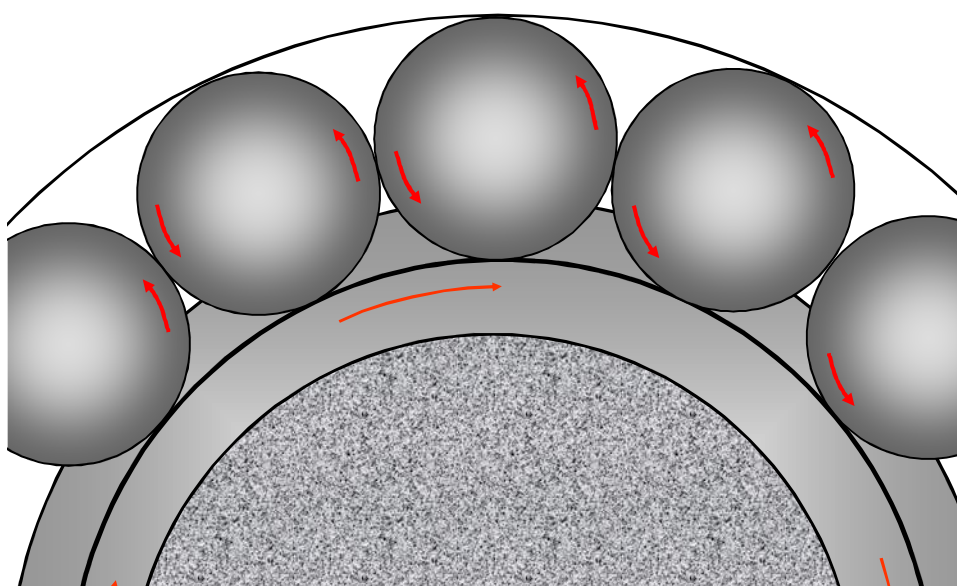
**Nozioni di base**

**Gabbie**



**Generalità sui cuscinetti volventi**

Pieno riempimenti di sfere - Attriti



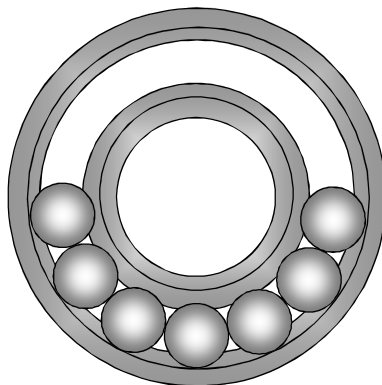
## Caratteristiche dei cuscinetti volventi

### 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



Pag. 60

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

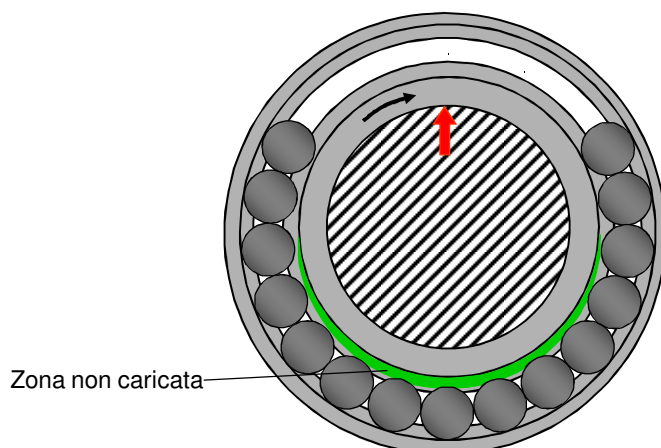
## Caratteristiche dei cuscinetti volventi

### Gabbia dei cuscinetti volventi



Quali altre funzioni ha la gabbia?

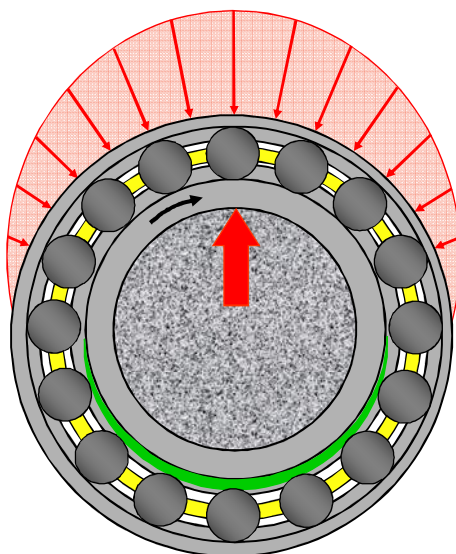
4. Guida i corpi volventi al di fuori della zona non caricata del cuscinetto



SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Caratteristiche dei cuscinetti volventi

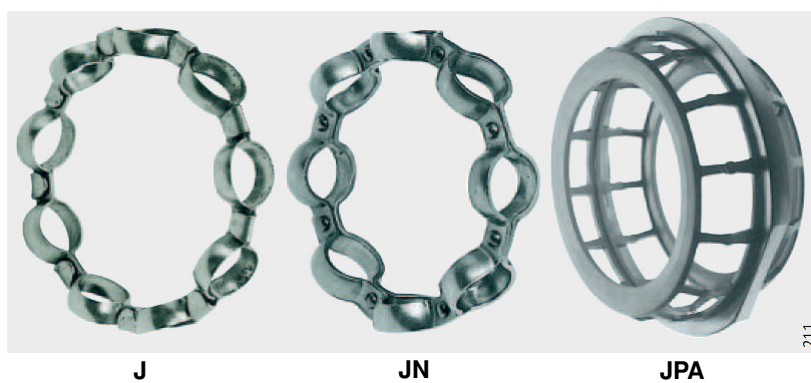
### Gabbia dei cuscinetti volventi



SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

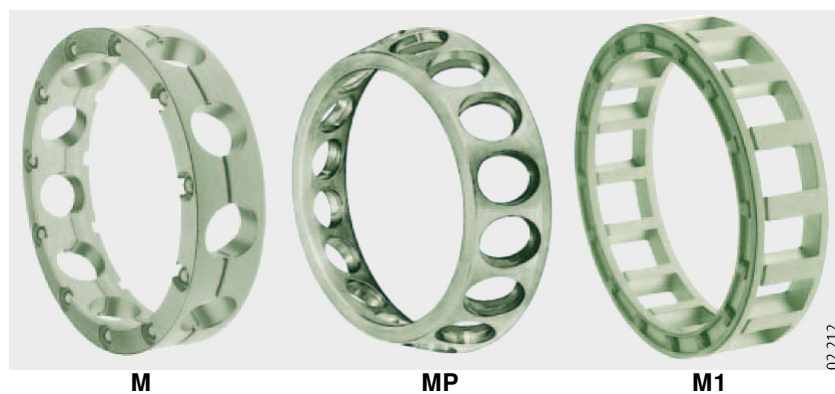
## Generalità sui cuscinetti volventi

### Gabbia in lamiera



### Generalità sui cuscinetti volventi

Gabbia massiccia in ottone



Pag. 64

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Generalità sui cuscinetti volventi

Gabbie massicce in plastica

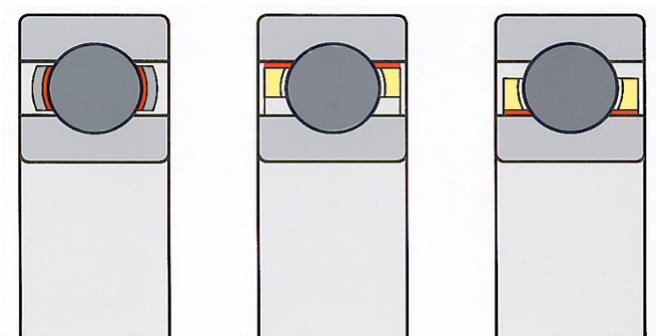


Pag. 65

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Generalità sui cuscinetti volventi

