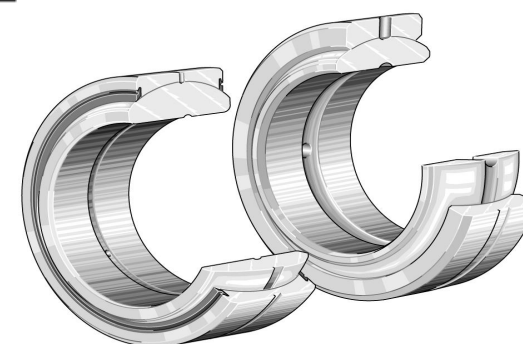


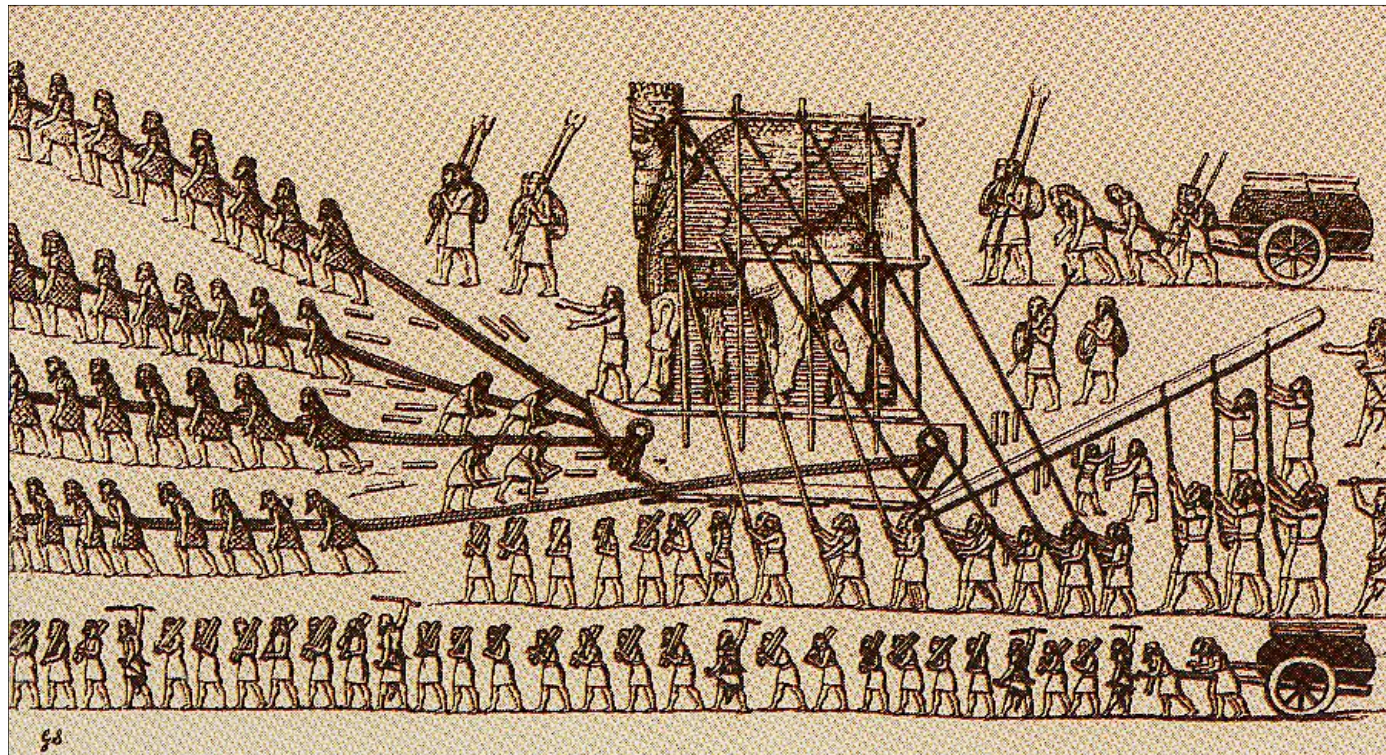
A collection of various rolling bearings of different sizes and types, including deep groove ball bearings, tapered roller bearings, and spherical roller bearings, arranged in a cluster. The bearings are rendered in a light gray, semi-transparent style.

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.



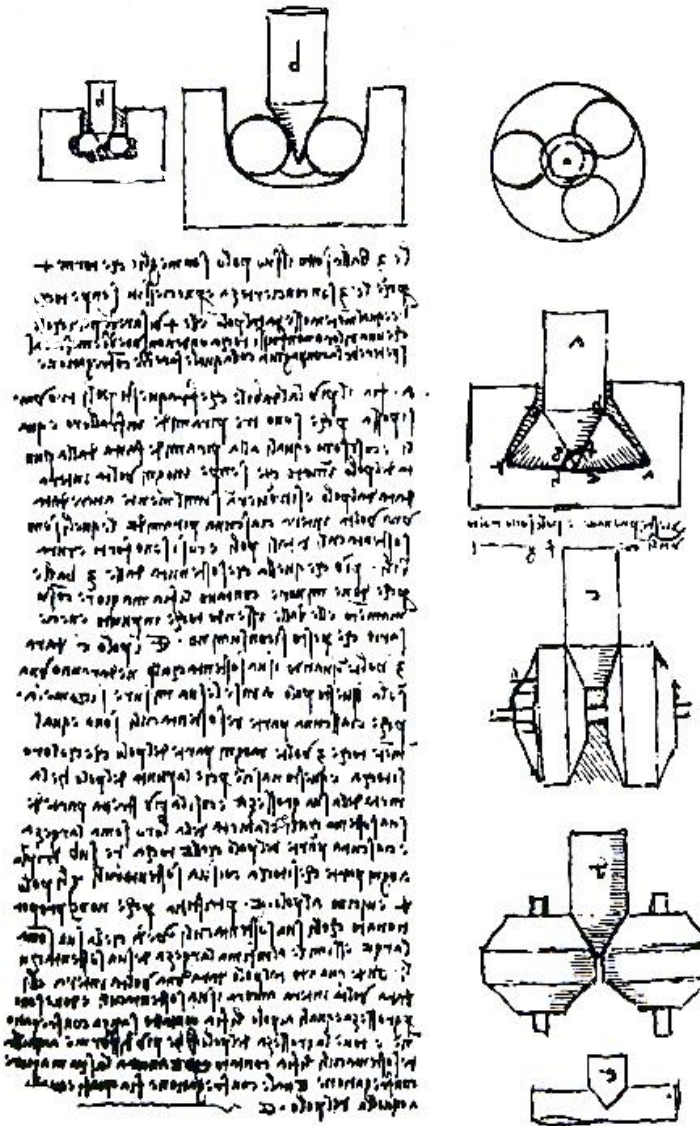
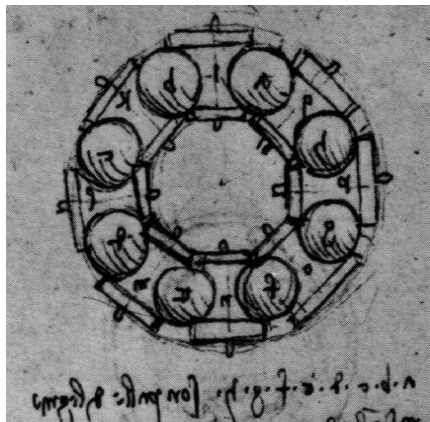
ca. 700 AC



Storia della tecnologia dei cuscinetti



Leonardo da Vinci (1452 - 1519) -



Produzione di sfere in pietra, 1683





**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.

Gamma prodotti completa per industria

Tutte le esecuzioni – Tutte le dimensioni



Catalogo INA-FAG con 40,000 articoli

Snodi sferici

Guide lineari

Componenti per cinematiche parallele

Cuscinetti a rulli cilindrici

Cuscinetti a sfere con anello di bloccaggio

Cuscinetti a rulli cilindrici con gabbia

Rotelle e perni folii

Cuscinetti orient. a rulli

Cuscinetti a rulli conici

Cuscinetti a rullini

Cuscinetti per mandrini

Azionamenti diretti

**Cuscinetti assiali/radiali a rulli cilindrici con un diametro esterno di 4250 mm
Possibilità di realizzazione fino a 12000 mm...**

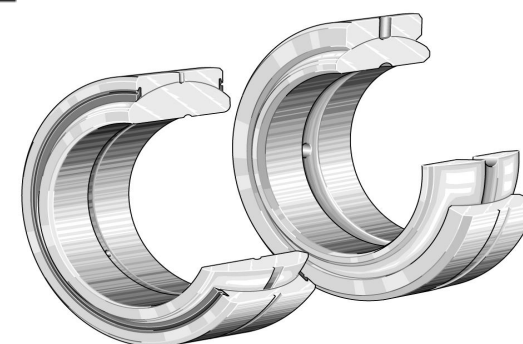
Microcuscinetto a sfere con il più piccolo diametro interno 1 mm

Macchine da stampa	Impianti eolici	Costruzioni e strutture	Apparecchiature medicali	Riduttori	Macchine utensili	Ponti
--------------------	-----------------	-------------------------	--------------------------	-----------	-------------------	-------

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.

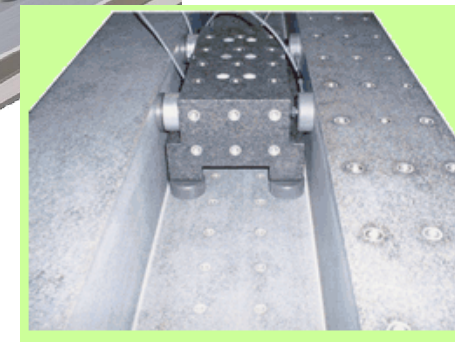
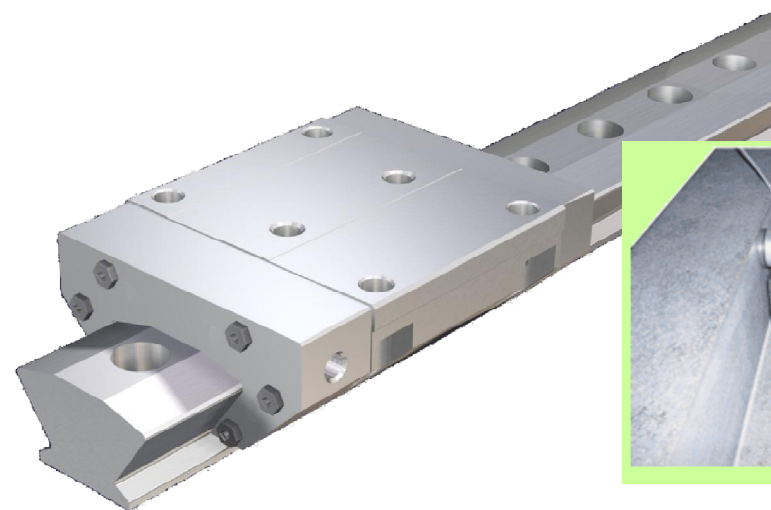
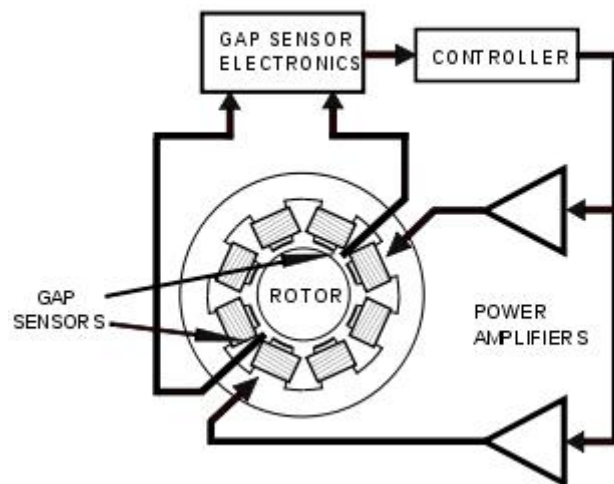
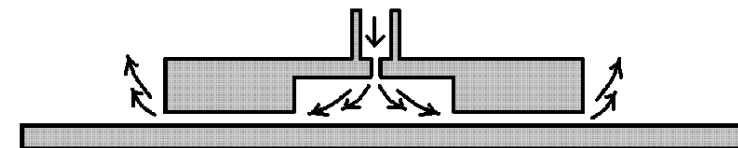
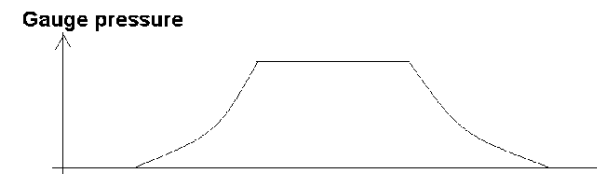
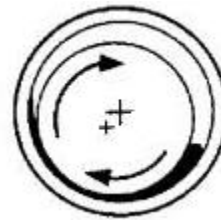
I cuscinetti si suddividono in :

- **cuscinetti a strisciamento (radenti)**
- **cuscinetti a rotolamento (volventi)**



Altre tipologie di cuscinetti

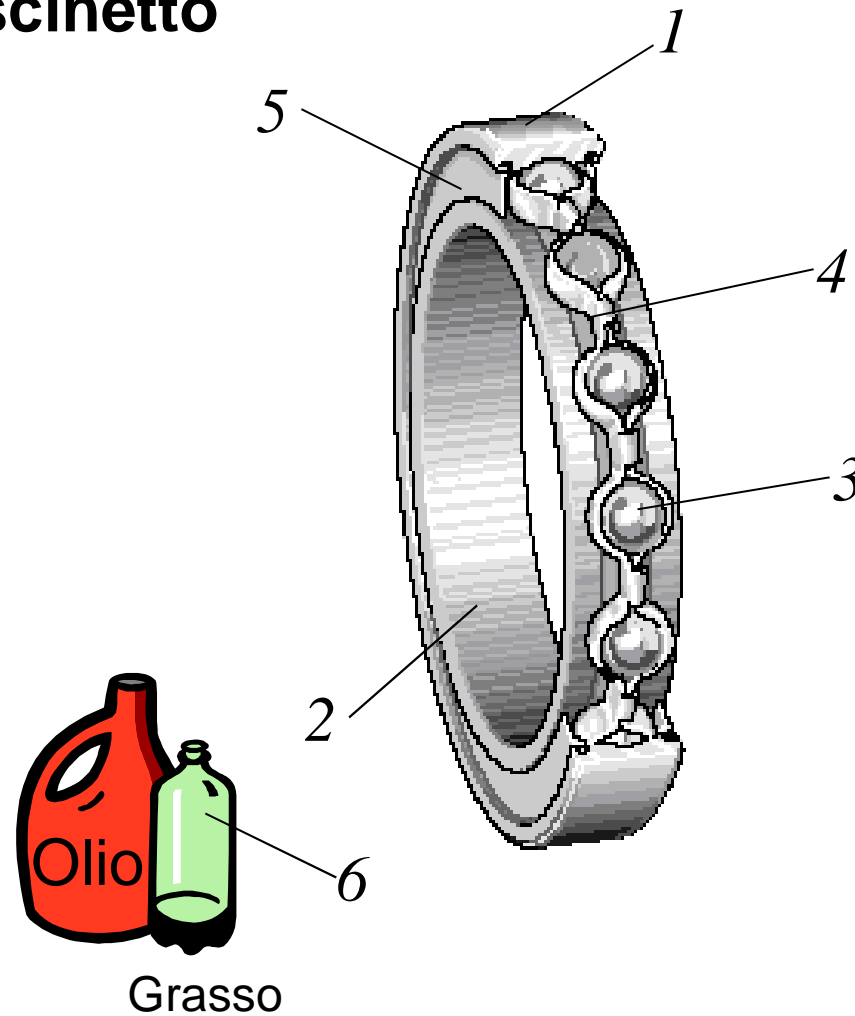
- cuscinetti idrodinamici
- cuscinetti idrostatici
- cuscinetti pneumatici
- cuscinetti magnetici



Composizione di un cuscinetto volvente standard

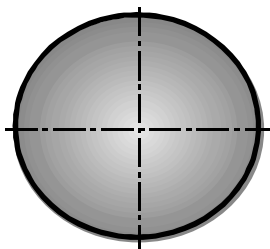
Il cuscinetto si compone di

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

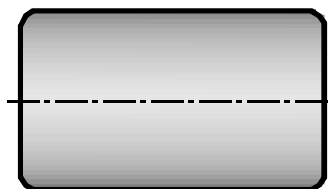


Corpi volventi

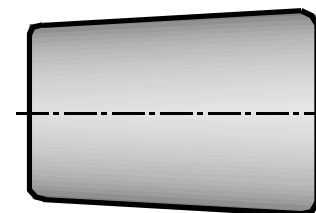
Panoramica



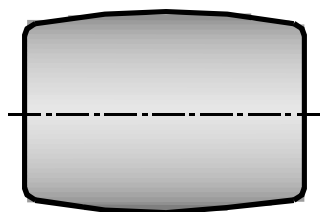
Sfere



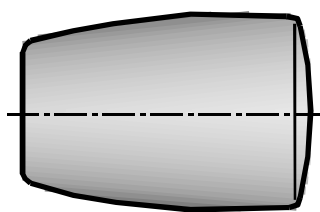
Rulli cilindrici



Rulli conici



Rulli a botte
simmetrici

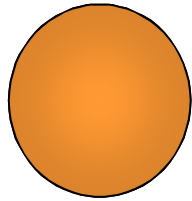


Rulli a botte
asimmetrici



Rullini

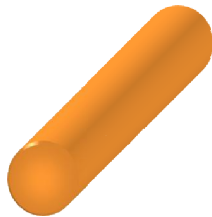
Corpi volventi



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

6020 (100x150x24)
 $n_G = 9500 \text{ min}^{-1}$

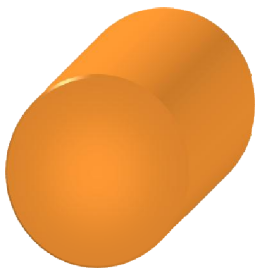
$C = 60 \text{ kN}$
del (10.000N) = 0,0406 mm



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

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)
 $n_G = 7500 \text{ min}^{-1}$
 $C = 116 \text{ kN}$