### Gabbia



Guida sui corpi volventi

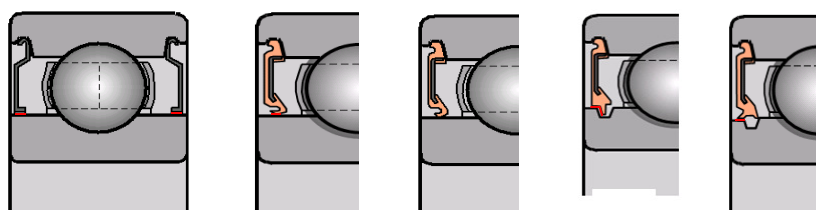
Guida sull'anello esterno  
Suffisso **A**

Guida sull'anello interno  
Suffisso **B**

Pag. 66

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Tenute



**Z opp. 2Z**

**RSD**

**RSR**

**BRS**

**URS**

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

Pag. 67

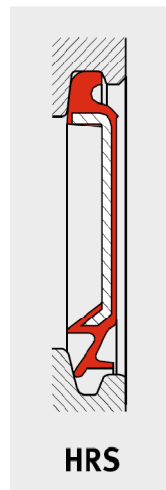
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## 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



Pag. 68

SCHAEFFLER 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

Precisione



Segni di misura e simboli di tolleranza	Definizioni e simboli di tolleranza	Caratteristiche con tolleranza secondo DIN 1132 e DIN 520
d		Dimensione nominale del foro
$\Delta_{dmp}$		Scostamento del diametro medio nel foro in un sezione piano
$\Delta_{dfeq}$		Scostamento del diametro medio grande per fori conici
$V_{dop}$		Variazione di un singolo diametro del foro in un piano singolo
$V_{dmo}$		Variazione del diametro medio del foro
D		Dimensione nominale del manello esterno
$\Delta_{Dmp}$		Scostamento del diametro medio del manello in un piano singolo
$V_{Dop}$		Variazione di un singolo diametro del manello in un piano singolo
$V_{Dmo}$		Variazione del diametro medio del manello esterno
b		Larghezza nominale dell'anello interno
$\Delta_{bs}$		Scostamento di una singola misura nella larghezza nel piano interno
$V_{bs}$		Variazione della larghezza dell'anello interno
B		Larghezza nominale dell'anello esterno
$\Delta_{Bs}$		Scostamento di una singola misura nella larghezza dell'anello esterno
$V_{Bs}$		Variazione della larghezza dell'anello esterno
$K_{ia}$		Eccentricità di rotazione radiale dell'anello interno nel cuscinetto assemblato
$K_{ea}$		Eccentricità di rotazione radiale dell'anello esterno nel cuscinetto assemblato
$S_d$		Criterio di quadratura delle facce frontali rispetto al foro
$S_{ij}$		Variazione dell'inclinazione della linea del mantello esterno rispetto alla superficie laterale
$S_{ia}$		Eccentricità di rotazione assiale dell'anello interno nel cuscinetto assemblato
$S_{ea}$		Eccentricità di rotazione assiale dell'anello esterno nel cuscinetto assemblato
$S_l$		Variazione dello spessore di una ralla per albero
$S_e$		Variazione dello spessore di una ralla per alloggiamento
T		Altezza nominale di un cuscinetto assiale a semiluce effetto

## Precisione

Cuscinetti radiali



Cuscinetto : 6006 – tolleranza foro ?

Cuscinetto 6006 P5 – tolleranza foro ?

**Classe di tolleranza PN**  
anello interno  
tolleranze in  $\mu\text{m}$

d		$\Delta_{\text{dmp}}$		$V_{\text{dmp}}$ Serie dei diametri			$V_{\text{dmp}}$	$K_{\text{ia}}$
mm		Scostamento		9	0, 1	2, 3, 4		
oltre	fino a	superiore	inferiore	max.	max.	max.	max.	max.
0,6 <sup>1)</sup>	2,5	0	-8	10	8	6	6	10
2,5	10	0	-8	10	8	6	6	10
10	18	0	-8	10	8	6	6	10
18	30	0	-10	13	10	8	8	13
30	50	0	-12	15	12	9	9	15

**Classe di tolleranza P5**  
anello interno  
tolleranze in  $\mu\text{m}$

d		$\Delta_{\text{dmp}}$		$V_{\text{dmp}}$ Serie dei diametri		$V_{\text{dmp}}$	$K_{\text{ia}}$	$S_d$
mm		Scostamento		9	0, 1, 2, 3, 4			
oltre	fino a	superiore	inferiore	max.	max.	max.	max.	max.
0,5 <sup>1)</sup>	2,5	0	-5	5	4	3	4	/
2,5	10	0	-5	5	4	3	4	7
10	18	0	-5	5	4	3	4	7
18	30	0	-6	6	5	3	4	8
30	50	0	-8	8	6	4	5	8

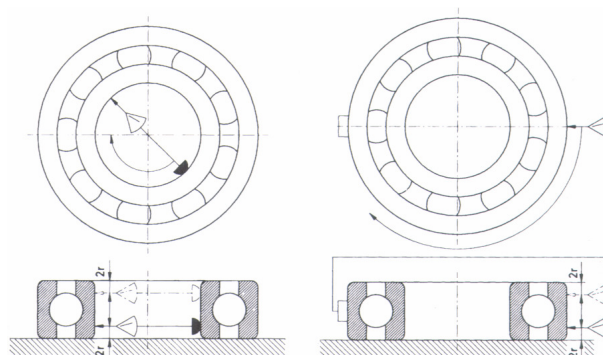
Pag. 72

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Precisione



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



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

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

La variazione ( $V_{\text{dmp}}$ ,  $V_{D\text{mp}}$  - 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

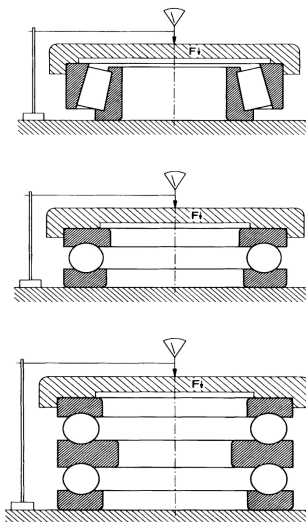
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## 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  $50 \pm 5$  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.



Pag. 74

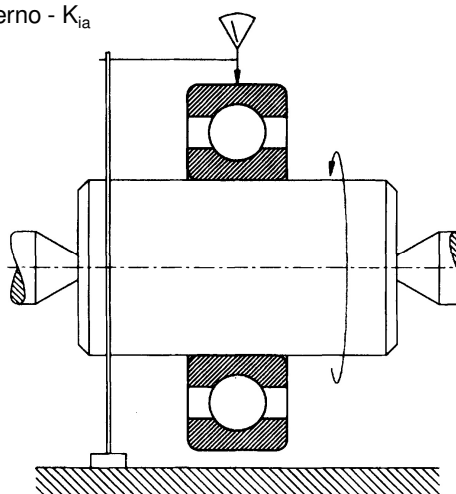
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## 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  $K_{ia}$ .



Pag. 75

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



## Nozioni di base

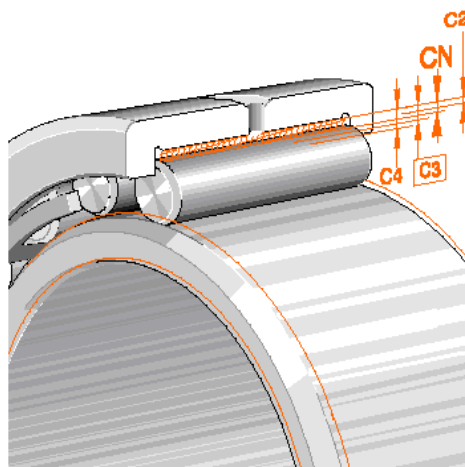
# Giochi



## 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.

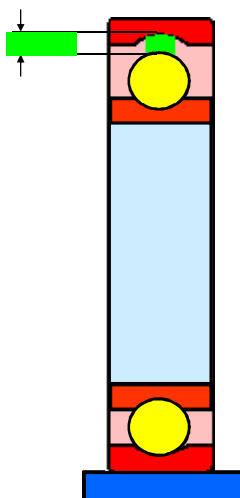


## Gioco del cuscinetto

### Gioco radiale



Gioco radiale



Pag. 78

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

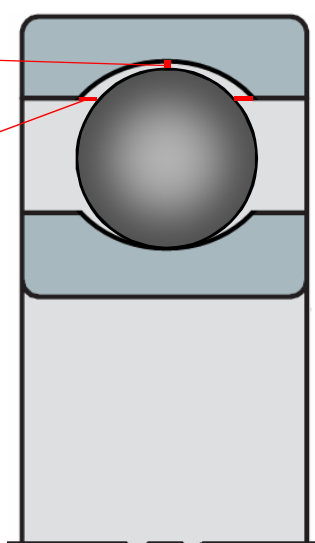
## Gioco radiale / gioco assiale

### Relazioni geometriche



Gioco radiale

Gioco assiale



Pag. 79

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Gioco del cuscinetto

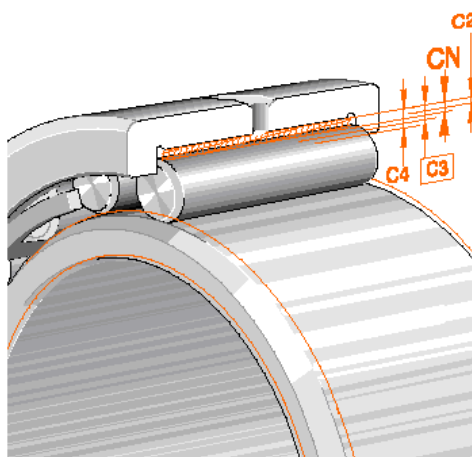
### Categorie di giochi radiali



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

- C1** inferiore a C2
- C2** inferiore al normale
- CN<sup>1</sup>** gioco normale, in genere non specificato
- C3** superiore al normale
- C4** superiore a C3

<sup>1)</sup> in passato C0



Pag. 80

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Cuscinetti radiali rigidi a sfere

### Gioco radiale



Esempio:  
**6008-C3**

Foro		Gioco radiale							
d	mm	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	15	33	30	51
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71

Pag. 81

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Gioco radiale / gioco assiale



### Gioco radiale e assiale

È importante perchè ha impatto su ...

Vita del supporto

**Il precarico radiale causa un incremento della pressione hertziana**

Rumorosità

**Il precarico radiale causa un incremento della rumorosità**

Attrito, coppia di spunto

**Il precarico radiale causa un incremento della pressione hertziana**

Lubrificazione

**Un gioco radiale troppo piccolo non consente la formazione della pellicola lubrificante elastoidrodinamica**

**Un gioco radiale errato è causa di cattive prestazioni**

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Giochi

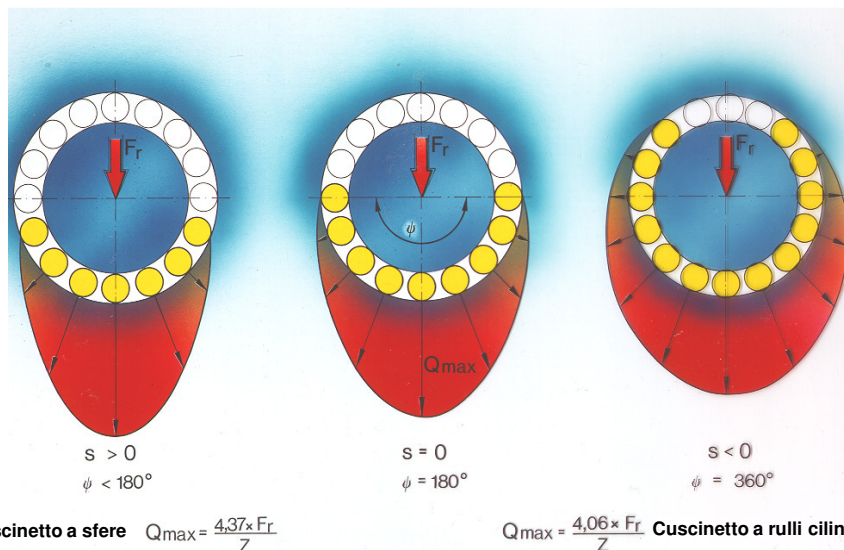


Gruppi di gioco radiale

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.

## Accoppiamento forzato – influenza sul gioco radiale

### Influenza del gioco sulla distribuzione del carico



Pag. 84

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Nozioni di base

## Tolleranze di montaggio

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi



### 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

Pag. 87

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi



### Condizioni di rotazione

#### Carico puntiforme (fisso)

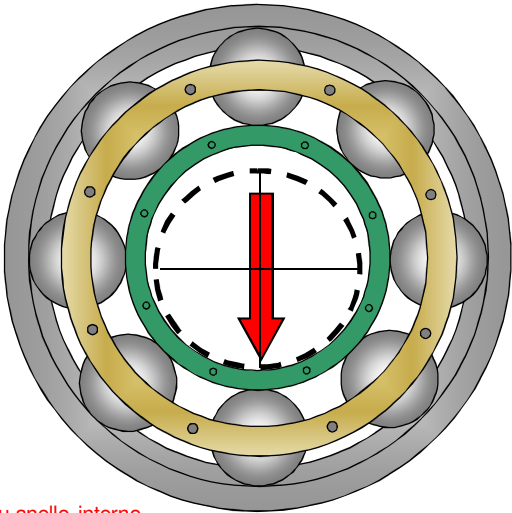
Si ha una condizione di carico puntiforme quando il carico agisce sempre sulla stessa zona del cuscinetto.

In questo caso è possibile un accoppiamento libero.

Pag. 88

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Progettazione delle sedi

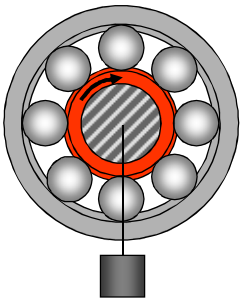


Carico periferico su anello interno  
+ gioco tra albero e anello interno  
= rotolamento tra albero e anello

Pag. 89

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Tolleranze di montaggio  
Progettazione delle sedi

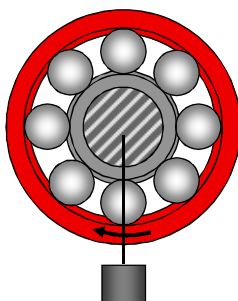


Anello interno	Carico periferico
Anello esterno	Carico puntiforme

Pag. 90

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi

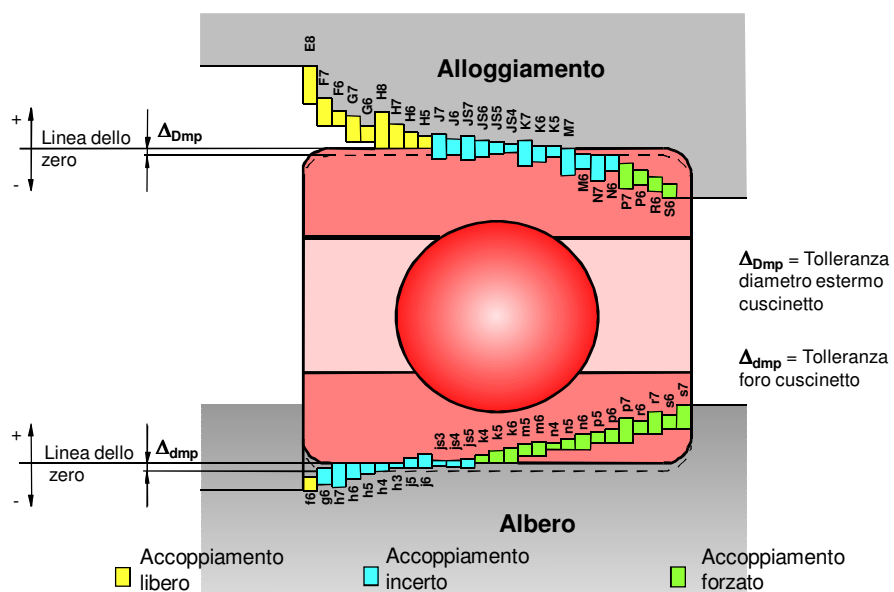


Anello interno      Carico puntiforme  
Anello esterno      Carico periferico

Pag. 91

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi



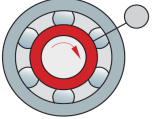
Pag. 92

SCHAEFFLER 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) <sup>1)</sup>

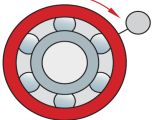
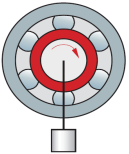
Pag. 93