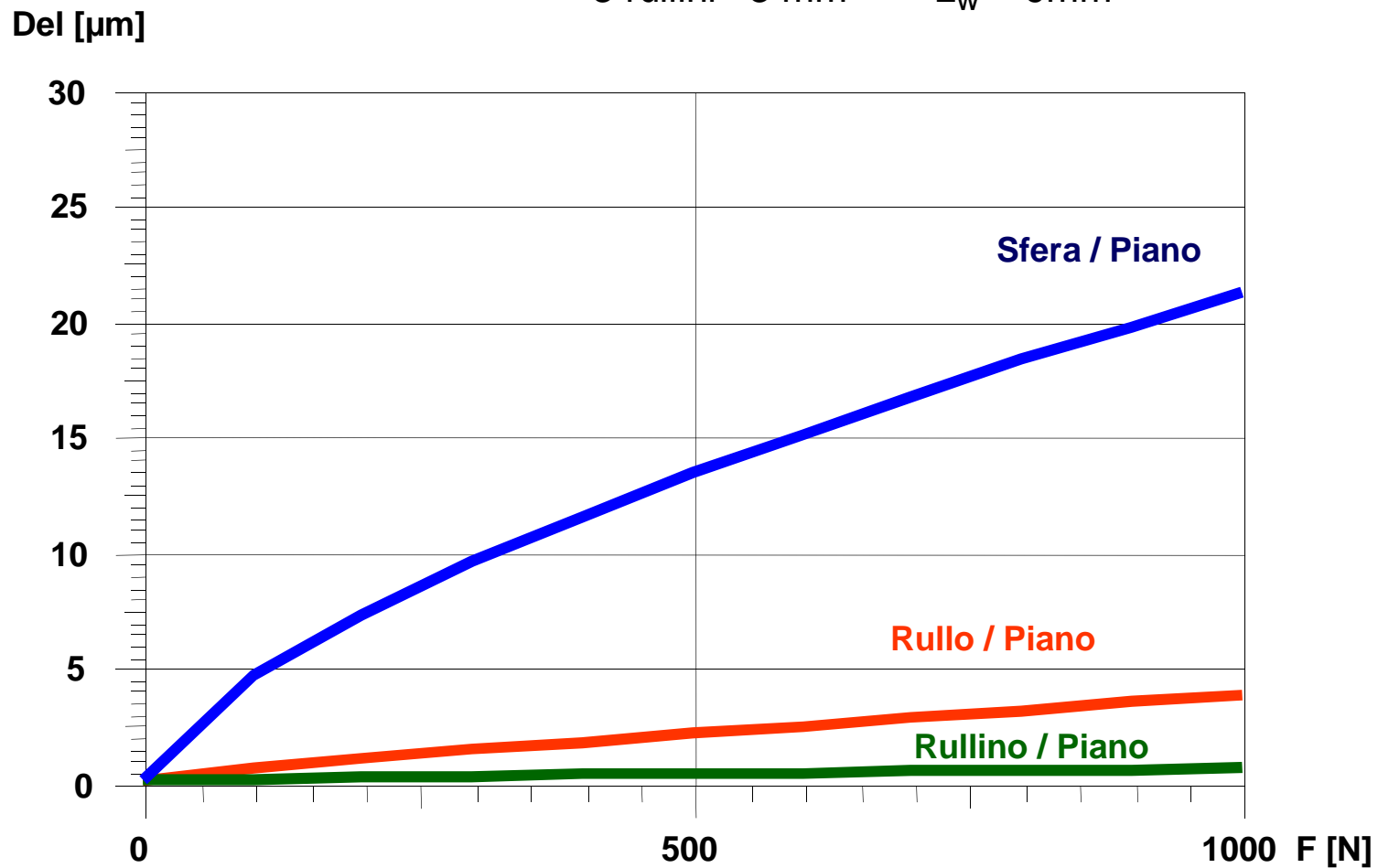
del (10.000N) = 0,0343 mm

Generalità sui cuscinetti volventi

Rigidezza



Esempio: Sfera 9 mm
Rullo 9 mm $L_w = 9$ mm
3 rullini 3 mm $L_w = 9$ mm



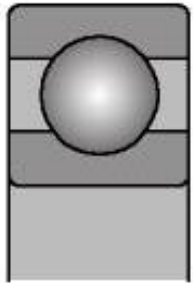
Nozioni di base

**Principali tipologie
di cuscinetti
volventi**

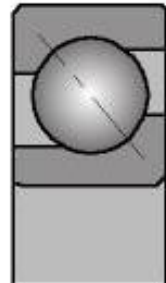


Cuscinetti radiali a sfere

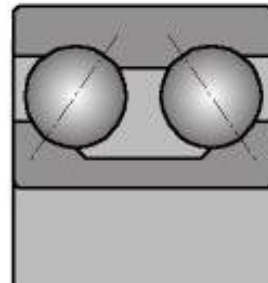
Panoramica



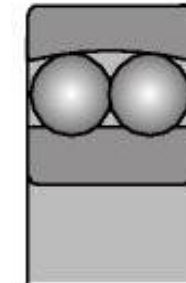
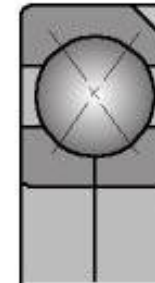
radiali rigidi
a sfere



a sfere a contatto obliquo
monocorona, a due corone



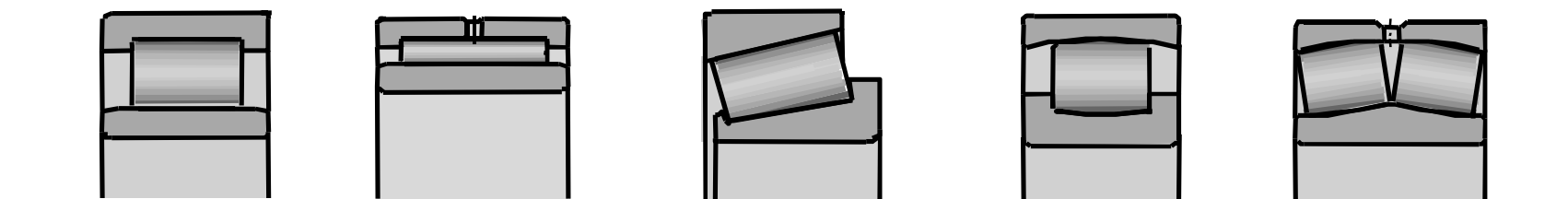
a quattro
punti di
contatto



orientabili

Cuscinetti radiali a rulli

Panoramica



rulli
cilindrici

rullini

rulli conici

a botte
una corona

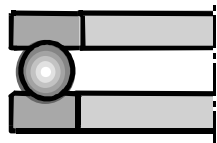
orientabili a
due corone

Cuscinetti assiali

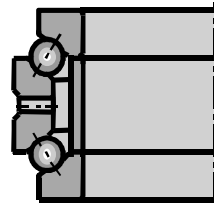
Panoramica



assiali a sfere

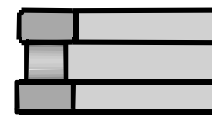


monodirezionali

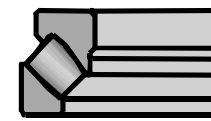


bidirezionali

assiali a rulli



monodirezionali
rigidi



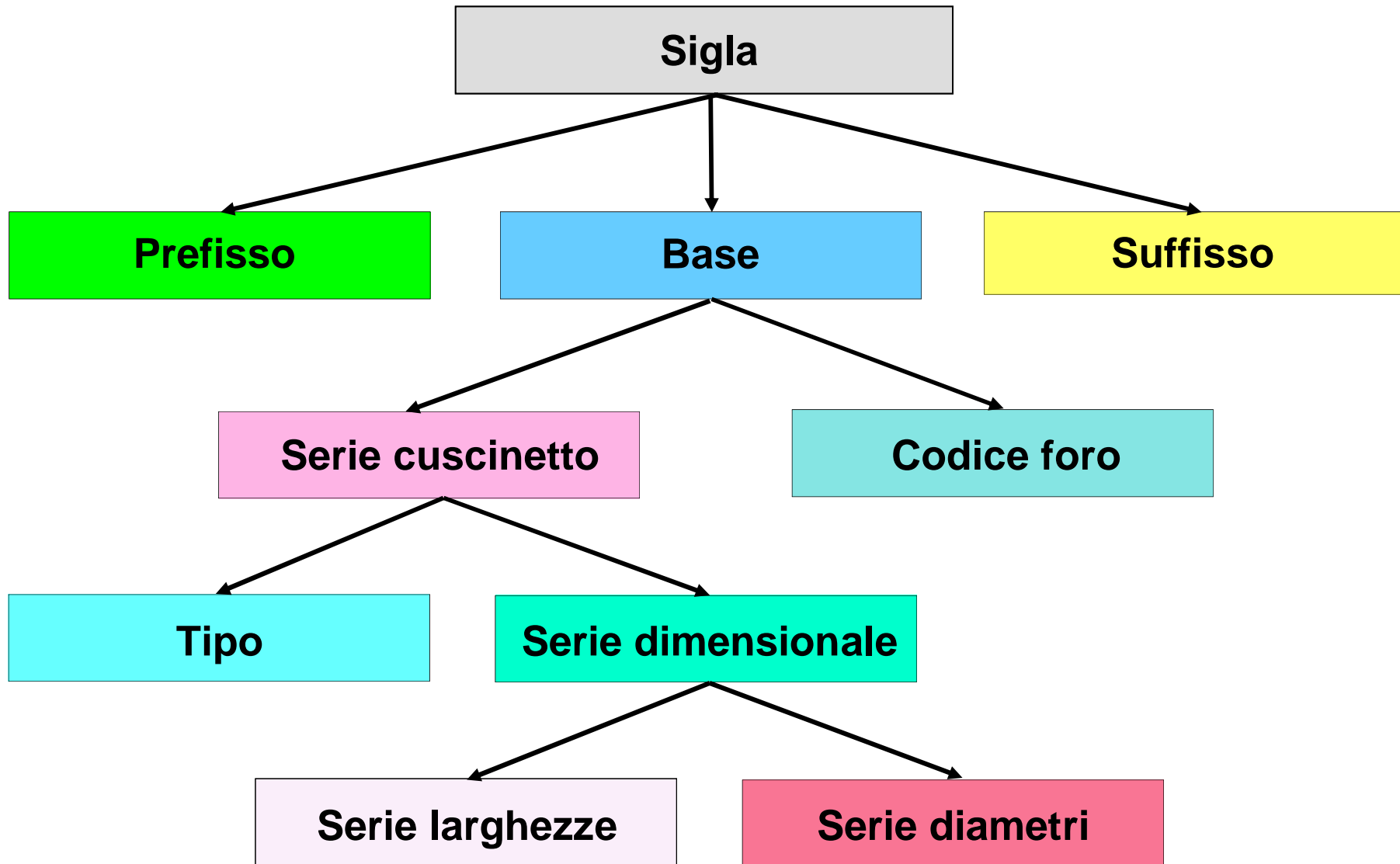
orientabili

Nozioni di base

Sigle dei cuscinetti volventi



Sigla dei cuscinetti volventi



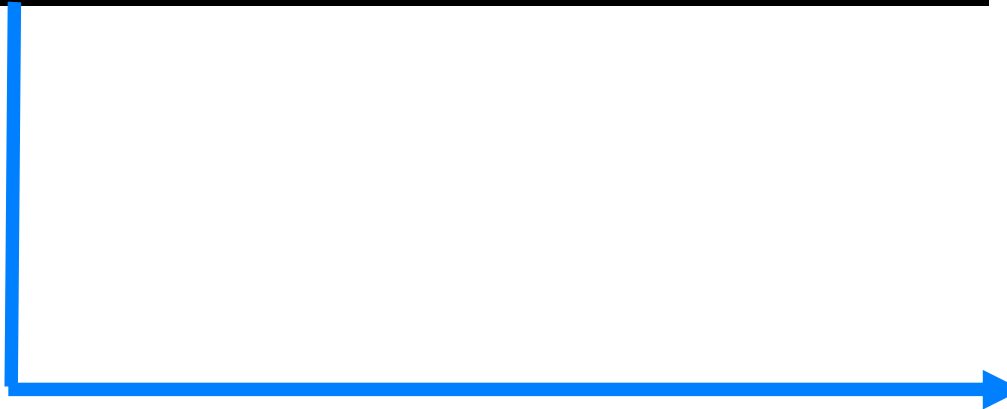
Sigle standardizzate di cuscinetti volventi TIPO



Cuscinetti radiali							
3, 4, 5 cifre	4, 5 cifre	4 cifre	4 cifre			5 cifre	5 cifre
6	7	3	1,2	QJ	N..	3	2











--	--	--	--	--







Cuscinetti assiali		
5 cifre	5 cifre	5 cifre
5	8	2

Sigle standardizzate di cuscinetti volventi Serie larghezze



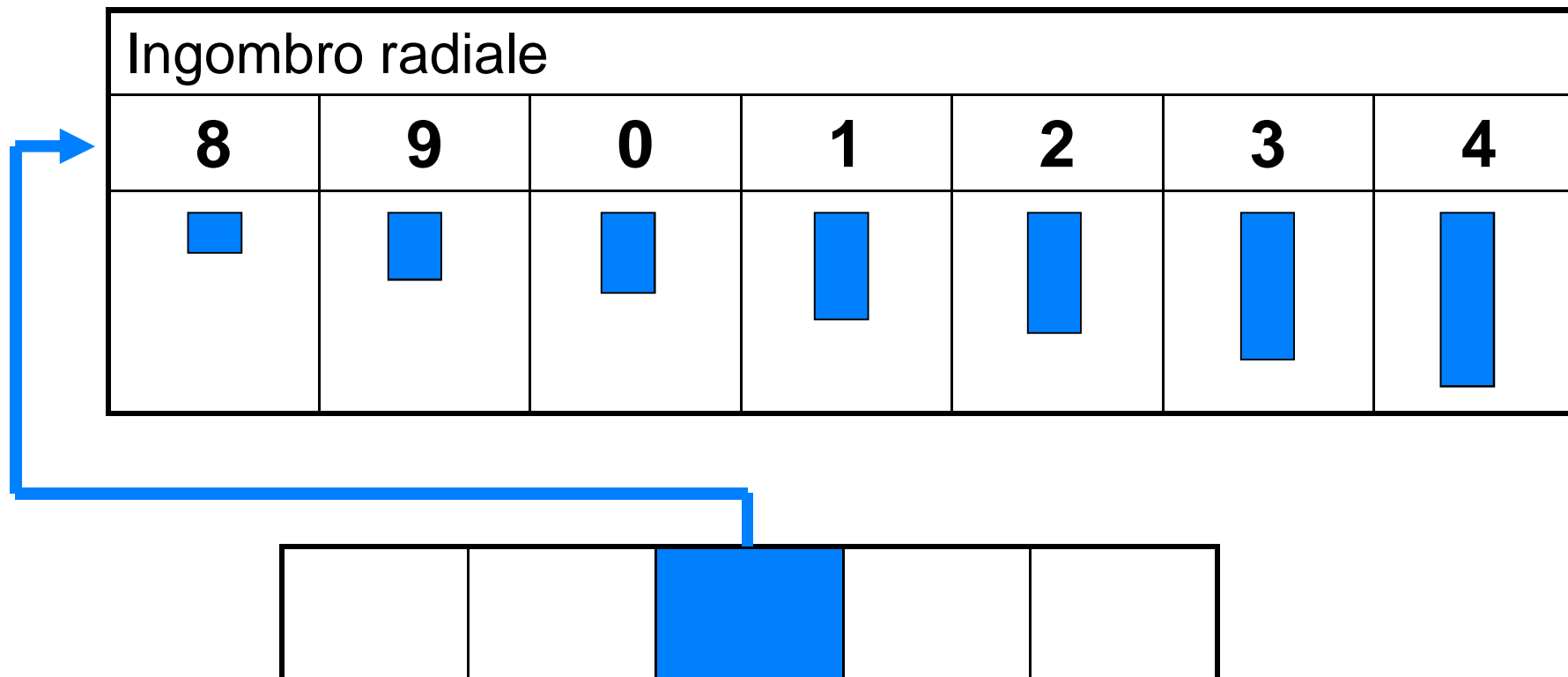
Larghezza dei cuscinetti radiali							
8	0	1	2	3	4	5	6
							



Altezza dei cuscinetti assiali			
7	8	1	2
			

Sigle standardizzate di cuscinetti volventi

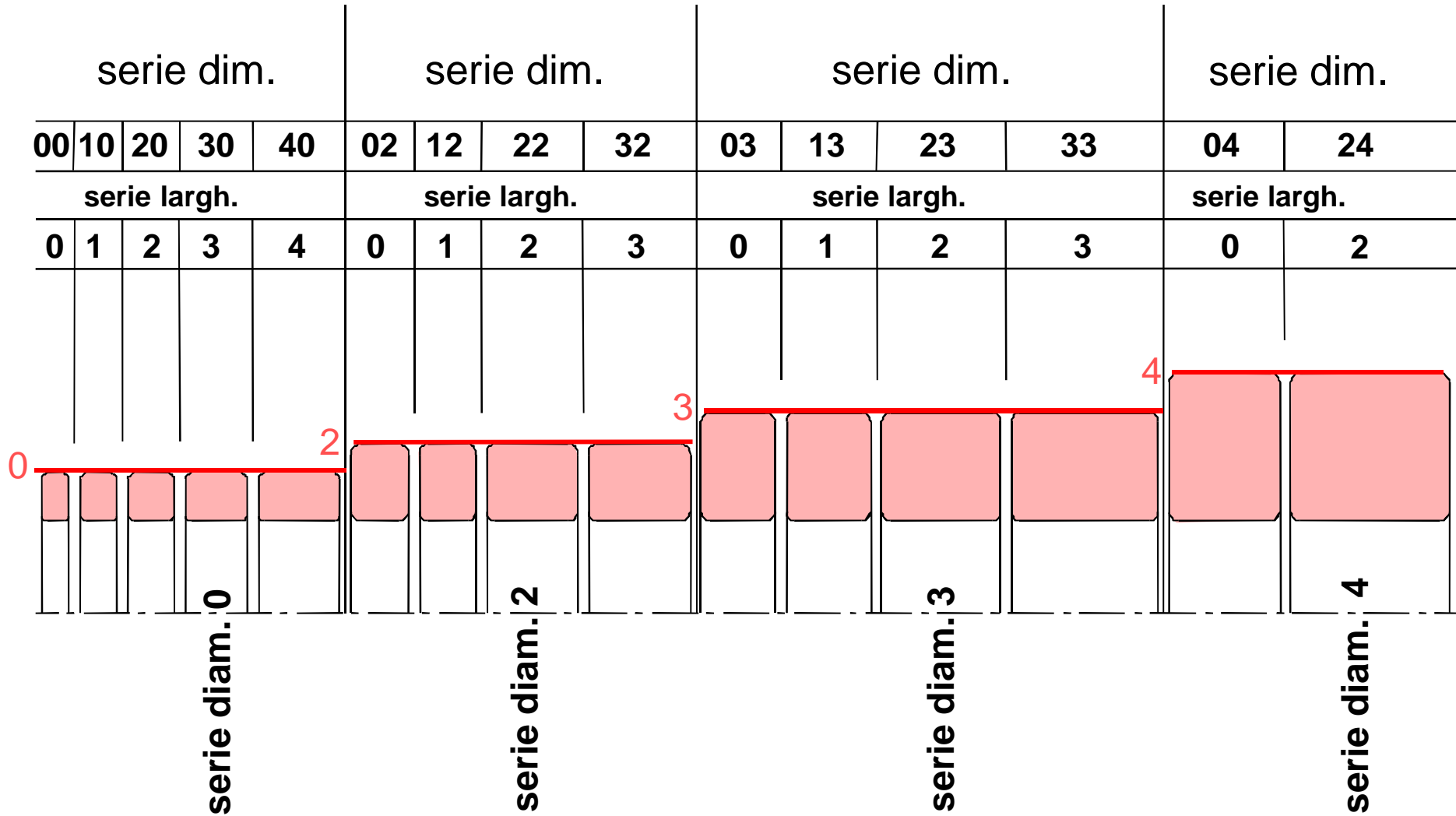
Serie diametri



Sigla dei cuscinetti volventi

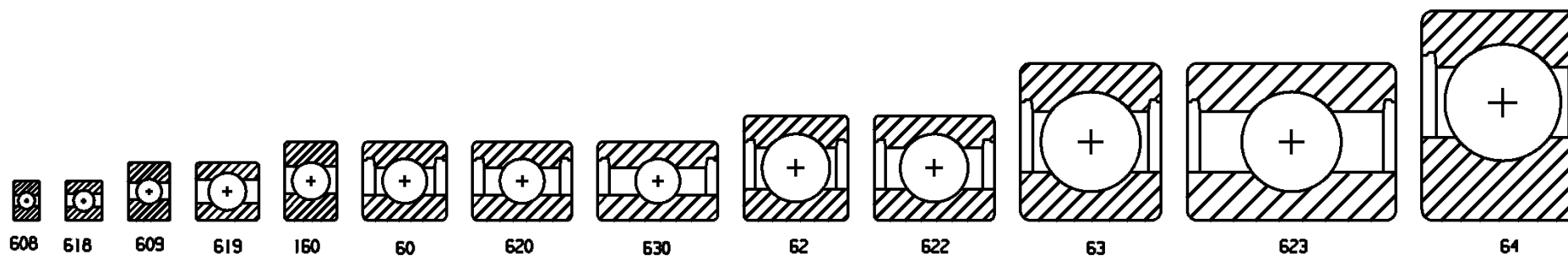


Serie dimensionale



Esempio: cuscinetti radiali a sfere

Normativa di riferimento : DIN 616



Sigle standardizzate di cuscinetti volventi

Diametro effettivo



5 regole

1	$d < 10 \text{ mm}$ e.g. 608 = \varnothing 8 mm	da 3 a 9
2	$d \geq 10 \text{ a } < 20 \text{ mm}$ 6200 = \varnothing 10 mm 6201 = \varnothing 12 mm 6202 = \varnothing 15 mm 6203 = \varnothing 17 mm	da 00a 03
3 – x5	$d \geq 20 \text{ a } 480 \text{ mm}$ es. 6204 = \varnothing 20 mm	da 04 a 96
4	$d > 500 \text{ mm}$ es. 239/500 = \varnothing 500 mm	
5 Eccezioni	d / \dots es. 320/22X = \varnothing 22 mm	