SCHAEFFLER 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 <sup>2)</sup>	j6 (j5)
		50 fino a 100	Carico basso <sup>3)</sup>	j6 (j5)
			Carico norm./elevato <sup>4)</sup>	k6 (k5)
		100 fino a 200	Carico basso <sup>2)</sup>	k6 (m6)
			Carico norm./elevato <sup>5)</sup>	m6 (m5)
		oltre 200	Carico basso	m6 (m5)
			Carico norm./elevato	n6 (n5)
	Cuscinetti a rulli	fino 60	Carico basso	j6 (j5)
			Carico norm./elevato	k6 (k5)
		60 fino a 200	Carico basso	k6 (k5)
			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
	Cuscinetti a rullini	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

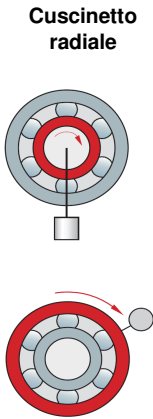
Pag. 94

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Progettazione delle sedi  
Scelta degli accoppiamenti



Carico puntiforme sull'anello esterno

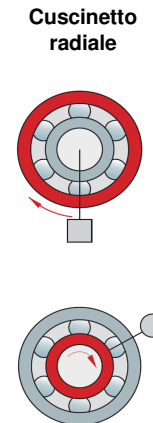


Spostabilità carico	Condizioni d'esercizio	Tolleranza
Anello esterno facilmente spostabile, supporto monoblocco	La qualità della tolleranza si basa sulla necessaria precisione di rotolamento	H7 (H6) <sup>1)</sup>
Anello esterno facilmente spostabile, supporto in due metà		H8 (H7)
Anello esterno difficilmente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

Pag. 95

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Progettazione delle sedi  
Scelta degli accoppiamenti

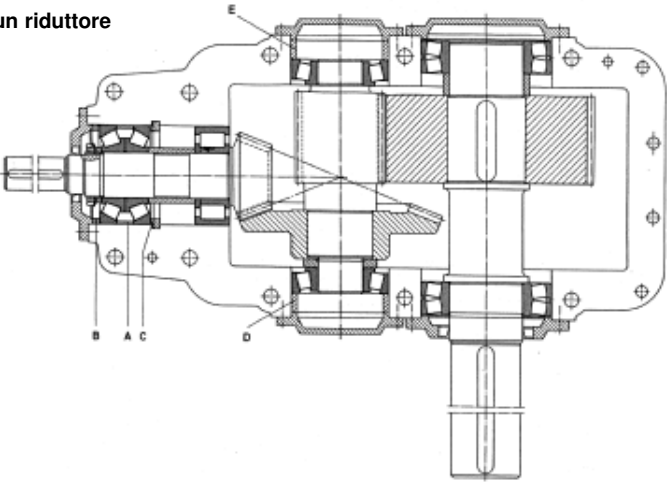


Carico irregolare per l'anello esterno o direzione di carico indeter- minata	Carico ridotto, anello esterno non spostabile	Per elevate esigenze di precisione d'esercizio K6, M6, N6 e P6	K7 (K6)
	Carico normale, urti, anello esterno non spostabile		M7 (M6)
	Carico elevato, urti ( $L/P < 6$ ), anello esterno non spostabile		N7 (N6)
	Carico elevato, forti urti, alloggiamento a parete sottile, anello esterno non spostabile		P7 (P6)

Pag. 96

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Schema di un riduttore

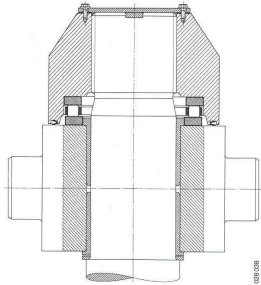
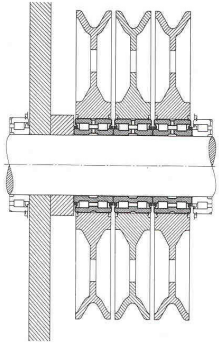
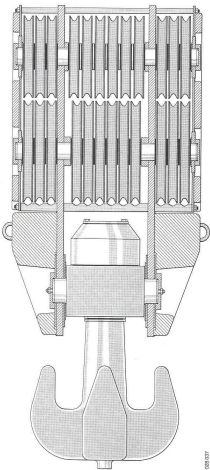
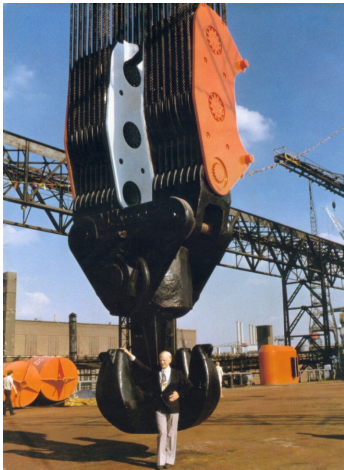


	cuscinetti	n [rpm]	P[kN]		
ingresso	31315-N11CA	1000	37.3		
ingresso	NUP 2315 E	1000	40.7		
intermedio	30320	396	56.2 / 40.52		
uscita	23028	160	73.9		

Tolleranze di montaggio ?  
albero : k5 – m6  
alloggiamento : H6 – H7

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Pag. 97



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

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Pag. 98

## 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

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

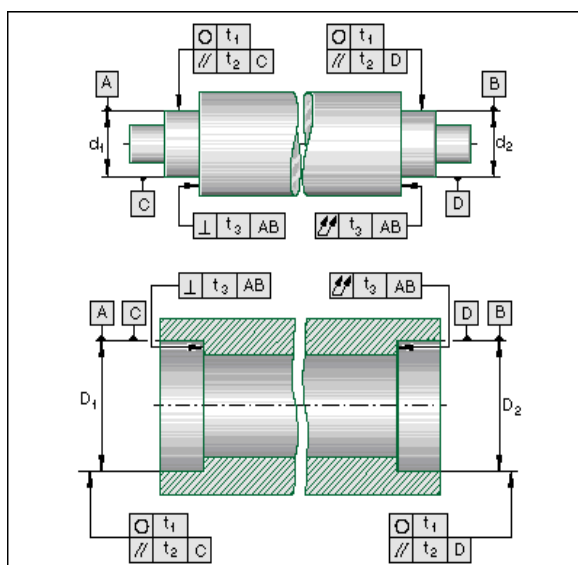
## Progettazione delle sedi Tolleranze di forma delle sedi



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

SCHAEFFLER 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 paralle- lismo	Tolleranza di planarità dello spalla-mento t3
		t1	t2	
Classe di tolleranza dei cuscinetti PN				
Albero	IT 6 (IT 5)	Carico periferico IT 4/2	IT 4	IT 4
		Carico puntiforme IT 5/2	IT 5	
Supporti	IT 7 (IT 6)	Carico periferico IT 5/2	IT 5	IT 5
		Carico puntiforme IT 6/2	IT 6	
Classe di tolleranza dei cuscinetti P5				
Albero	IT 5	Carico periferico IT 2/2	IT 2	IT 2
		Carico puntiforme IT 3/2	IT 3	
Supporti	IT 6	Carico periferico IT 3/2	IT 3	IT 3
		Carico puntiforme IT 4/2	IT 4	