Nozioni di base

Distribuzione dei carichi sui corpi volventi

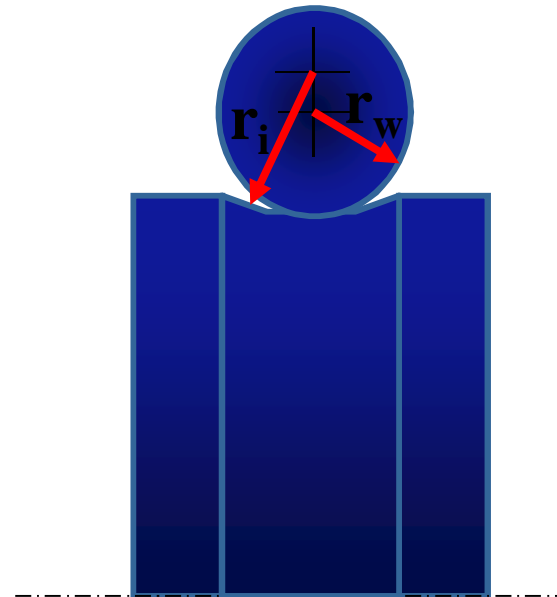


Generalità sui cuscinetti volventi



Contatto puntiforme

$$1 / r_w > 1 / r_i$$

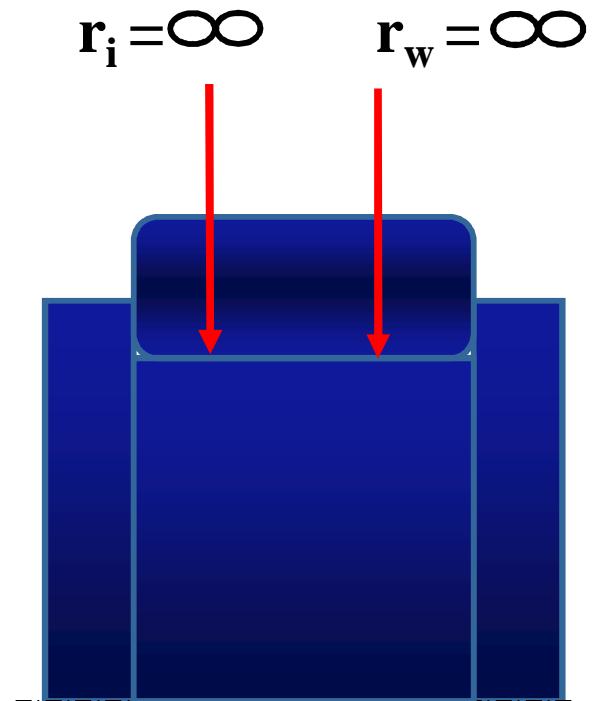


Generalità sui cuscinetti volventi



Contatto lineare

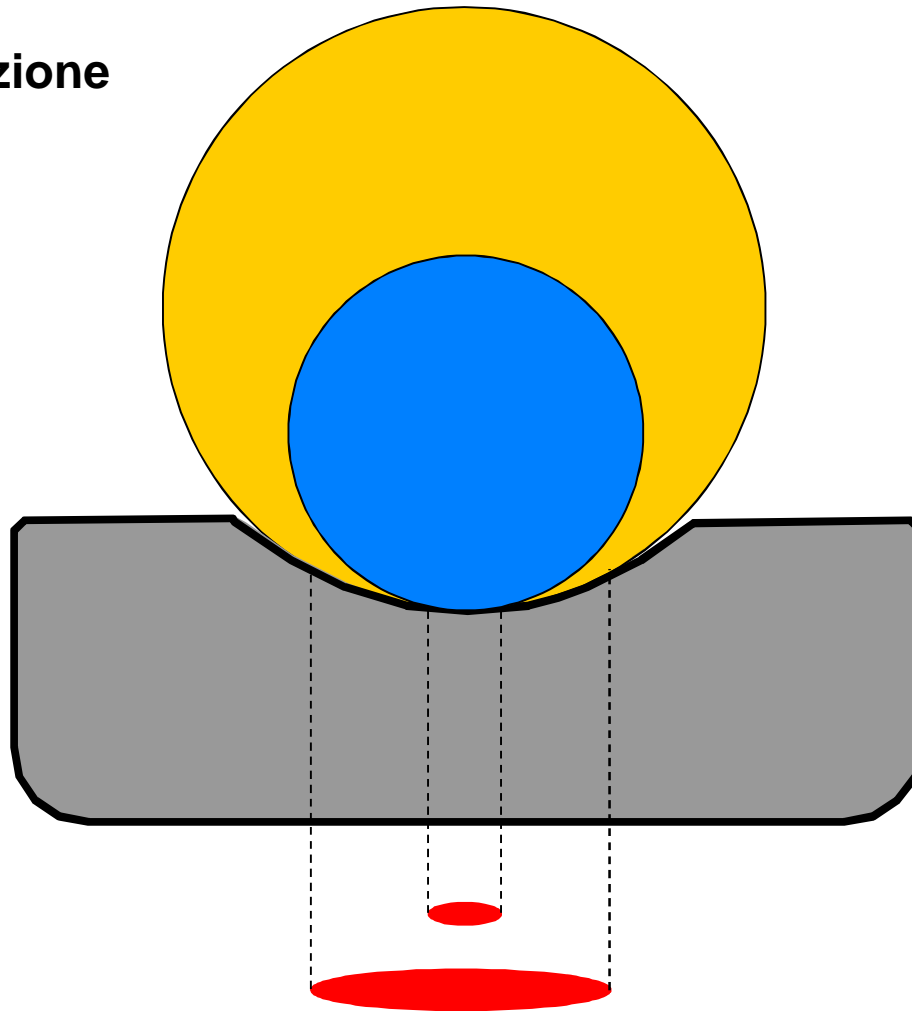
$$1 / r_w = 1 / r_i$$



Generalità sui cuscinetti volventi

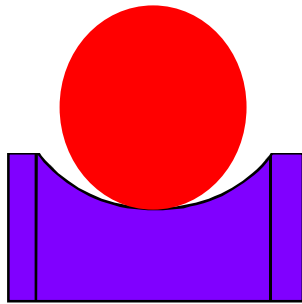


Osculazione

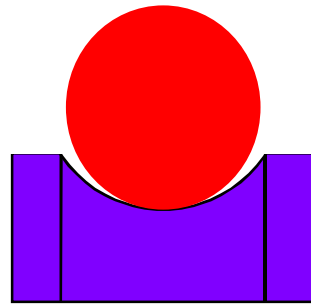


- piccola osculazione
- grande osculazione

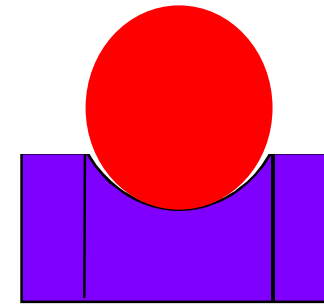
Che cosa accade se si modifica il valore di osculazione?



Osculazione ampia



Osculazione standard



Osculazione stretta

- 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



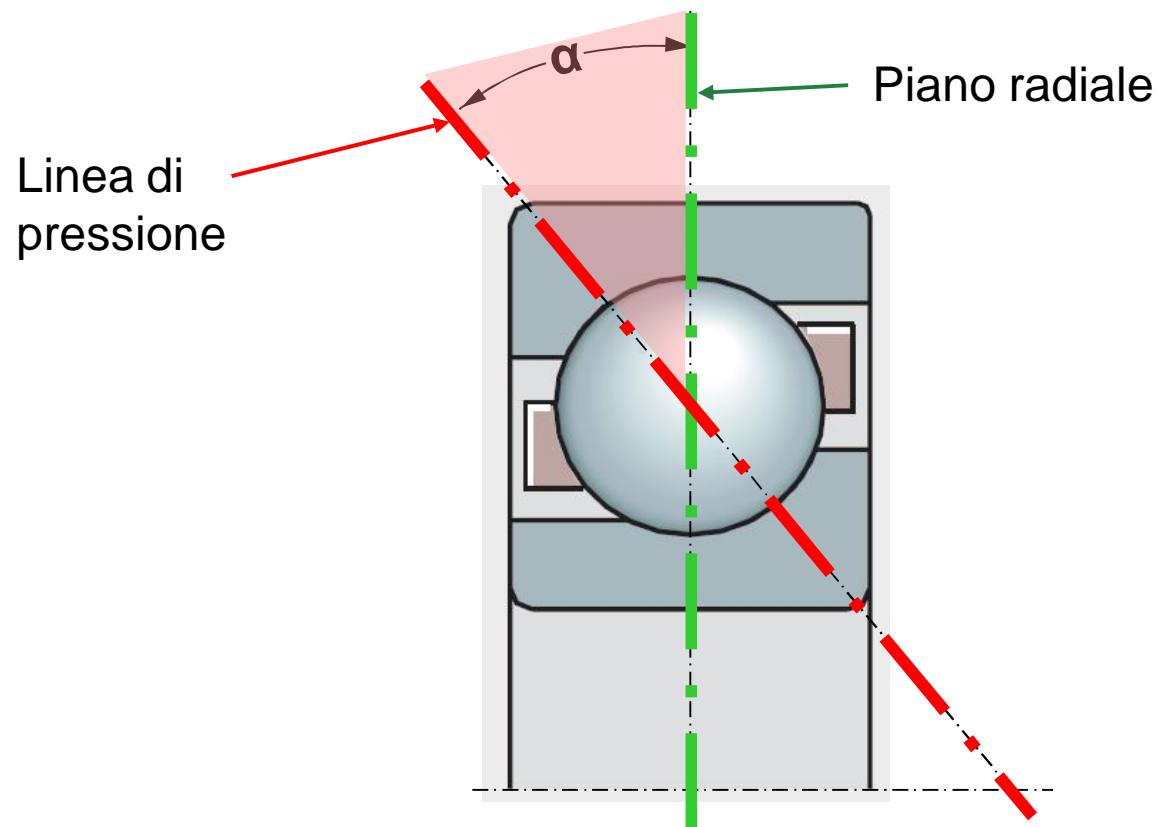
- Diminuzione del gioco assiale
- Minore ribaltamento consentito
- Buona guida dell'albero
- Incremento coefficienti di carico
- Incremento dell'attrito
- Diminuzione pressione hertziana
- Aumento rumorosità (frequenza più alta)
- Riduzione carico assiale dovuto al minore supporto dell'ellisse di contatto
- Minore sensibilità alla tensione elettrica eccessiva

Generalità sui cuscinetti volventi

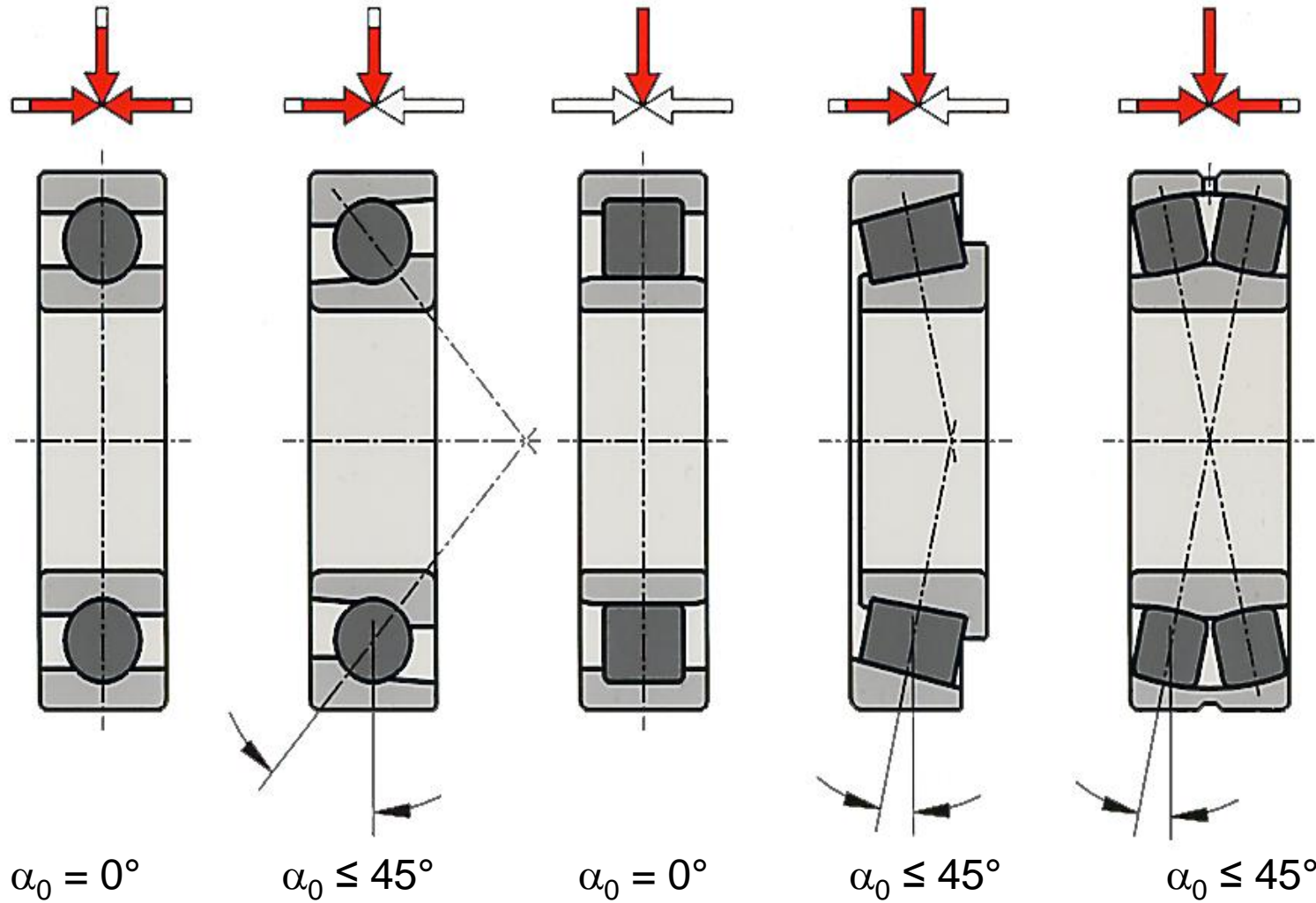
Angolo di pressione



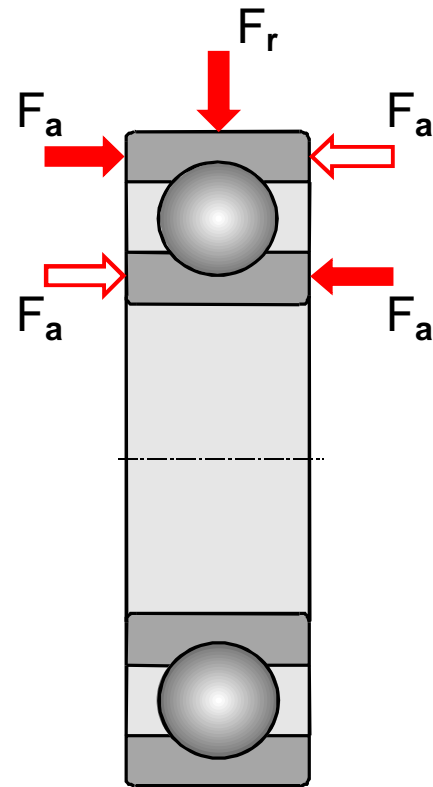
Angolo di pressione α = angolo tra il piano radiale e la linea di pressione



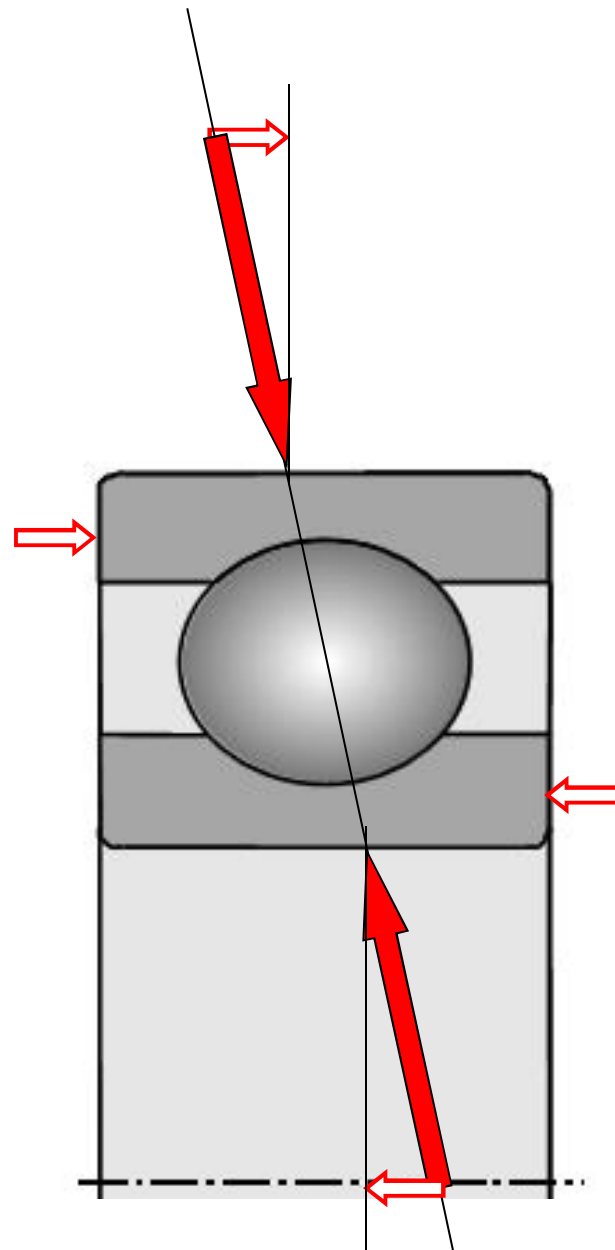
Carichi sopportabili dai cuscinetti radiali



Cuscinetti radiali rigidi a sfere

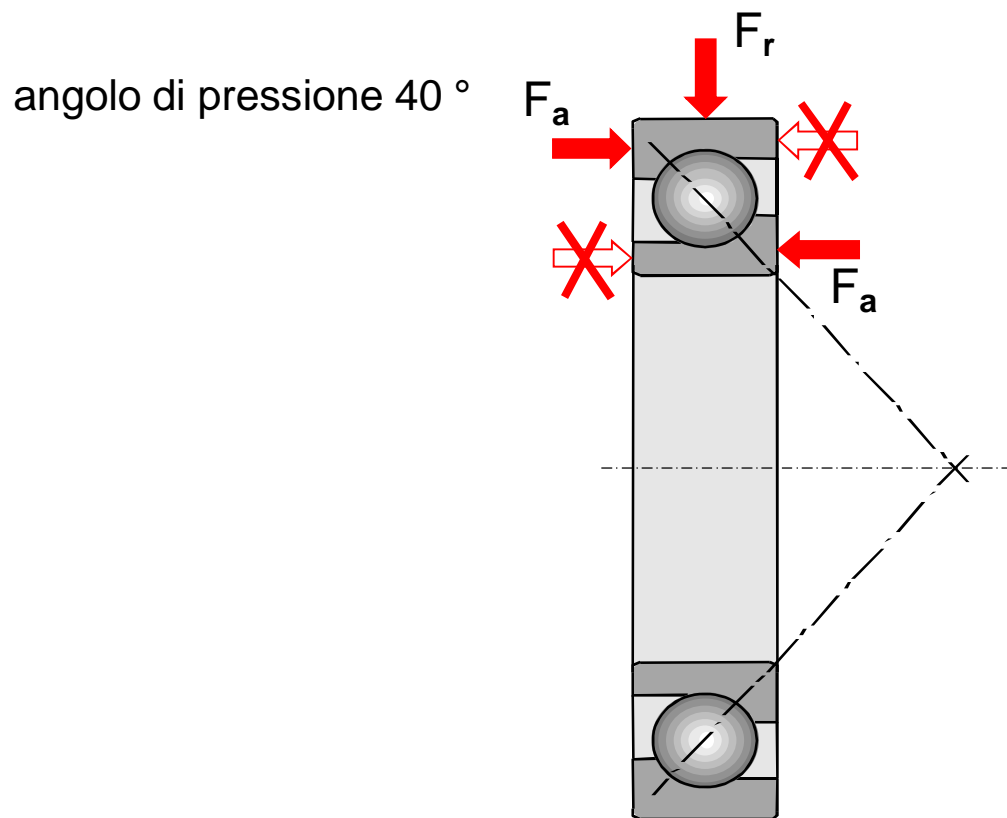


Cuscinetti radiali rigidi a sfere



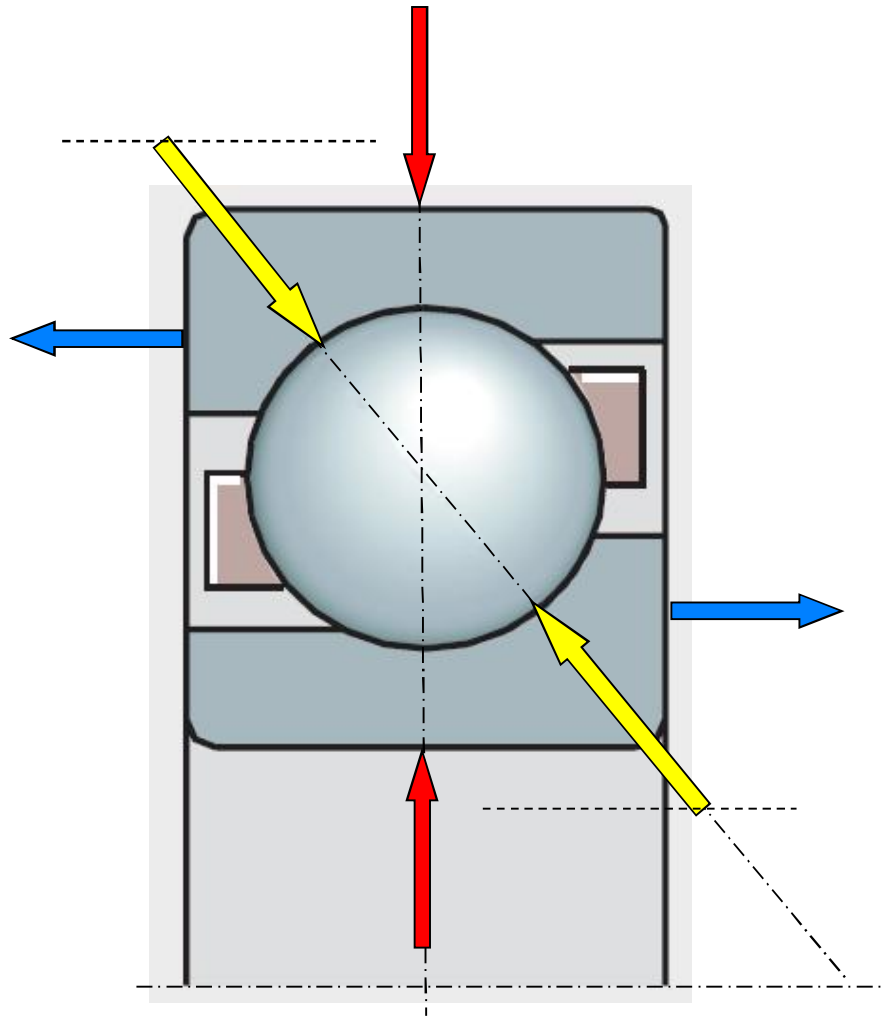
Per effetto dello sfavorevole angolo di pressione, una piccola forza assiale fa nascere una grande forza risultante

Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo



Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo

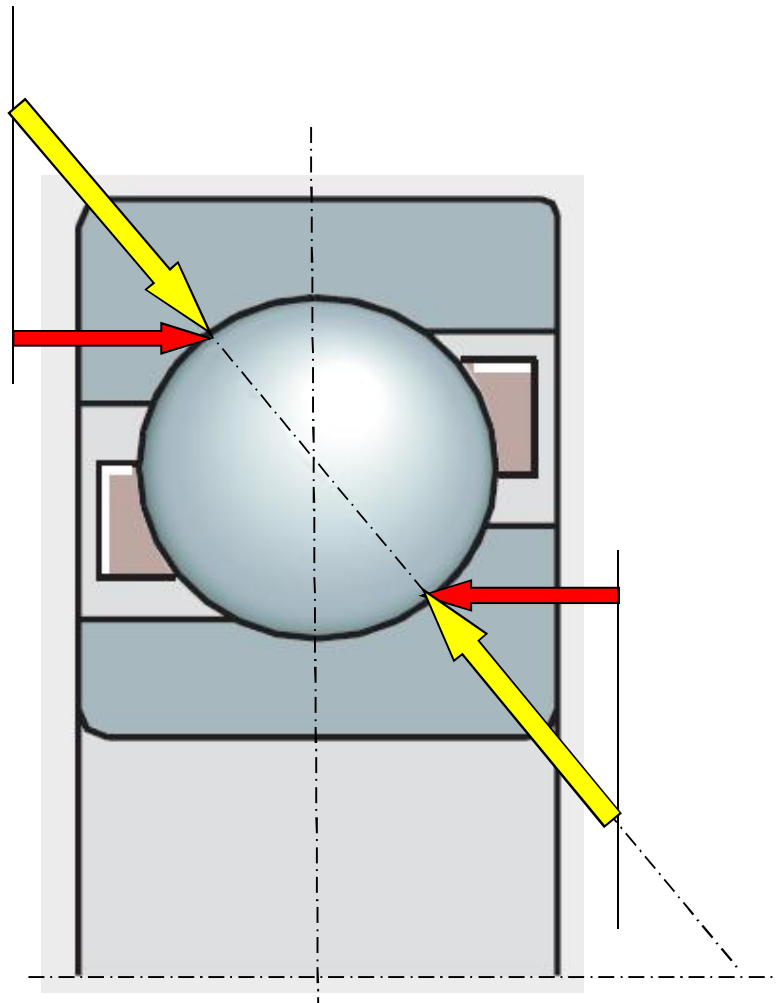
Effetto di un carico radiale



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

Cuscinetti radiali a sfere a contatto obliquo

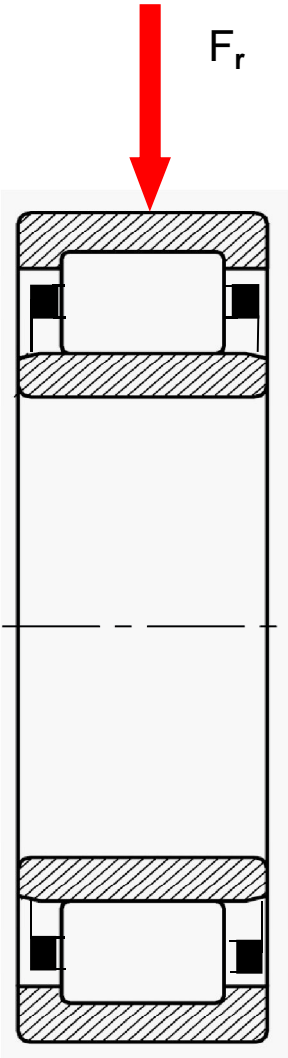
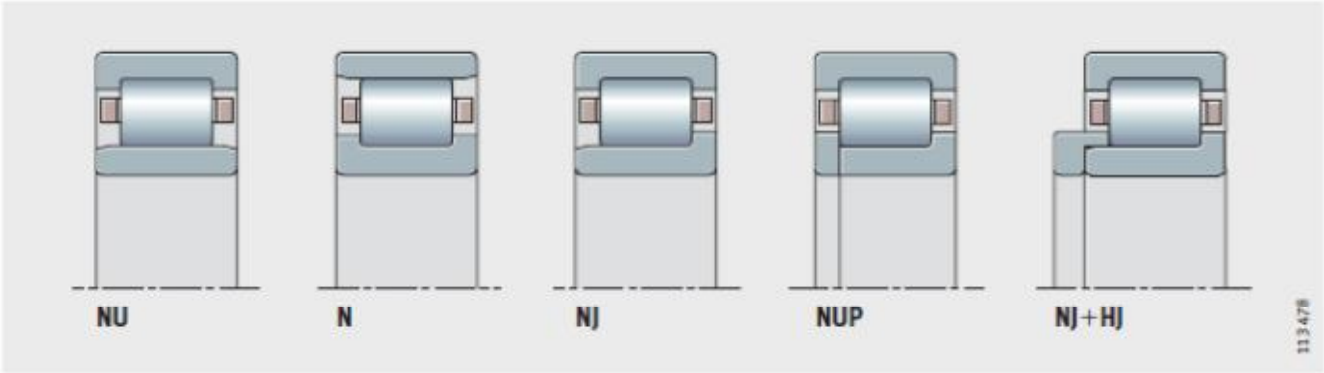
Effetto di un carico assiale