Pag. 101

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



**Nozioni di base**

**Configurazione del sistema di  
supporto**

- Cuscinetto fisso – mobile
- Cuscinetti flottanti
- Cuscinetti registrabili

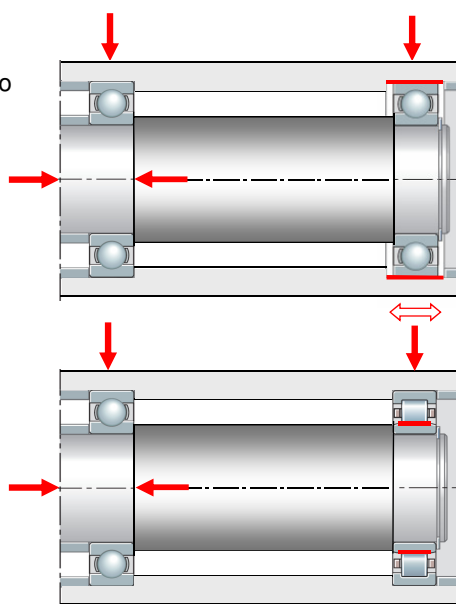


SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Cuscinetto fisso



Cuscinetto mobile

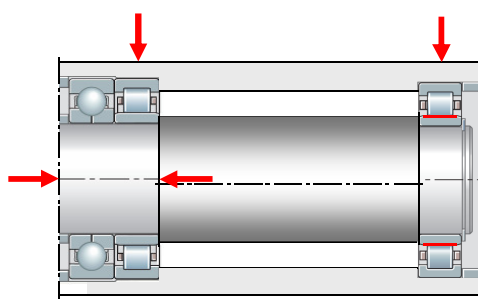
Pag. 103

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Cuscinetto fisso



Cuscinetto mobile

Pag. 104

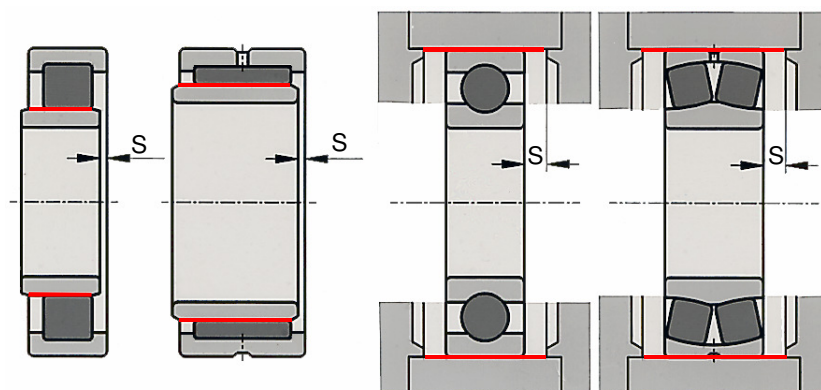
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Movimento assiale  
entro il cuscinetto

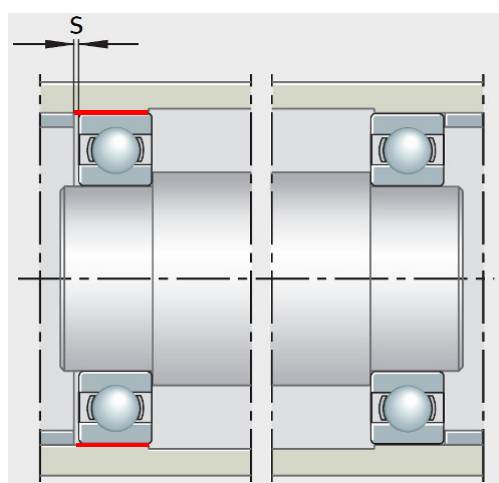
Movimento assiale tra  
cuscinetto e alloggiamento



Pag. 105

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

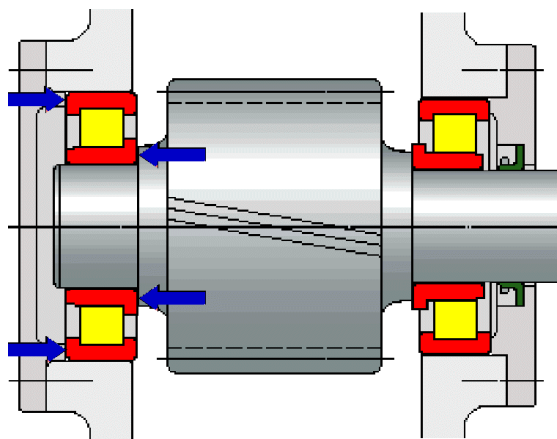
### Configurazione : cuscinetti flottanti



Pag. 106

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetti flottanti



Cuscinetto di  
appoggio

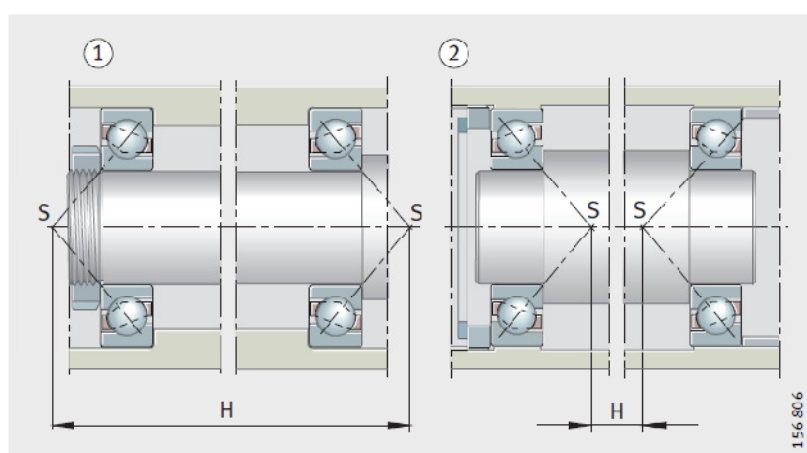
Cuscinetto di  
appoggio

Pag. 107

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetti registrabili

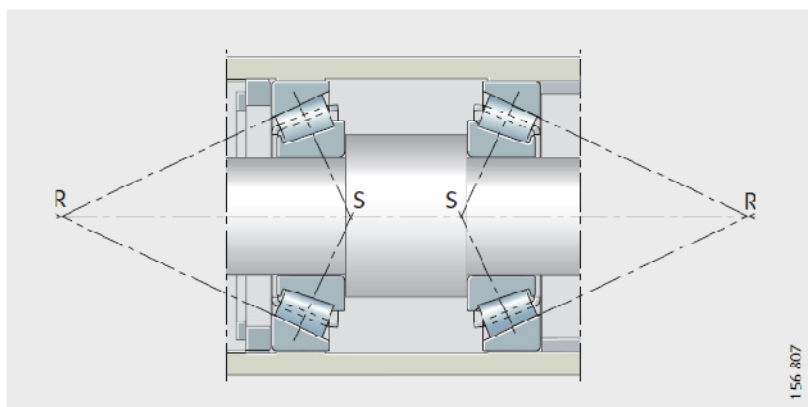
Questa configurazione permette la registrazione dei giochi



Pag. 108

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetti registrabili



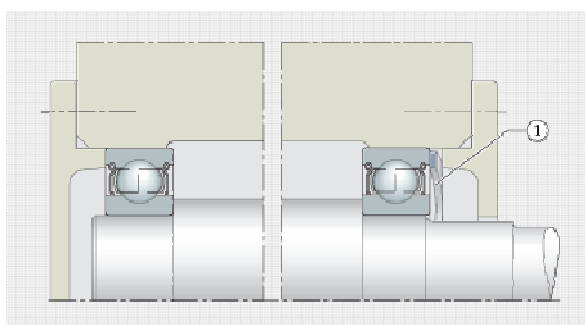
Pag. 109

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Configurazione : cuscinetti registrabili