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

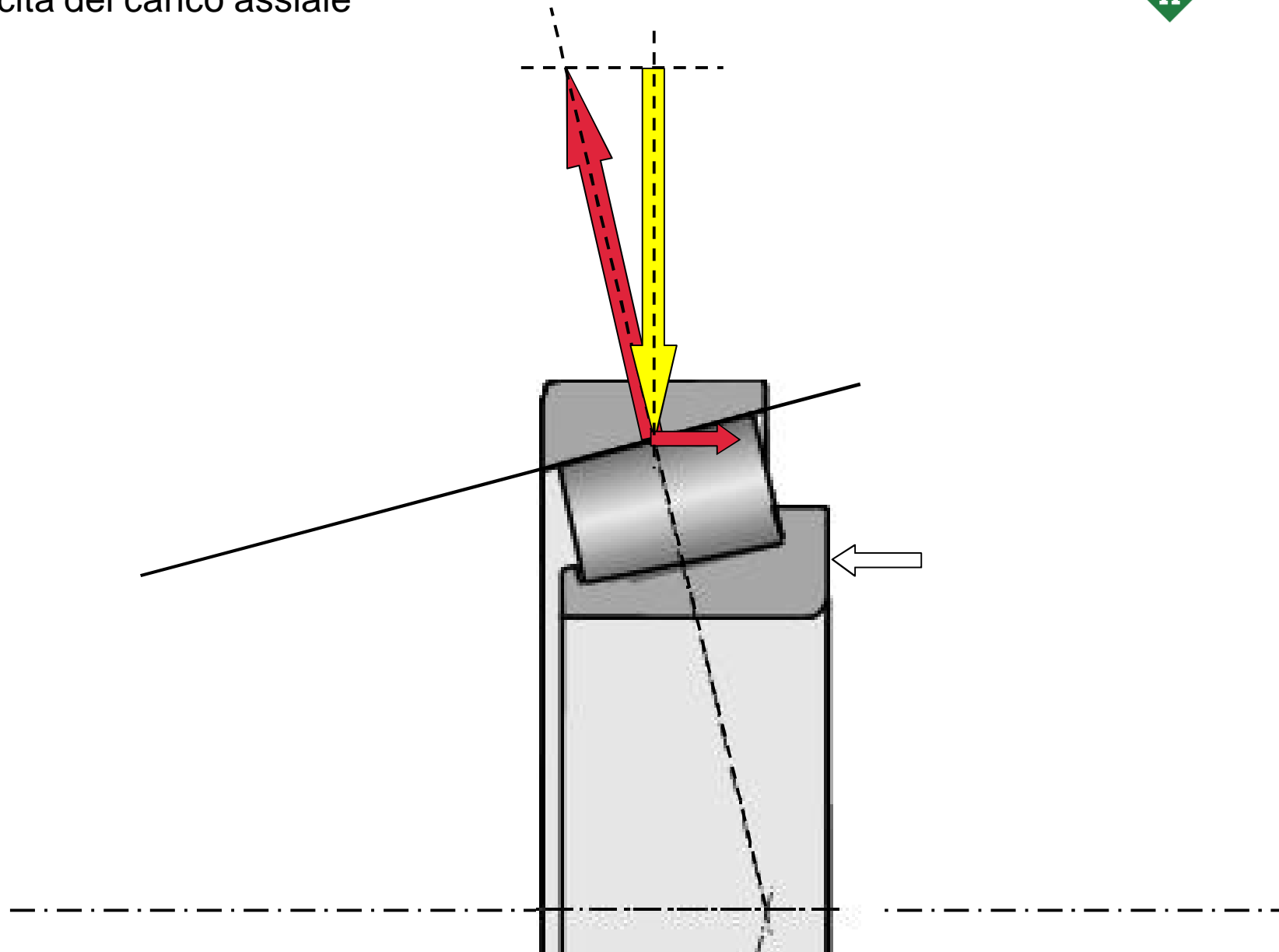
Cuscinetti radiali a rulli cilindrici

Esecuzioni con gabbia



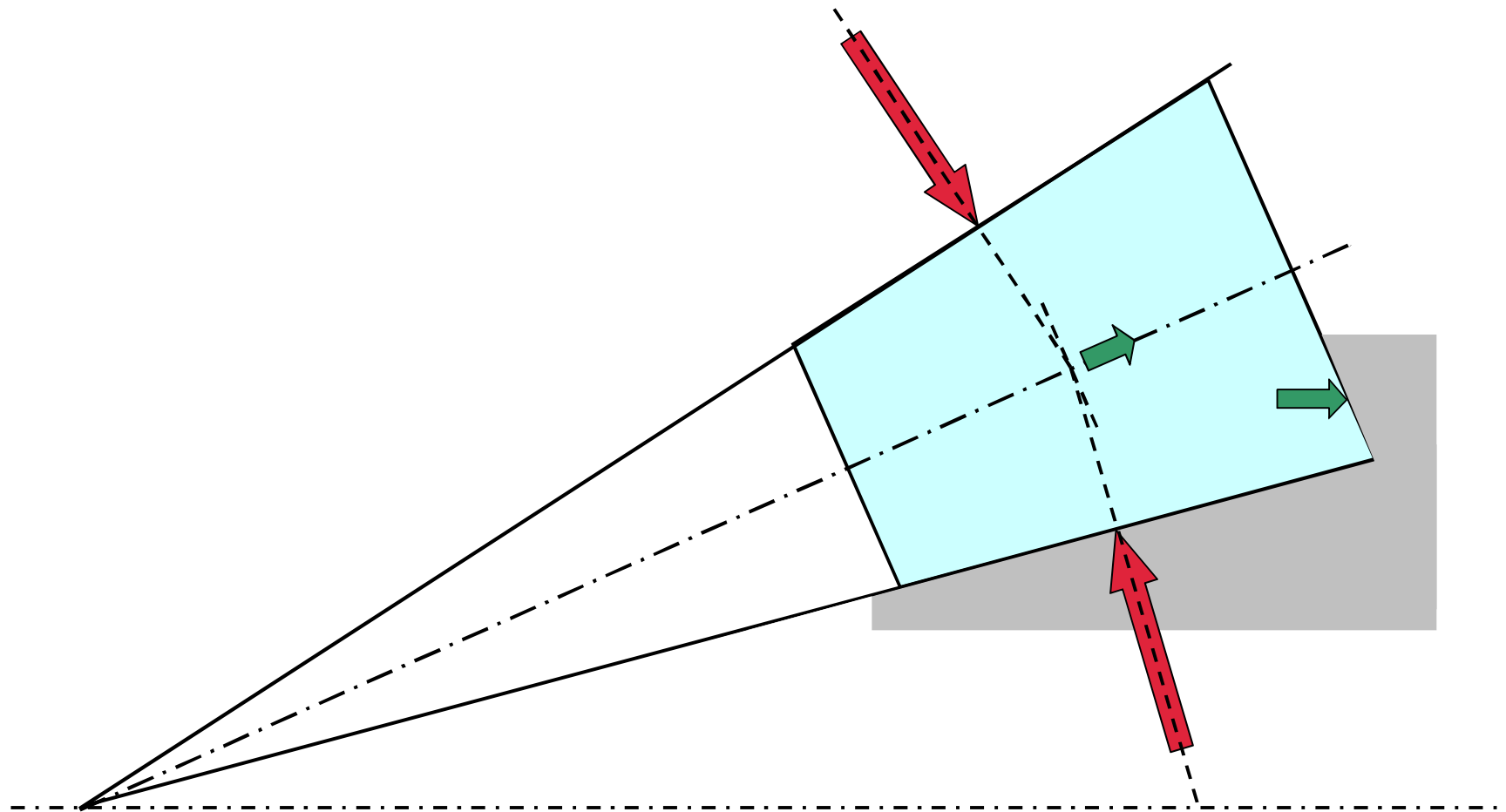
Cuscinetti a rulli conici

Nascita del carico assiale



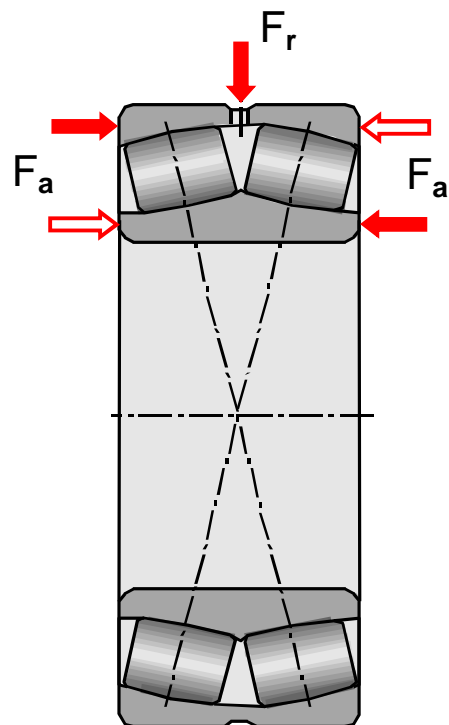
Cuscinetti a rulli conici

Carico assiale sul bordino



Cuscinetti orientabili a rulli

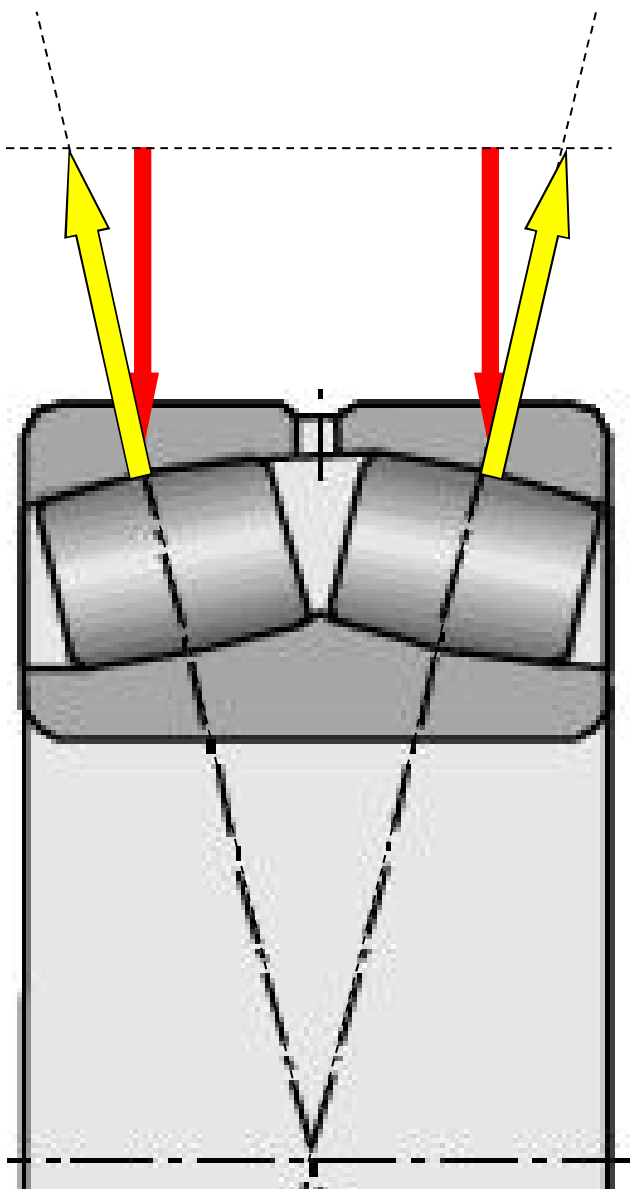
Caratteristiche



Design
-E1

Cuscinetti orientabili a rulli

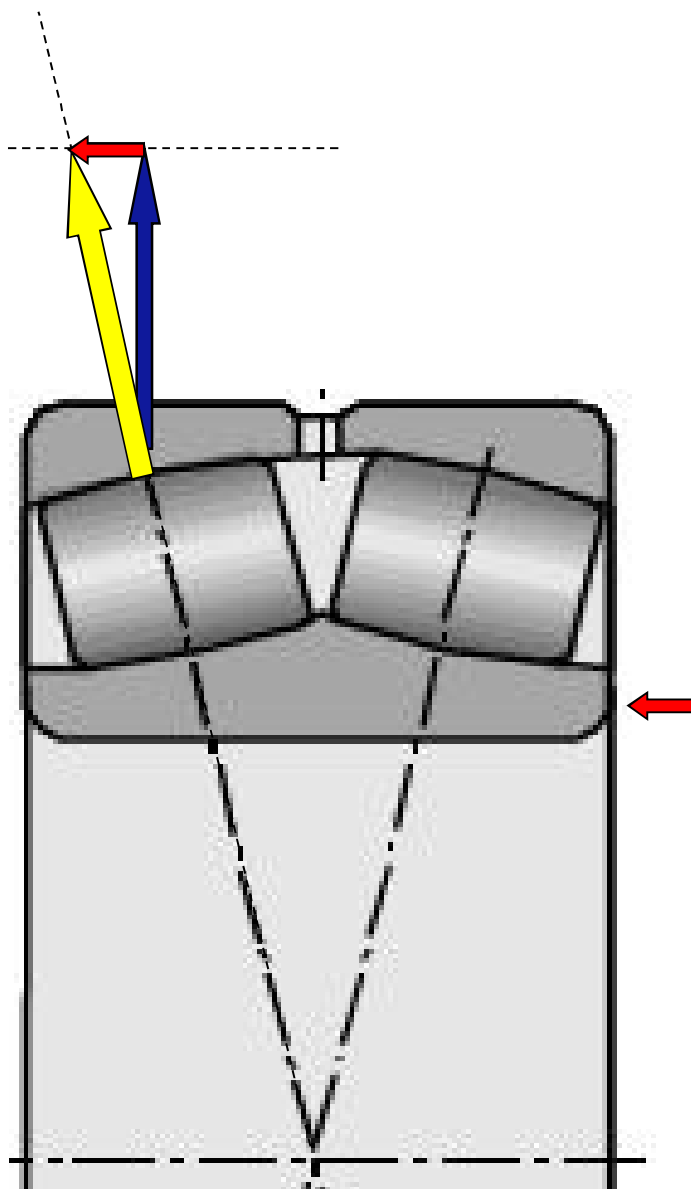
Effetto di un carico radiale



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

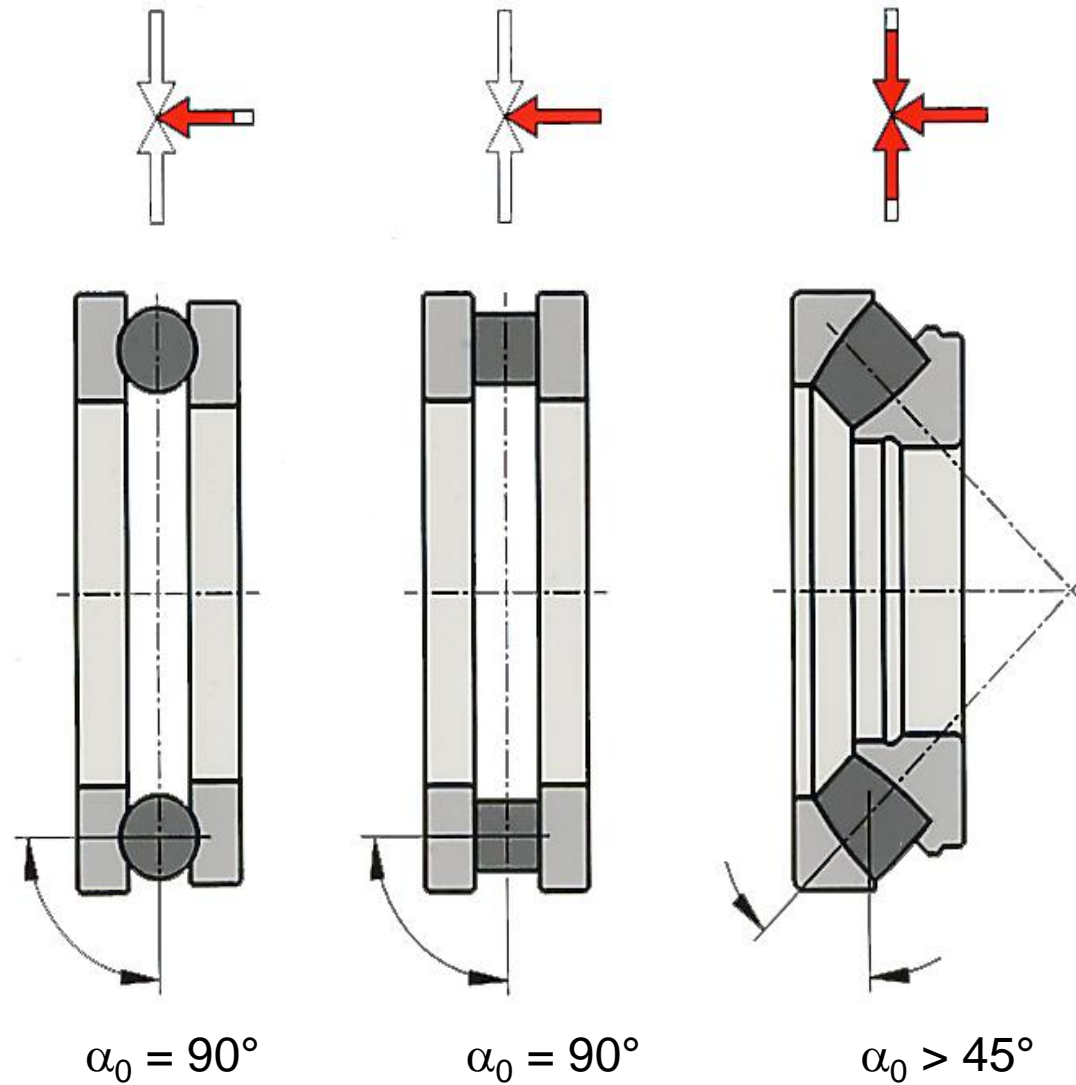
Cuscinetti orientabili a rulli

Effetto di un carico assiale



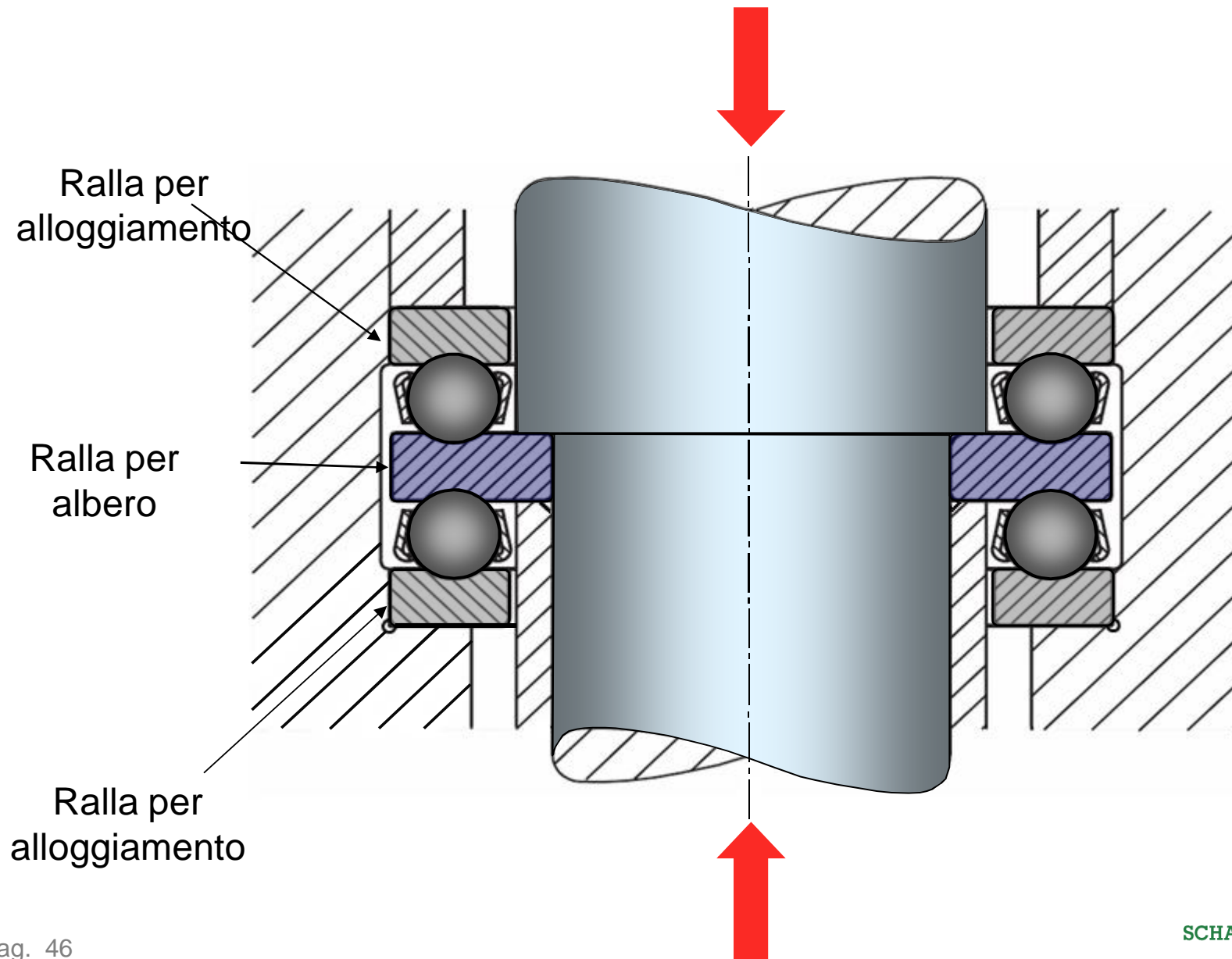
Per effetto dell'angolo di pressione, un leggero carico assiale genera un forte sovraccarico sui rulli

Carichi sopportabili dai cuscinetti assiali



Cuscinetti assiali a sfere

A doppio effetto



Compensazione di errori angolari

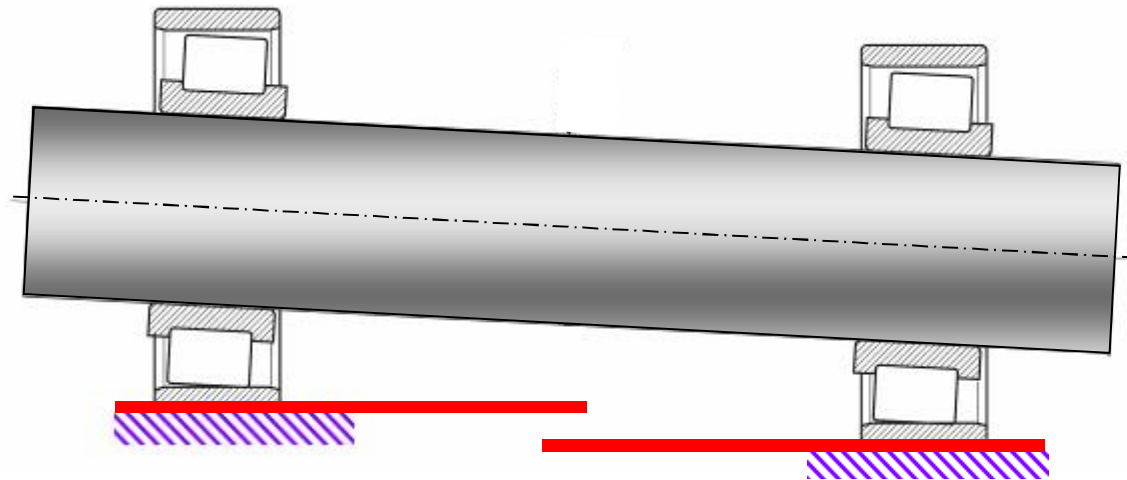


Caratteristiche dei cuscinetti volventi

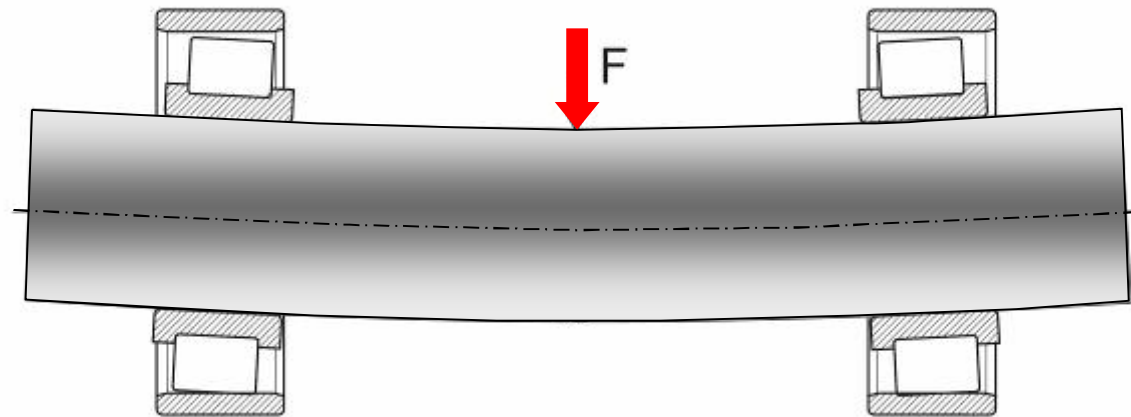
Disassamento



Disassamento



Flessione

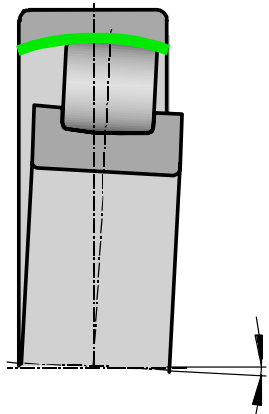


Caratteristiche dei cuscinetti volventi

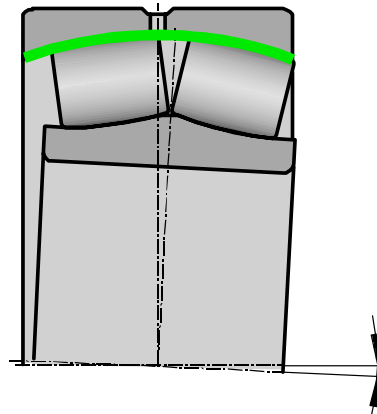
Cuscinetti volventi orientabili



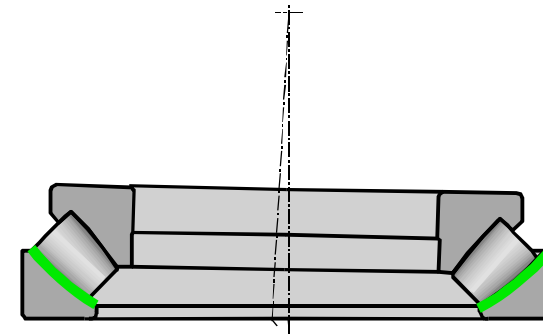
Dinamici



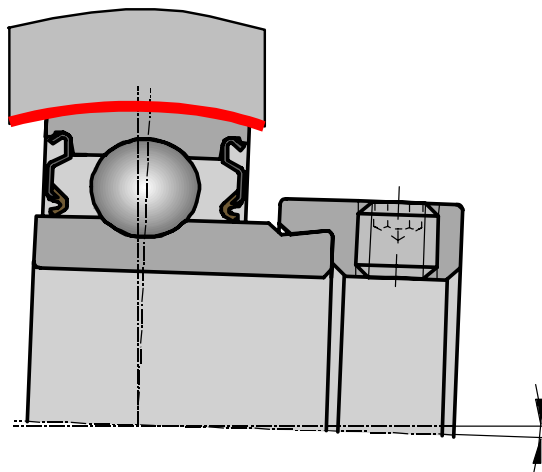
Cuscinetti a rulli a botte



Cuscinetti orientabili a rulli

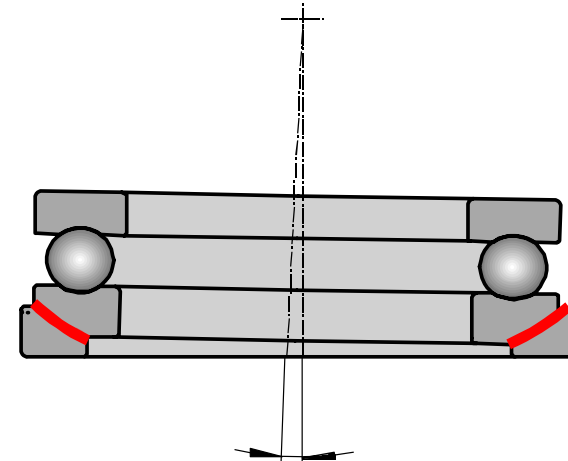


Cuscinetti assiali orientabili a rulli



Cuscinetti con anello di bloccaggio

Statici



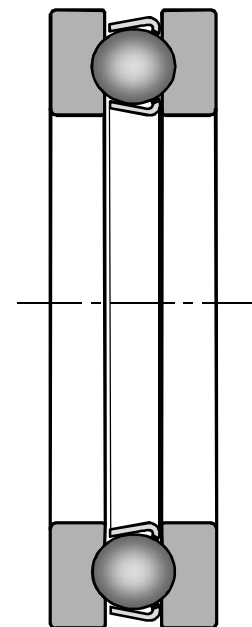
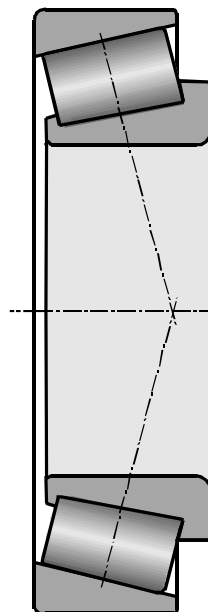
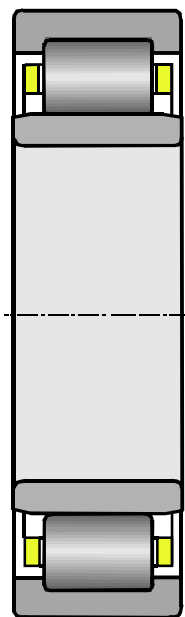
Cuscinetti assiali rigidi a sfere con piastra di orientabilità



Scomponibilità

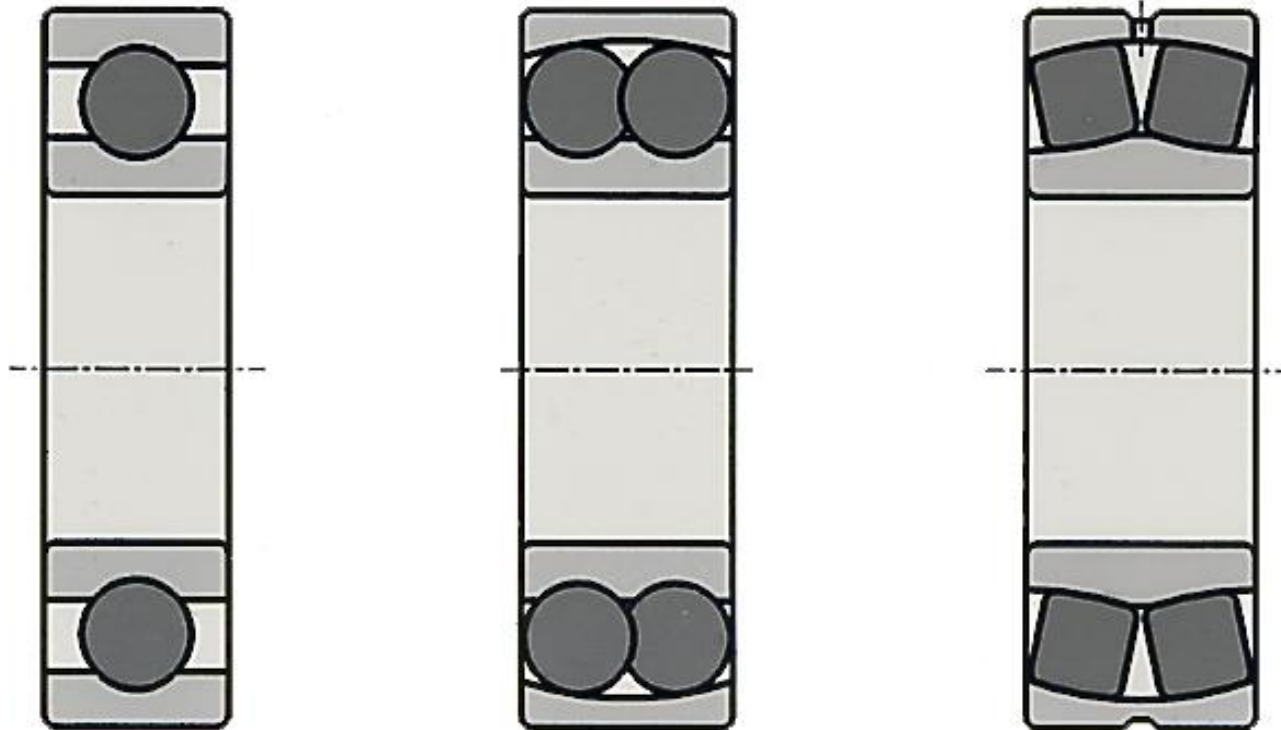
Caratteristiche dei cuscinetti volventi

Cuscinetti volventi scomponibili



Caratteristiche dei cuscinetti volventi

Cuscinetti volventi non scomponibili



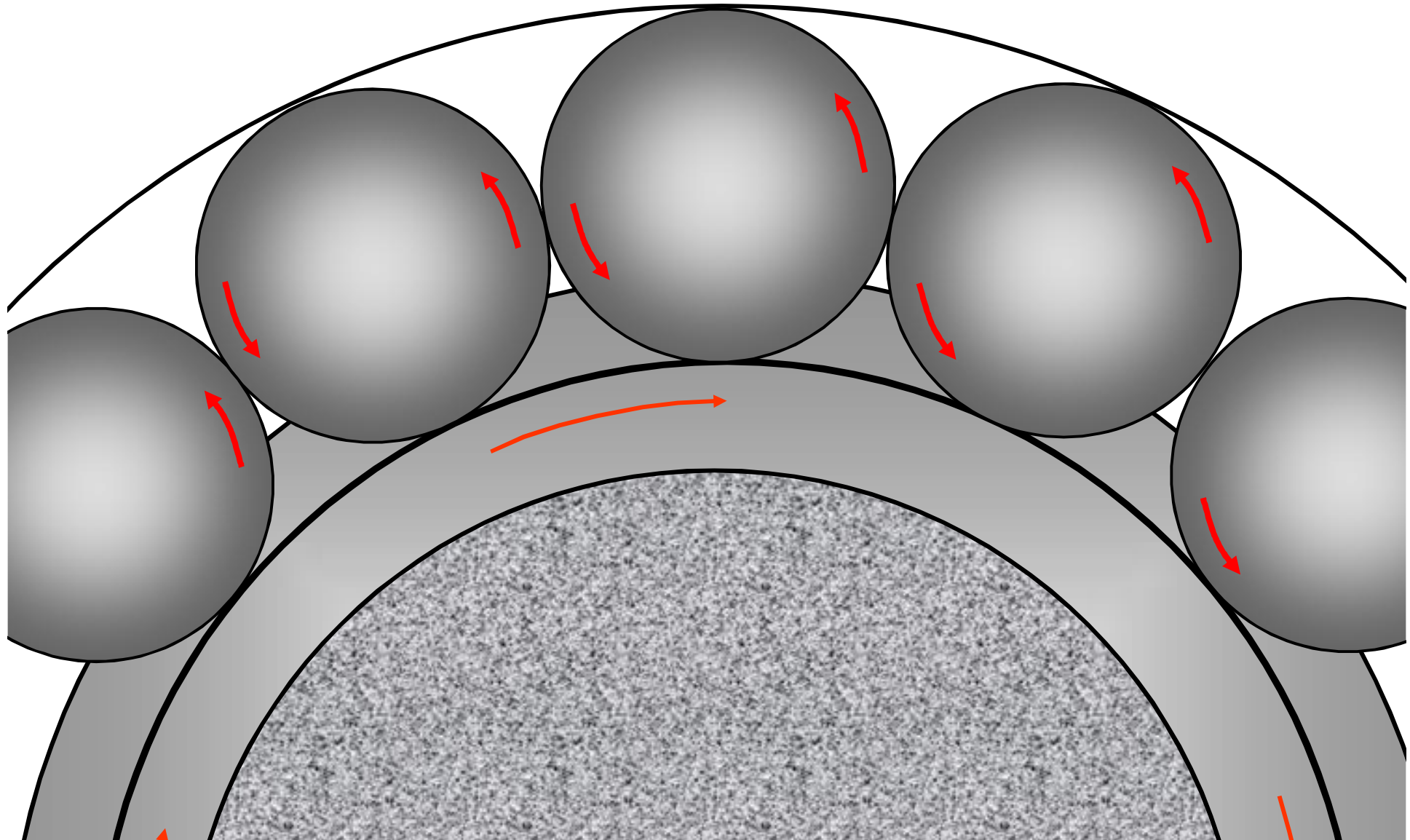
Nozioni di base

Gabbie



Generalità sui cuscinetti volventi

Pieno riempimenti di sfere - Attriti



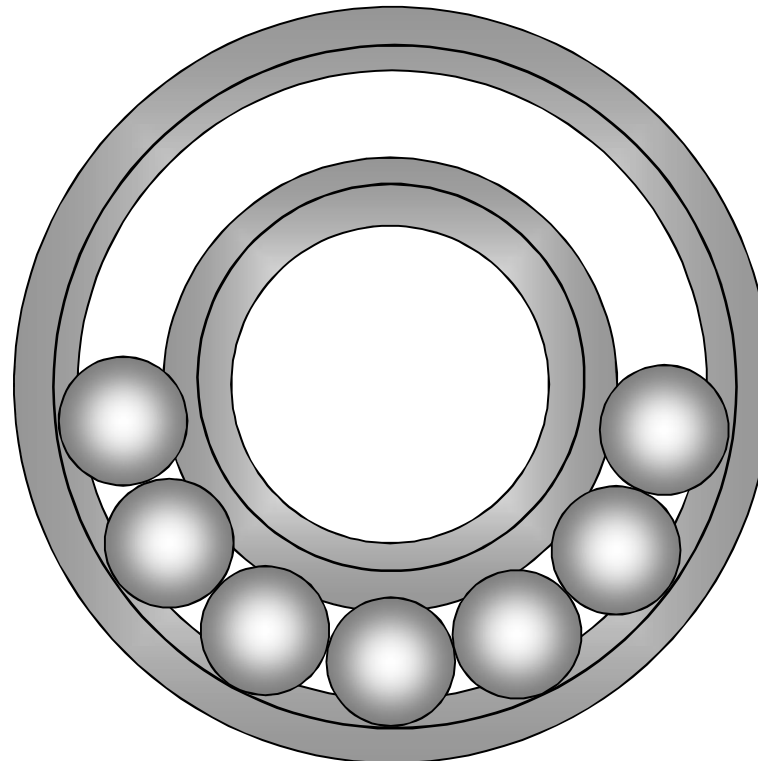
Caratteristiche dei cuscinetti volventi

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



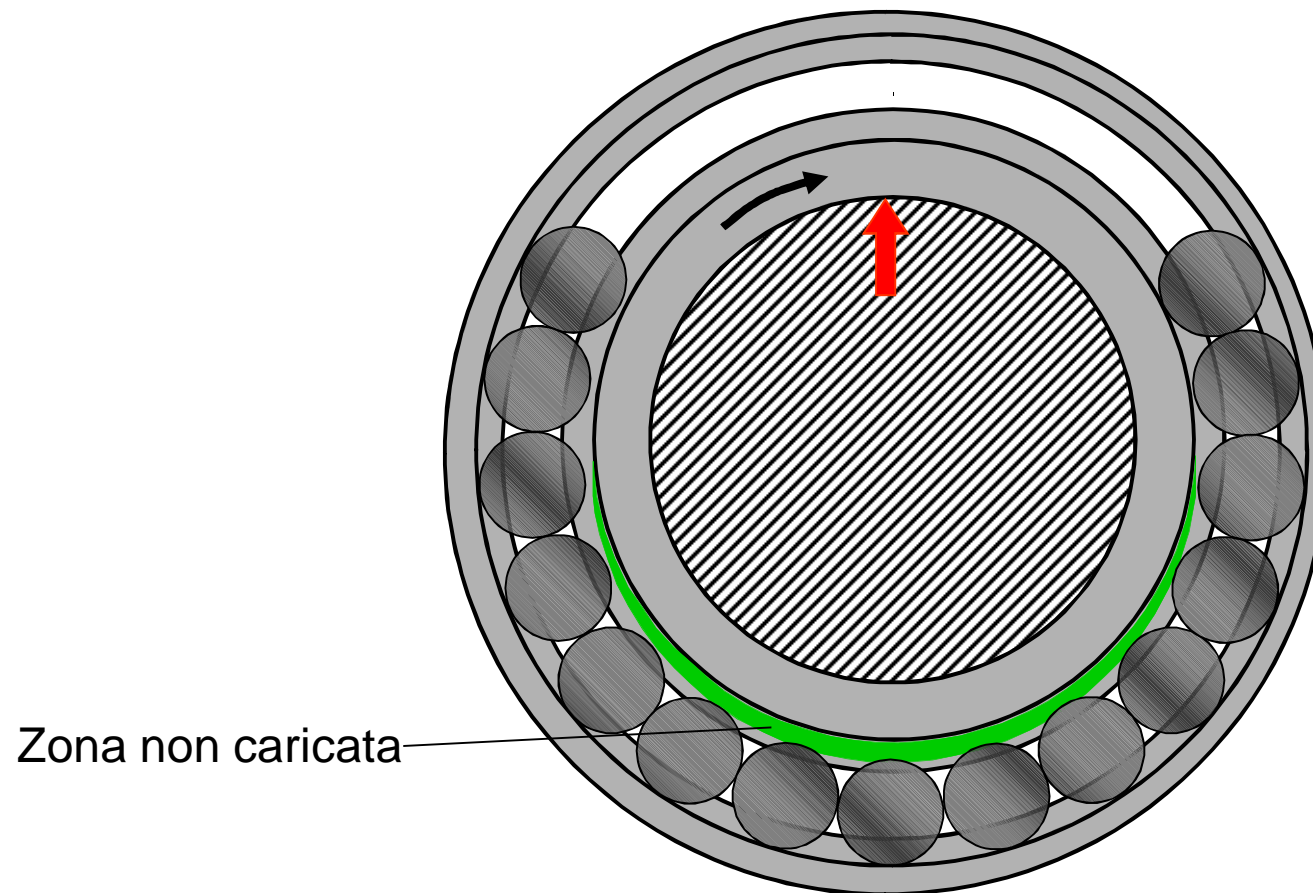
Caratteristiche dei cuscinetti volventi

Gabbia dei cuscinetti volventi



Quali altre funzioni ha la gabbia?

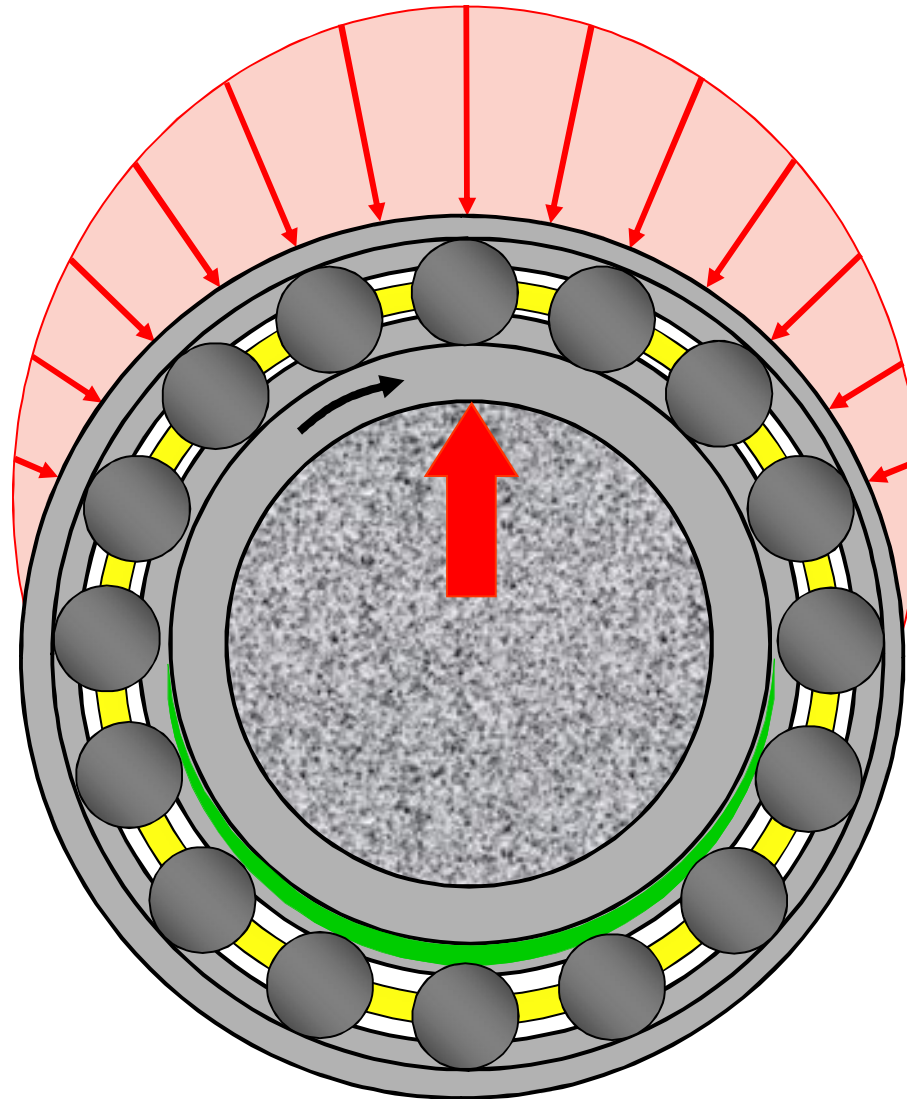
4. Guida i corpi volventi al di fuori della zona non caricata del cuscinetto



Zona non caricata

Caratteristiche dei cuscinetti volventi

Gabbia dei cuscinetti volventi



Generalità sui cuscinetti volventi

Gabbia in lamiera



J

JN

JPA

Generalità sui cuscinetti volventi

Gabbia massiccia in ottone



M

MP

M1

02 212

Generalità sui cuscinetti volventi

Gabbie massicce in plastica



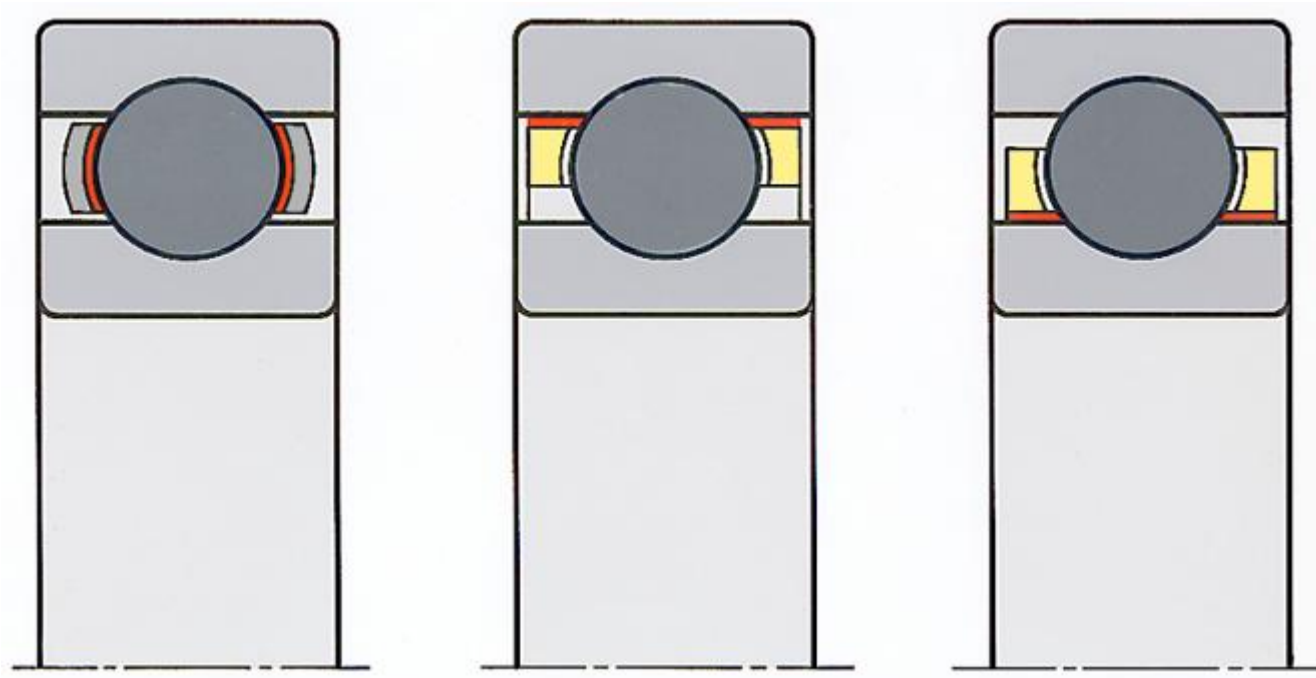
TVP

TVP2

TVH

Generalità sui cuscinetti volventi

Gabbia

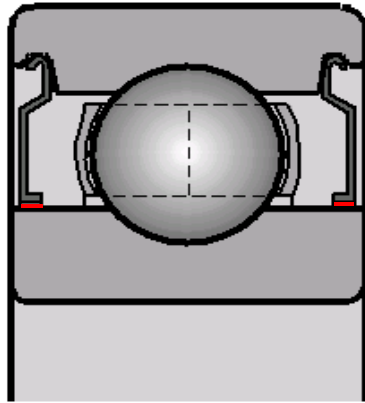


Guida sui corpi volventi

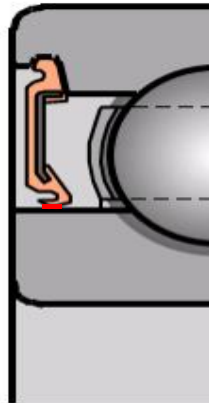
Guida sull'anello esterno
Suffisso **A**

Guida sull'anello interno
Suffisso **B**

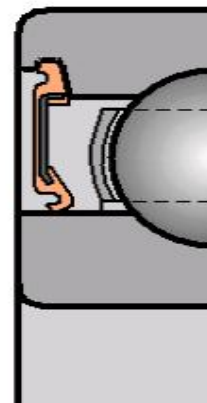
Tenute



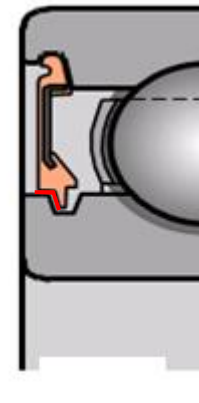
Z opp. 2Z



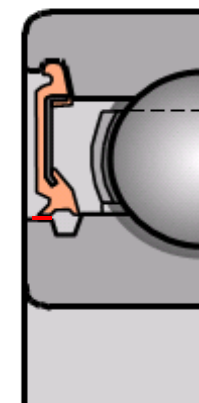
RSD



RSR



BRS



URS

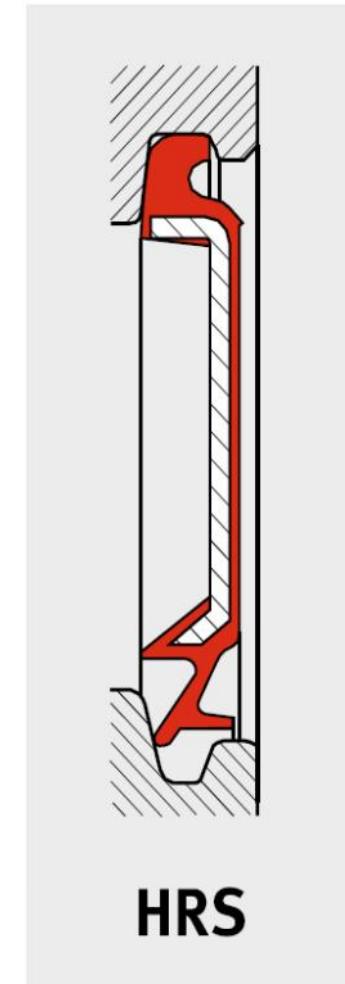
Z	schermo	senza contatto	- lamiera d'acciaio
RSD	anello di tenuta	senza contatto	- NBR con armatura
RS / RSR	anello di tenuta	a contatto	- NBR con armatura
BRS	tenuta a labirinto	senza contatto	- NBR con armatura
URS	tenuta a labbro	a contatto	- NBR con armatura

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



Nozioni di base

Precisione



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



Segle di misura e simboli di tolleranza

Definizioni e simboli di tolleranza	Caratteristica con tolleranza secondo DIN 1132 e DIN 620
d	Di diametro nominale del foro
Δ_{dmp}	Scostamento del diametro medio del foro in un singolo piano
Δ_{d1mp}	Scostamento del diametro medio grande per fori conici
V_{dsp}	Variazione di un singolo diametro del foro in un piano singolo
V_{dmp}	Variazione del diametro medio del foro
D	Di diametro nominale del mantello esterno
Δ_{Dmp}	Scostamento del diametro medio del mantello in un piano singolo
V_{Dsp}	Variazione di un singolo diametro del mantello in un piano singolo
V_{Dmp}	Variazione del diametro medio del mantello esterno
B	Larghezza nominale dell'anello interno
Δ_{Bs}	Scostamento di una singola misura della larghezza dell'anello interno
V_{Bs}	Variazione della larghezza dell'anello interno
C	Larghezza nominale dell'anello esterno
Δ_{Cs}	Scostamento di una singola misura della larghezza dell'anello esterno
V_{Cs}	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	Difetto di quadratura delle facce frontali rispetto al foro
S_D	Variazione dell'inclinazione della linea del mantello esterno riferita 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_i	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 semplice effetto

Precisione

Cuscinetti radiali



Cuscinetto : 6006 – tolleranza foro ?