- Registrazione Elastica

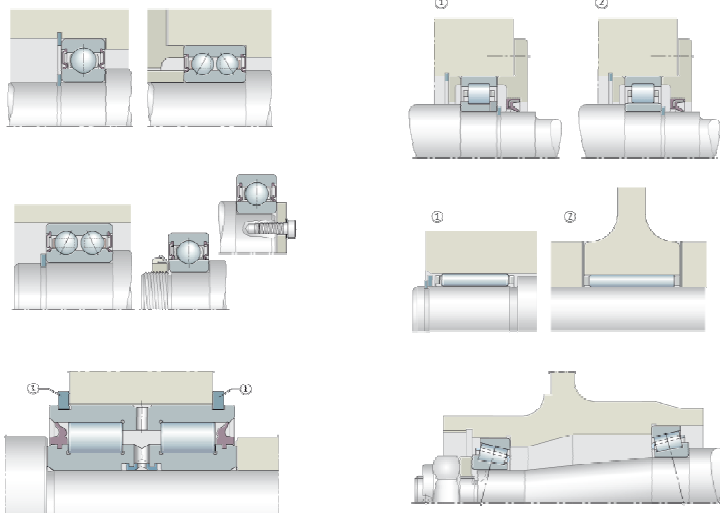


Pag. 110

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



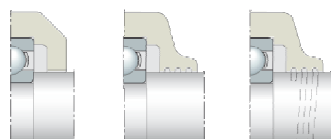
### Configurazione : Bloccaggio assiale



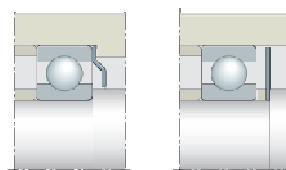
Pag. 111

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

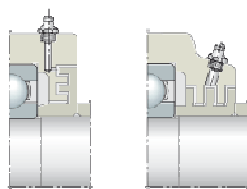
### Configurazione : Tenute



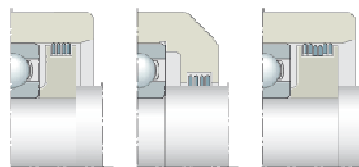
Tenute non striscianti



Schermi parapolvere rigidi



Tenute a labirinto



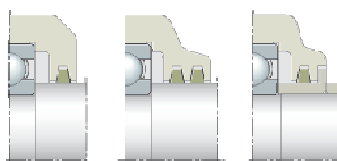
Anelli lamellari

Pag. 112

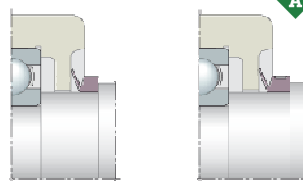
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



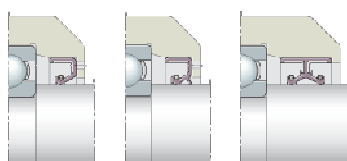
## Configurazione : Tenute



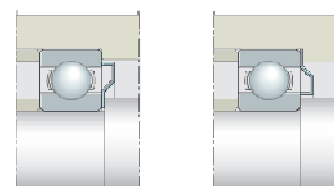
Anelli in feltro



Anelli V



Tenute radiali per albero



Lamierini di tenuta

Pag. 113

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



Nozioni di base

**Calcolo della durata**



SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## 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

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Calcolo della durata

### Vita teorica



Durata in milioni di giri oppure ore di esercizio

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

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.

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

Pag. 116

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Calcolo della durata

### Coefficiente di carico dinamico C



Cuscinetto a sfere radiale	$D_w \leq 25,4 \text{ mm}$	$C = b_m \cdot f_c \cdot (i \cdot \cos \alpha_0)^{0,7} \cdot z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$
	$D_w > 25,4 \text{ mm}$	$C = b_m \cdot f_c \cdot (i \cdot \cos \alpha_0)^{0,7} \cdot z^{2/3} \cdot 3,647 \cdot D_w^{1,4}$
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 $\alpha_0 = 90^\circ$	$D_w \leq 25,4 \text{ mm}$	$C = b_m \cdot f_c \cdot z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$
	$D_w > 25,4 \text{ mm}$	$C = b_m \cdot f_c \cdot z^{2/3} \cdot 3,647 \cdot D_w^{1,4}$
Cuscinetto a sfere assiale $\alpha_0 < 90^\circ$	$D_w \leq 25,4 \text{ mm}$	$C = b_m \cdot f_c \cdot (\cos \alpha)^{0,7} \cdot \tan \alpha_0 \cdot z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$
	$D_w > 25,4 \text{ mm}$	$C = b_m \cdot f_c \cdot (\cos \alpha)^{0,7} \cdot \tan \alpha_0 \cdot z^{2/3} \cdot 3,647 \cdot D_w^{1,4}$
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 volante
$l_{eff}$	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 volenti in un cuscinetto
$z$	-	Numero di corpi volenti in una corona
$\alpha_0$	°	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

SCHAEFFLER 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

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Calcolo della durata Condizioni equivalenti



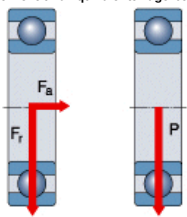
Il carico dinamico equivalente P

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

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)	<p>Tatsächliche und Äquivalente Lagerbelastung</p> 
Y	Coefficiente assiale (valori tratti da cataloghi di cuscinetti volventi)	

Pag. 119

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## 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  $L = (C/P)^p$  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:

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

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

Pag. 120

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Calcolo dei valori dinamici equivalenti



- Carico e velocità variabili in modo graduale

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

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

velocità equivalente

carico equivalente

Calcolo dei valori dinamici equivalenti



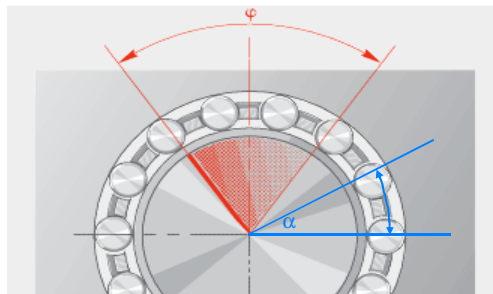
- Carico e velocità variabili in modo continuo

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

$$P = \sqrt[p]{\frac{\int_0^T \frac{1}{a(t)} \cdot n(t) \cdot F^p(t) \cdot dt}{\int_0^T n(t) \cdot dt}}$$

$n$   $\text{min}^{-1}$   
Velocità di rotazione media  
 $T$   $\text{min}$   
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  $a_{DIN}$ ,  
 $n_i, n(t)$   $\text{min}^{-1}$   
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;  $q_i = (\Delta t_i / T) \cdot 100$   
 $F_i, F(t)$   $N$   
Carico sul cuscinetto nella condizione momentanea d'esercizio

## Movimento oscillante



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

$\phi$  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.

$$\varphi > 2\alpha$$

Pag. 123

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Calcolo della durata - esempio Condizioni equivalenti



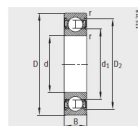
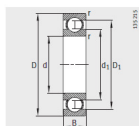
Calcolare la durata del cuscinetto 6210 (gioco CN) su cui agiscono i seguenti carichi:

$F_r = 12.000 \text{ N}$

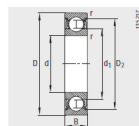
$F_a = 5.000 \text{ N}$

Da catalogo troviamo:

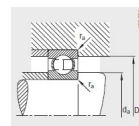
Cuscinetti radiali  
rigidi a sfere  
ad una corona  
aperti o con tenute



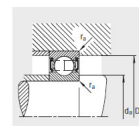
Tenuta 2RSR



Tenuta 2Z



Dimensioni delle parti adiacenti  
esecuzione aperta



Dimensioni delle parti adiacenti  
esecuzione schermata

Tabella dimensionale (continuazione) - Dimensioni in mm									
Sigle	Massa ~kg	Dimensioni							
		d	D	B	r	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	
61810-2Z-Y	0,052	50	65	7	0,3	—	61,8	55,1	
61910	0,13	50	72	12	0,6	—	65,5	56,6	
61910-2RSR	0,13	50	72	12	0,6	—	68,6	56,6	
16010	0,181	50	80	10	0,6	—	70,6	60,1	
6010	0,272	50	80	16	1	—	70,1	59,8	
6010-2RSR	0,283	50	80	16	1	—	72,9	59,8	
6010-2Z	0,282	50	80	16	1	—	72,9	59,8	
56010	0,26	50	80	16	1	—	70,1	59,8	
56010-2RSR	0,271	50	80	16	1	—	72,9	59,8	
6210	0,466	50	90	20	1,1	—	77,9	62	
6210-2RSR	0,48	50	90	20	1,1	—	80	62	
6210-2Z	0,478	50	90	20	1,1	—	80	62	
56210	0,469	50	90	20	1,1	—	77,9	62	

Dimensioni delle parti adiacenti				Coefficienti di carico		Carico limite di fatica $C_{or}$ N	Velocità di rotazione limite di riferimento $n_R$ min <sup>-1</sup>	Velocità di rotazione di riferimento $n_R$ min <sup>-1</sup>
$d_s$	$D_s$	$r_s$		$f_1$	$f_2$			
min.	max.	max.		min.	max.			
52	63	0,3		5.980	6.180	265	9.300	8.000
53,2	68,8	0,6		54.000	55.800	600	22.000	8.100
57,2	68,8	0,6		53.000	55.800	600	6.000	—
53,2	76,8	0,6		50.000	52.800	610	20.000	6.700
54,6	75,4	1		20.800	21.600	770	20.000	9.300
54,6	75,4	1		20.800	21.600	770	5.600	—
54,6	75,4	1		20.800	21.600	770	8.500	9.300
54,6	75,4	1		20.800	21.600	770	20.000	8.900
54,6	75,4	1		—	—	5.600	—	—
57	83	1		36.500	38.000	1.420	18.000	8.200
57	83	1		36.500	38.000	1.420	7.500	8.200
57	83	1		36.500	38.000	1.420	18.000	8.200

$C = 36.500 \text{ N}$   
 $C_0 = 24.000 \text{ N}$

## Calcolo della durata - esempio

### Condizioni equivalenti



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

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

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

Pag. 125

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Calcolo della durata - esempio

### Condizioni equivalenti



Fattore  $f_0$   
per cuscinetti radiali rigidi a sfera

Simbolo del foro	Fattore $t_0$										
	618	619	160	60	62	622	63	623	64	42	43
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	12,4	-	-	-	-	-	-
00	-	-	-	12,4	12,1	12,1	11,3	-	-	12,1	-
01	-	-	-	13	12,3	12,2	11,1	-	-	12,2	-
02	-	-	13,9	13,9	13,1	13,1	12,1	12,1	-	13,4	12,8
03	-	-	14,3	14,3	13,1	13,1	12,3	12,2	12,4	13,1	13,1
04	-	-	14,9	13,9	13,1	13,1	12,4	12,1	13	13,8	13,1
05	-	-	15,4	14,5	13,8	13,8	12,4	12,4	13,1	14,3	13,2
06	-	-	15,2	14,8	13,8	13,8	13	13	12,2	14,3	13,8
07	-	-	15,6	14,8	13,8	13,8	13,1	13,1	12,1	14,5	13,1
08	-	-	15,4	16	15,3	14	14	13	13	12,2	14,9
09	16,2	15,7	15,9	15,4	14,3	14,1	13	13	12,1	15,3	13,9
10	16,1	16	16,1	15,6	14,3	14,3	13	13	13,1	15,5	13,8
11	16,2	16	16,1	15,6	14,3	14,3	13	13	13,1	15,5	13,8
12	16,3	16,1	16,3	15,7	14,3	14,3	13	13	13,2	15,4	13,8
13	16,2	16,3	16,4	15,7	14,3	14,3	13	13	13,2	15,3	-
14	16,1	16,1	16,3	15,6	14,3	14,3	13	13	13,1	15,4	-

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

Fattore e, X ed Y

Fattore per gioco radiale									
$f_0 \cdot F_a / C_0$		C3			C4				
e	X	Y	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	1,27	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:  $e=0,36$   
 $X=0,56$   
 $Y=1,2$

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

Il carico assiale ha una grande influenza  $\Rightarrow$

Pag. 126

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Calcolo della durata - esempio

Condizioni equivalenti



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

Ipotezziamo 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

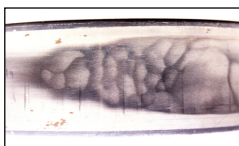
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

### Slittamento per effetto dei bassi carichi

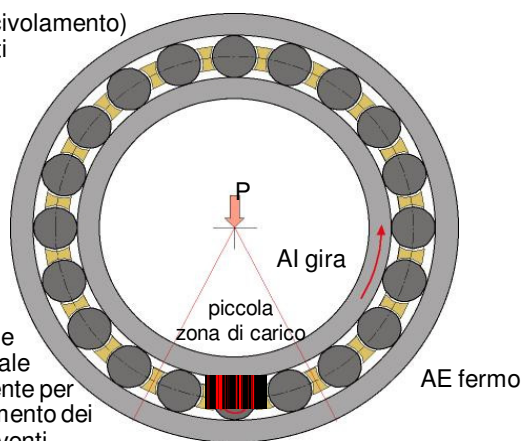


Lo slittamento è lo scorrimento (scivolamento) dell'anello interno sui corpi volenti con carico troppo basso

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



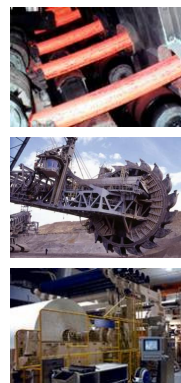
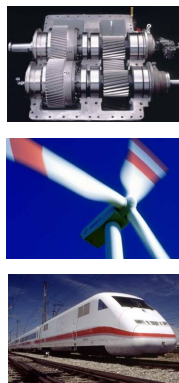
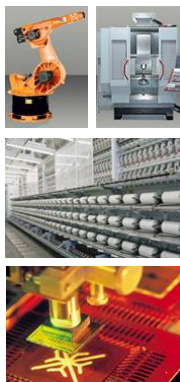
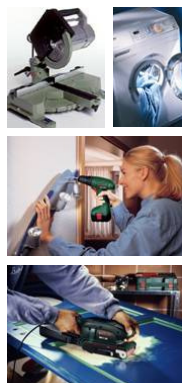
Pressione superficiale insufficiente per l'azionamento dei corpi volenti



Nel nostro es.  $P/C=0.35 \gg 0.01$

Pag. 128

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



### Evoluzione nel calcolo della durata



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.

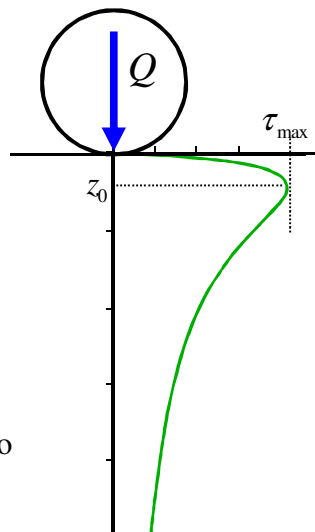


**Norma ISO 281**

Approccio di calcolo secondo Lundberg-Palmgren



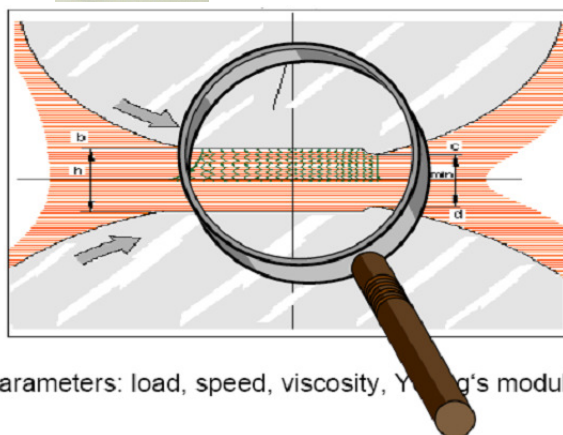
$$\ln\left(\frac{1}{S}\right) \sim \frac{\tau_0^c \cdot N^e \cdot V}{z_0^h}$$

 $S$  = Probabilità di sopravvivenza $\tau_0$  = massima tensione tangenziale $z_0$  = profondità della massima  $\tau$  $N$  = numero di cicli di carico $V$  = volume sollecitato $c$  = esponente determinato in modo empirico

Pag. 131

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE**Vita di esercizio**

Influenza della lubrificazione



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

Pag. 154

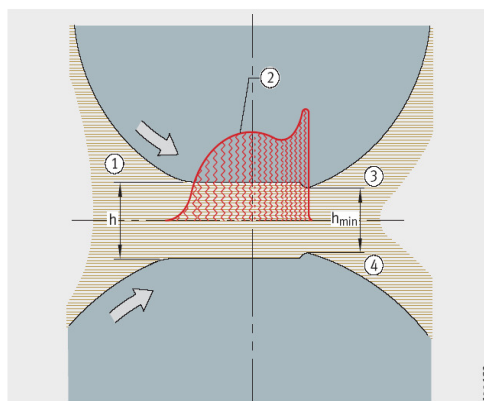
SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