Cuscinetto 6006 P5 – tolleranza foro ?

**Classe di tolleranza PN
anello interno
tolleranze in μm**

d		Δ_{dmp}		V_{dsp} Serie dei diametri			V_{dmp}	K_{ia}
mm		Scostamento		9	0, 1	2, 3, 4		
oltre	fino a	superiore	inferiore	max.	max.	max.	max.	max.
0,6 ¹⁾	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

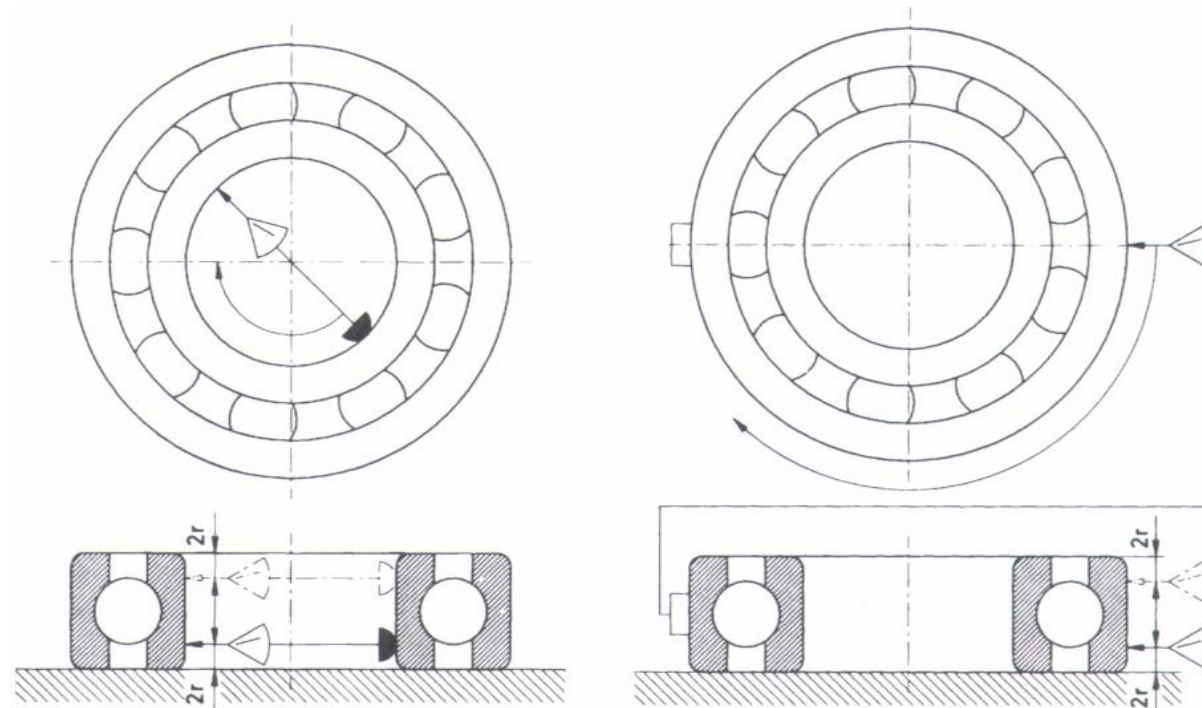
**Classe di tolleranza P5
anello interno
tolleranze in μm**

d		Δ_{dmp}		V_{dsp} Serie dei diametri		V_{dmp}	K_{ia}	S_{d}
mm		Scostamento		9	0, 1, 2, 3, 4			
oltre	fino a	superiore	inferiore	max.	max.	max.	max.	max.
0,6 ¹⁾	2,5	0	-5	5	4	3	4	7
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

Precisione



$$\frac{d_{mp}}{D_{mp}}$$
$$\frac{V_{dmp}}{V_{Dmp}}$$



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.

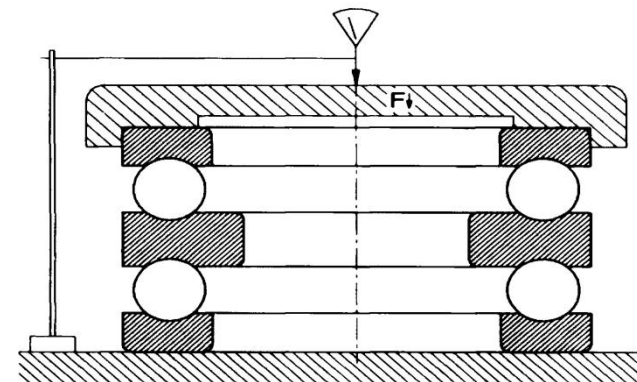
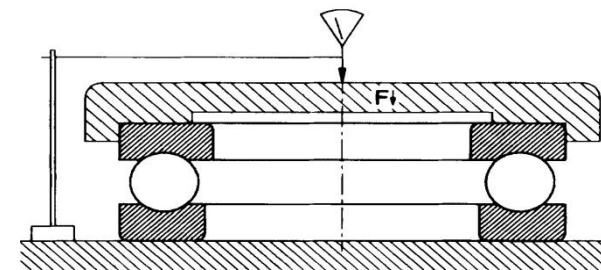
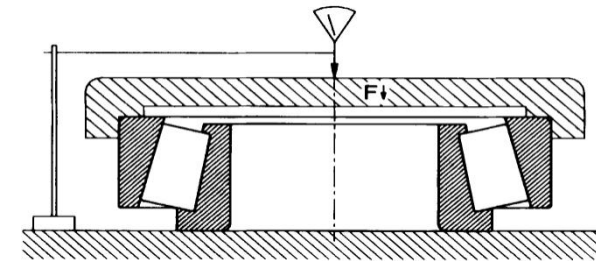
La variazione (V_{dmp} , V_{Dmp} - parallelismo) del diametro medio è la differenza tra il massimo ed il minimo diametro medio ottenuti da misurazioni su vari piani. I piani di misura devono trovarsi ad una distanza minima $2r$ dalla superficie frontale del cuscinetto.

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.

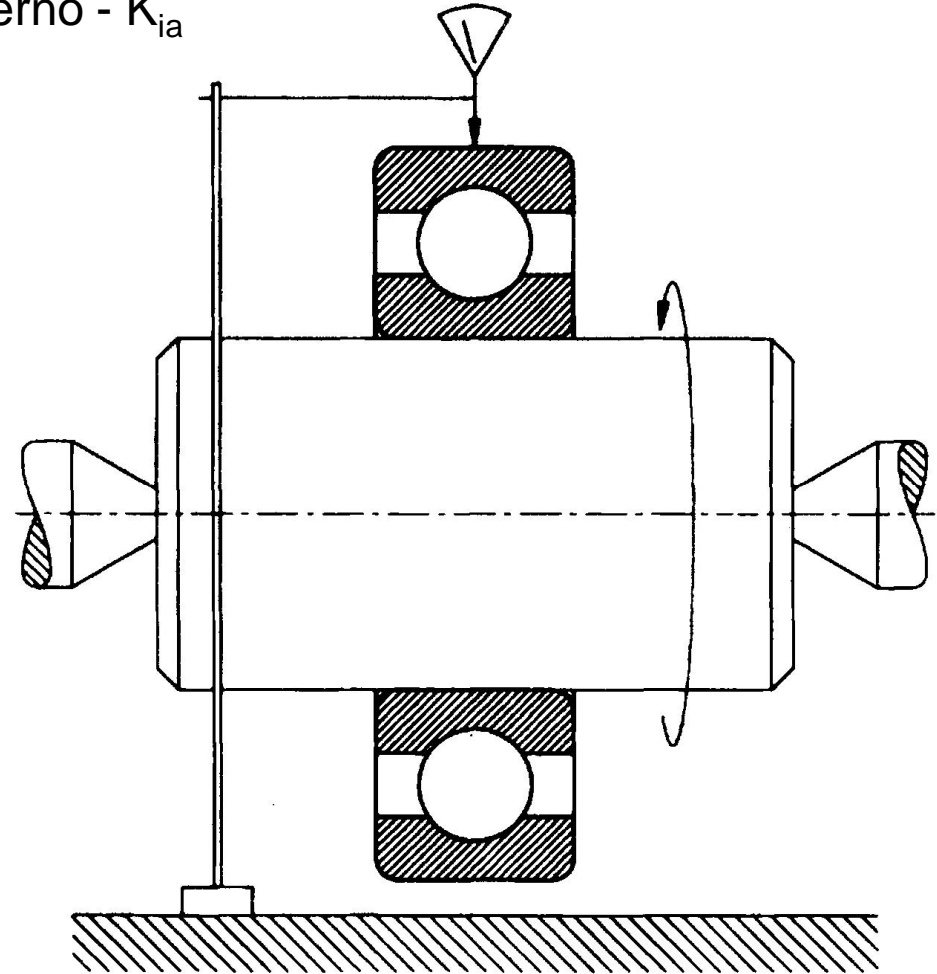


Precisione



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} .



Nozioni di base

Giochi

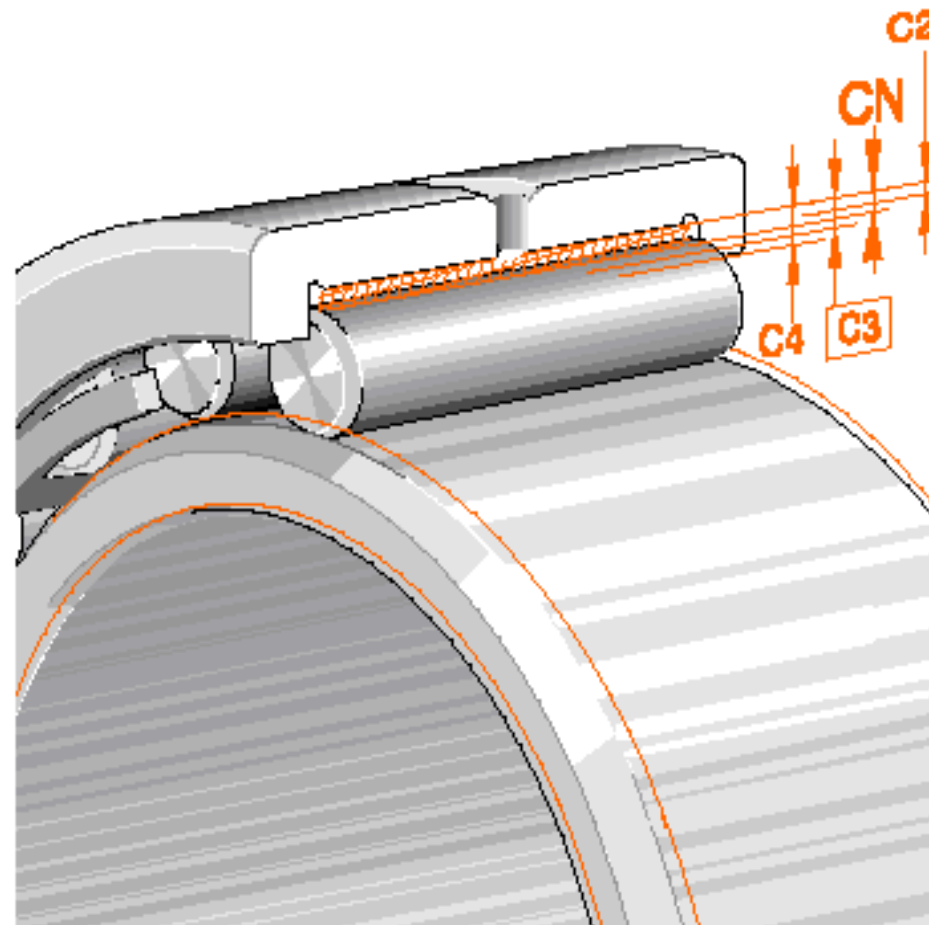


Gioco del cuscinetto

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.

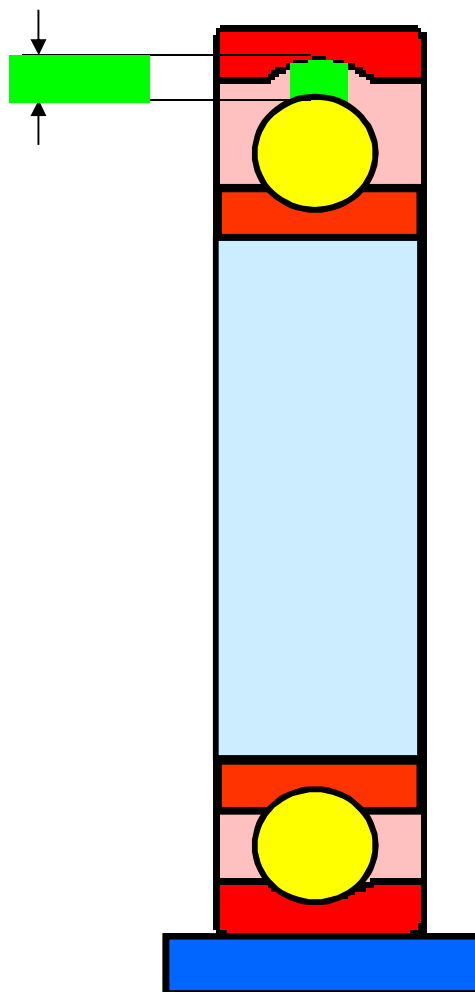


Gioco del cuscinetto

Gioco radiale

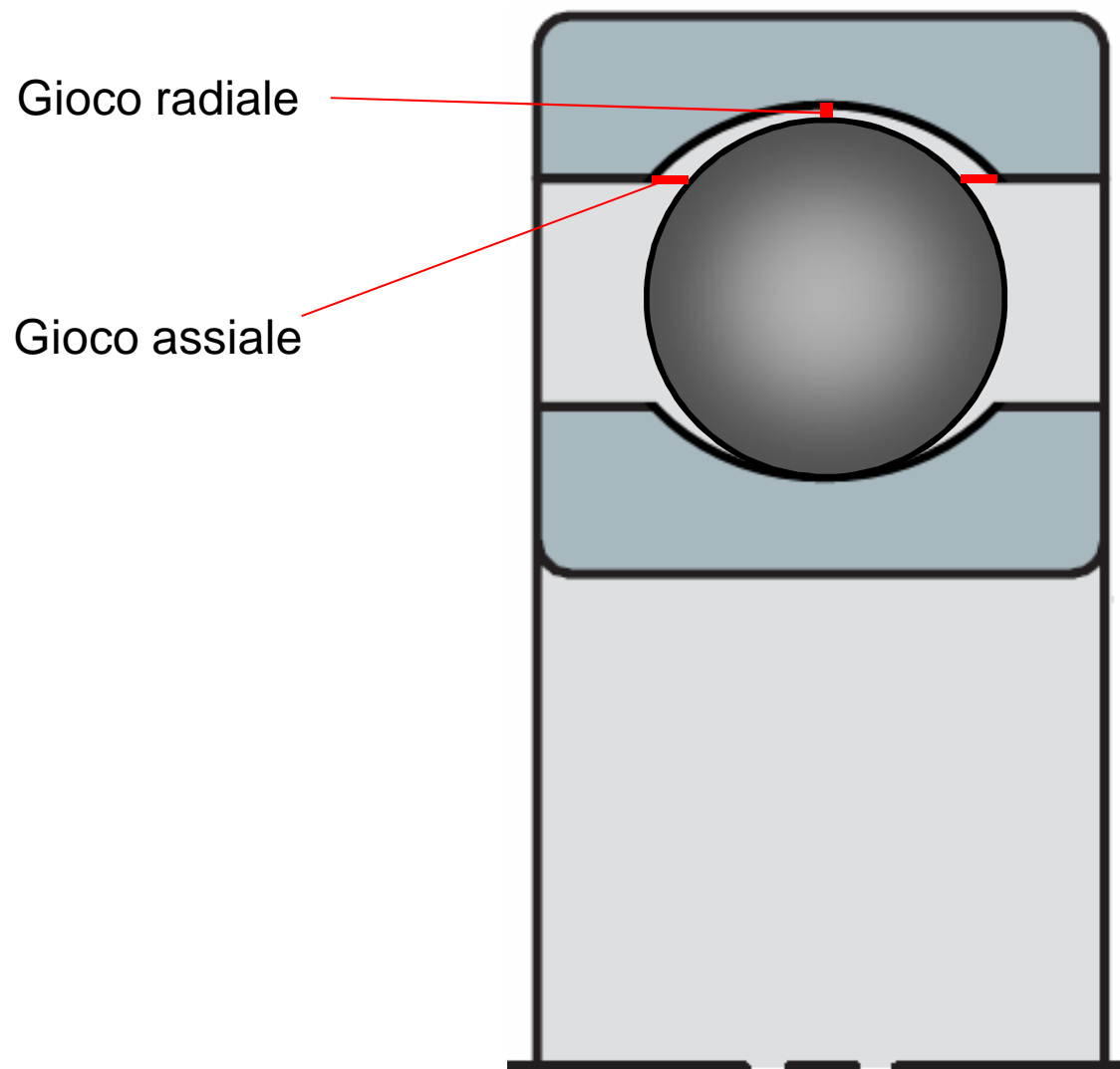


Gioco radiale



Gioco radiale / gioco assiale

Relazioni geometriche



Gioco del cuscinetto

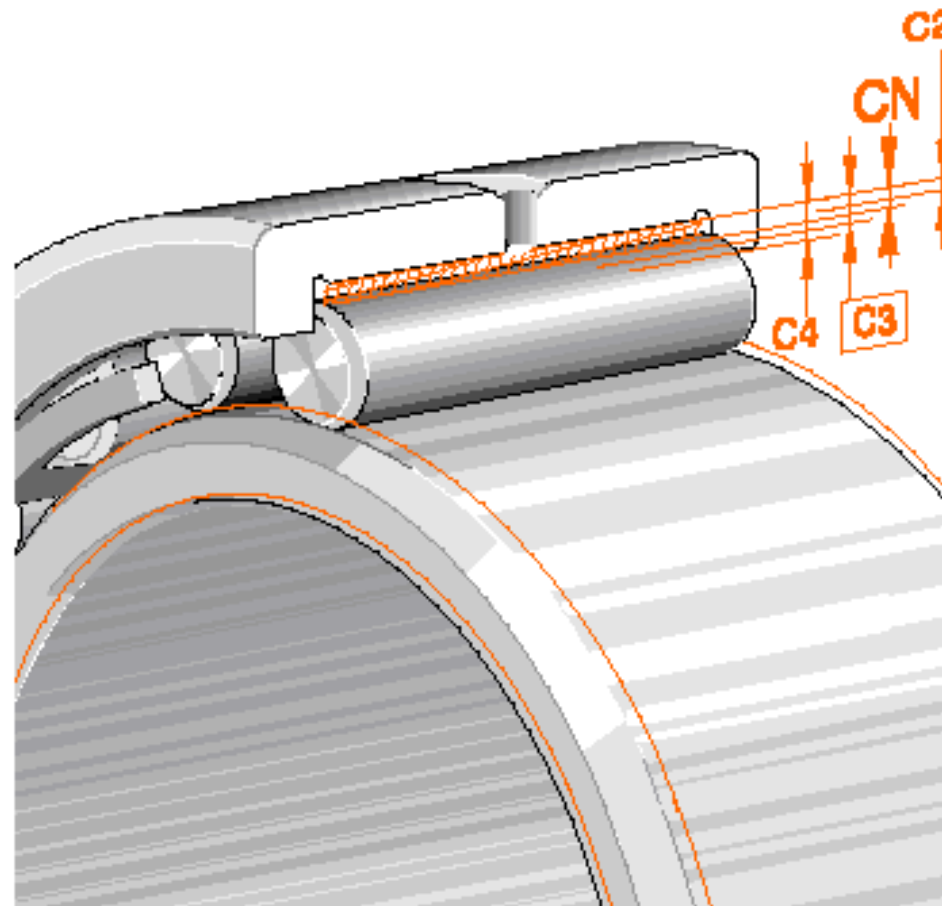
Categorie di giochi radiali



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



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	18	36	30	51
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71