### EHD = ElastoHydroDynamic

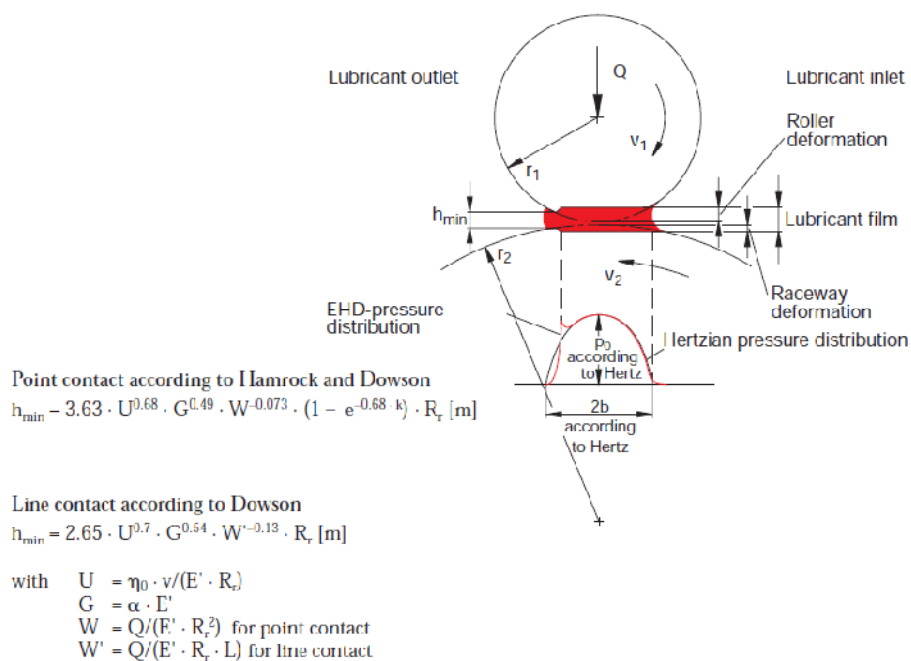
considera accanto alle equazioni fondamentali dell'idrodinamica anche la deformazione elastica dei corpi a contatto.

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



Pag. 155

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



Pag. 156

SCHAEFFLER 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  $v_1$ , 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).

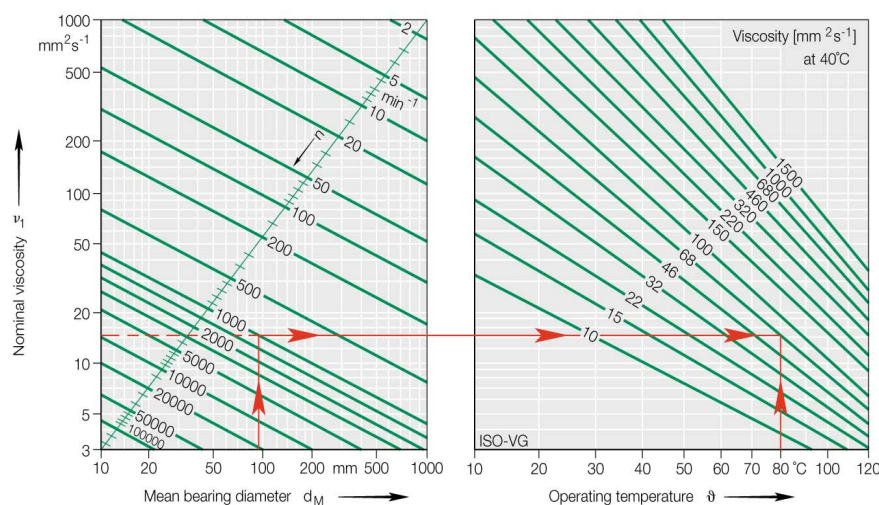
$$v_1 = 45000 n^{-0,83} D_{pw}^{-0,5} \quad \text{for } n < 1\,000 \text{ r/min} \quad (28)$$

$$v_1 = 4500 n^{-0,5} D_{pw}^{-0,5} \quad \text{for } n \geq 1\,000 \text{ r/min} \quad (29)$$

Pag. 157

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

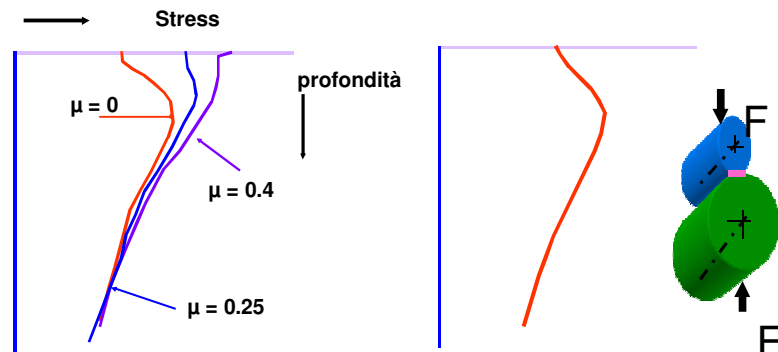
## Determinazione della viscosità nominale $v_1$



Pag. 158

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Fatica con inizio superficiale

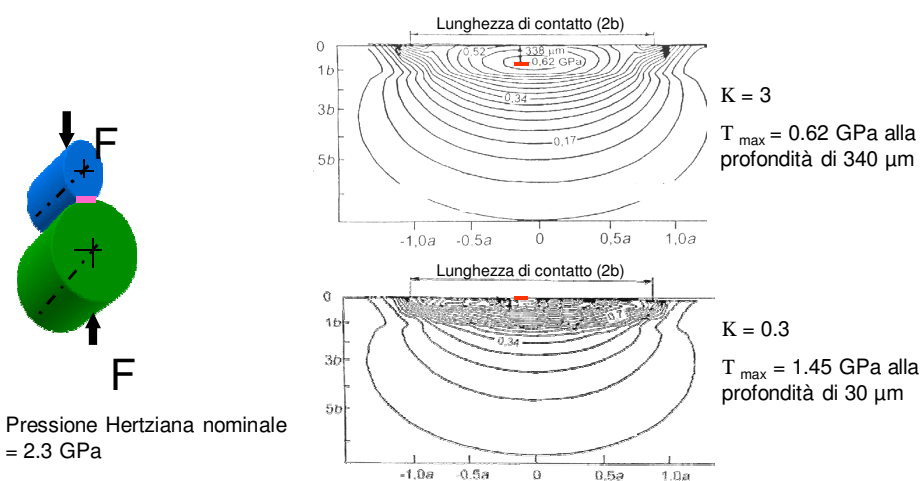


In condizioni di attrito misto (lubrificazione insufficiente) il valore massimo delle tensioni di taglio si sposta verso la superficie.

Pag. 159

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

## Fatica con inizio superficiale

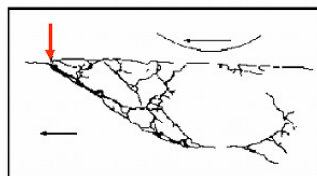


Pag. 160

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE



### Affaticamento superficiale



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



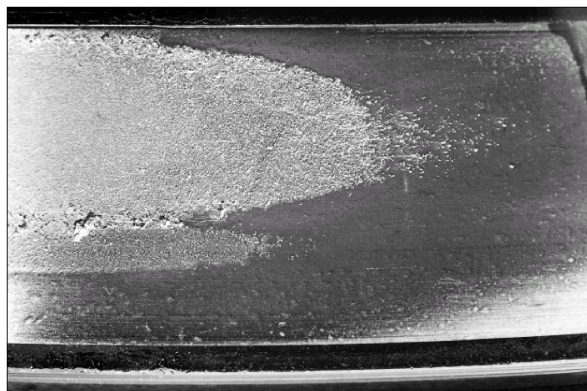
Pag. 161

SCHAEFFLER GRUPPE  
INDUSTRIE

Surface initiated fatigue



### Micropitting causato da insufficiente viscosità dell'olio



Pag. 162