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

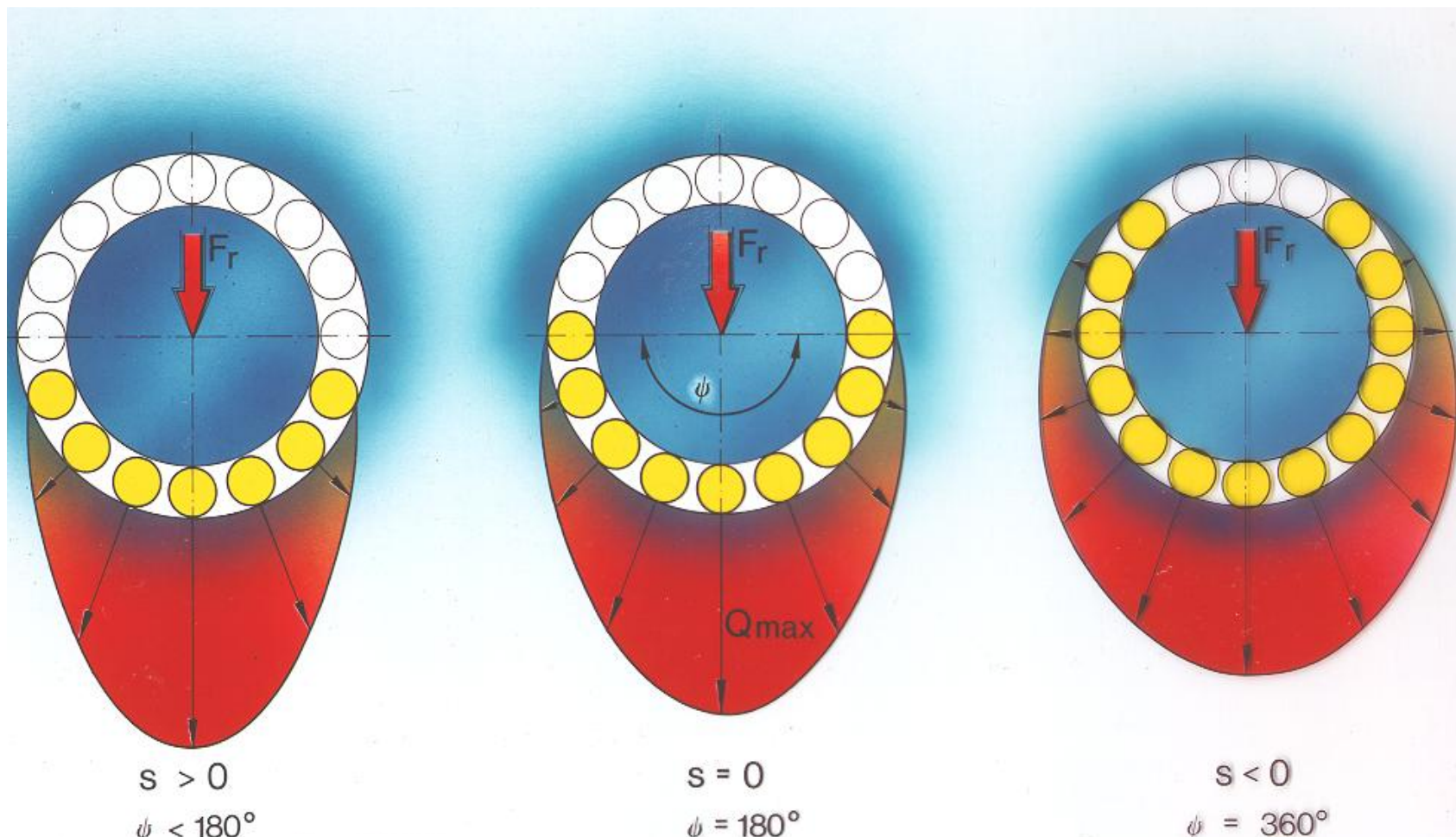
Un gioco radiale errato è causa di cattive prestazioni

Gruppi di gioco radiale

Gruppo	Suffisso	Classificazione	Spettro di applicazione
CN	nessun suffisso	Gioco normale (standard)	Utilizzabile per: <ul style="list-style-type: none"> ■ 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: <ul style="list-style-type: none"> ■ Accoppiamenti forzati degli anelli del cuscinetto
C4		Gioco >C3	<ul style="list-style-type: none"> ■ Grande differenza di temperatura tra anello interno ed esterno
C5		Gioco >C4	
C2		Gioco radiale <CN	Utilizzabile per: <ul style="list-style-type: none"> ■ 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



$s > 0$
 $\psi < 180^\circ$

$s = 0$
 $\psi = 180^\circ$

$s < 0$
 $\psi = 360^\circ$

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

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

Progettazione delle sedi

Influenza del precarico sulla durata

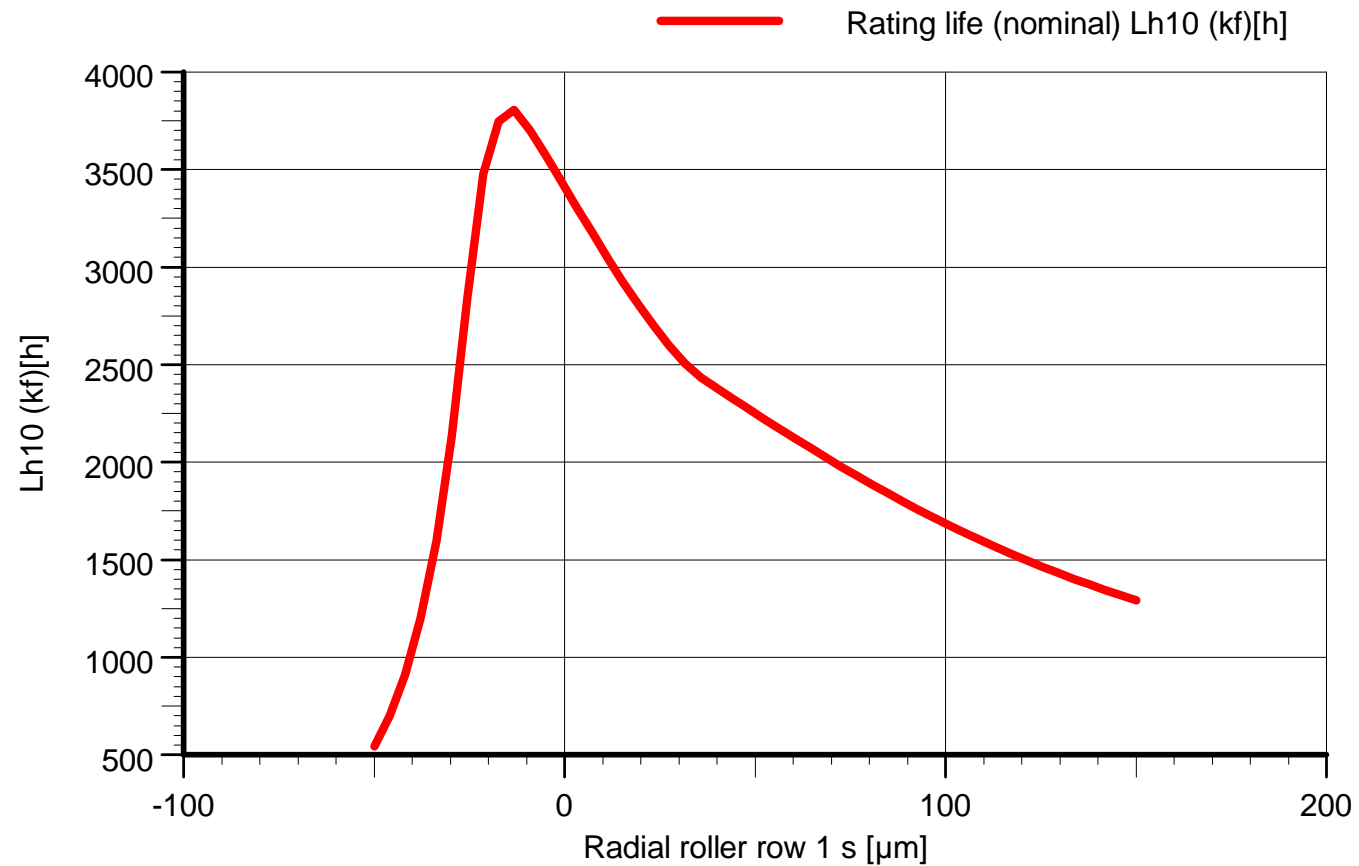


Cuscinetto NJ2210

$P = 20.000 \text{ N}$

$n = 1.000 \text{ rpm}$

$C_N : 0,030 - 0,060 \text{ mm}$



Nozioni di base

Tolleranze di montaggio



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

Tolleranze di montaggio

Progettazione delle sedi



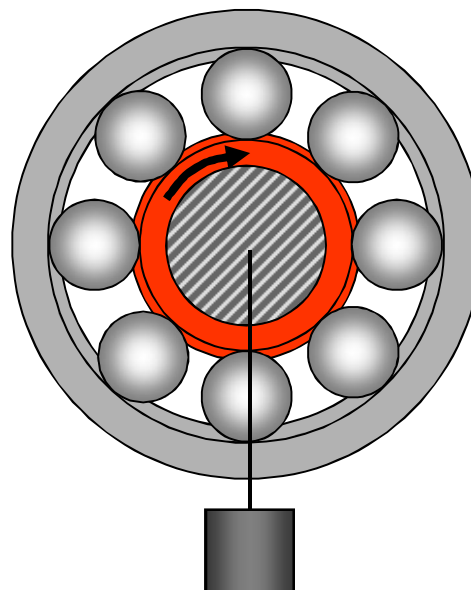
Condizioni di rotazione

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.

Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi



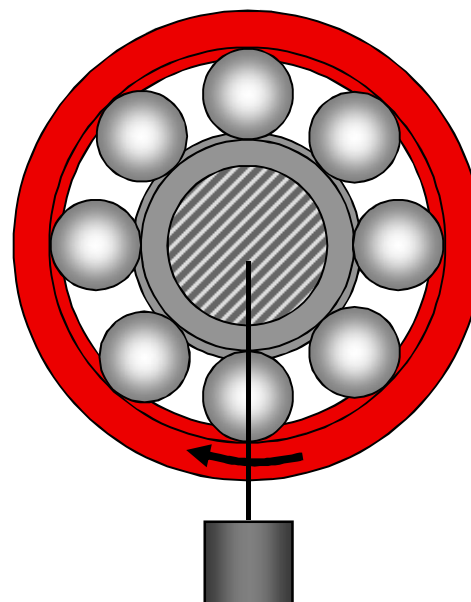
Anello interno

Carico periferico

Anello esterno

Carico puntiforme

Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi



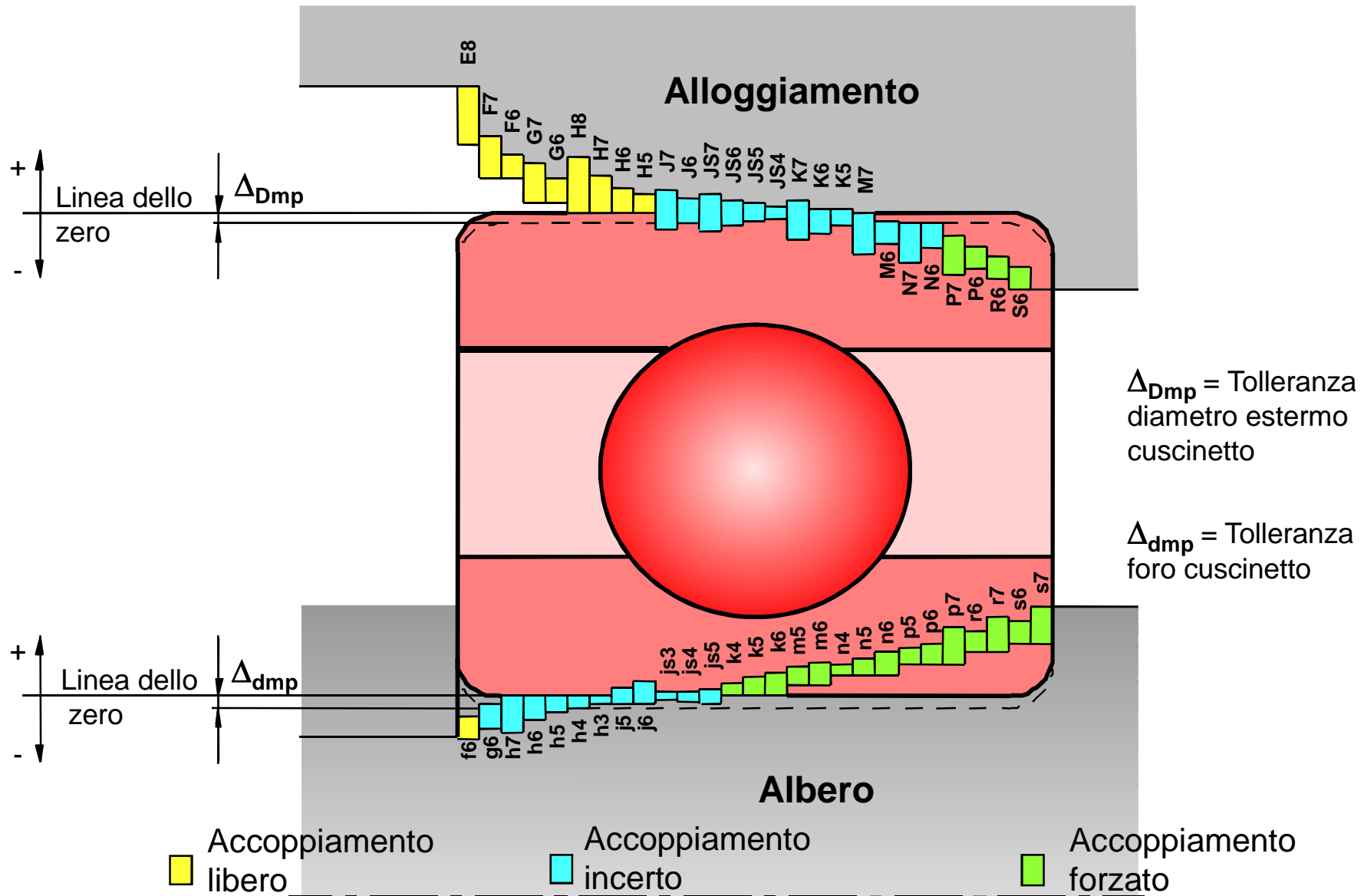
Anello interno

Carico puntiforme

Anello esterno

Carico periferico

Tolleranze di montaggio Progettazione delle sedi



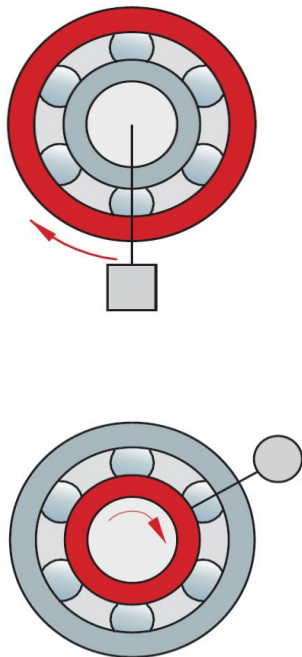
Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti



Carico puntiforme sull'anello interno

Cuscinetto radiale con foro cilindrico



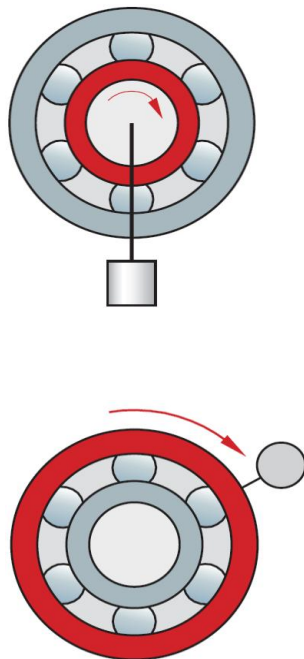
Tipo di cuscinetto	Diametro dell'albero mm	Scorrevolezza Carico	Tolleranza
Cuscinetti a sfere, cuscinetti a rulli	Tutte le grandezze	Anello interno facilmente spostabile	g6 (g5)
		Anello interno difficilmente spostabile cuscinetti a sfere, a contatto obliquo e cuscinetti a rulli conici con registrazione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

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)
			Carico basso ³⁾	j6 (j5)
		50 fino a 100	Carico norm./elevato ⁴⁾	k6 (k5)
			Carico basso ²⁾	k6 (m6)
		100 fino a 200	Carico norm./elevato ⁵⁾	m6 (m5)
			Carico basso	m6 (m5)
	oltre 200	Carico norm./elevato	n6 (n5)	
		Carico basso	j6 (j5)	
	Cuscinetti a rulli	fino 60	Carico norm./elevato	k6 (k5)
			Carico basso	k6 (k5)
			Carico normale	m6 (m5)
		60 fino a 200	Carico elevato	n6 (n5)
			Carico normale	m6 (n6)
			Carico elevato, urti	p6
		200 fino a 500	Carico normale	n6 (p6)
			Carico elevato	p6
		oltre 500	Carico normale	k6
			Carico elevato	m6
Cuscinetti a rullini		fino 50	Carico basso	m6
			Carico norm./elevato	n6
	50 fino a 120	Carico basso	n6	
		Carico norm./elevato	p6	
	120 fino a 250	Carico basso	p6	
		Carico norm./elevato	r6	
	250 fino a 400	Carico basso	r6	
		Carico norm./elevato	s6	
	400 fino a 500	Carico basso	r6	
		Carico norm./elevato	s6	
	oltre 500	Carico basso	r6	
		Carico norm./elevato	s6	

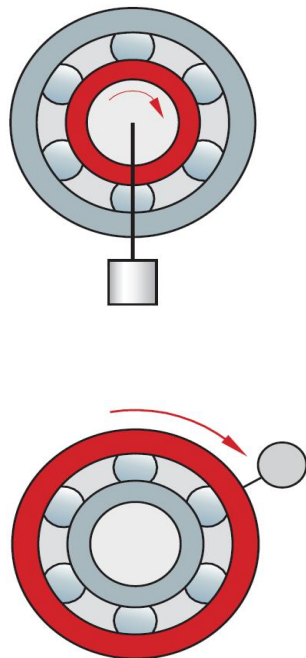
Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti



Carico puntiforme sull'anello esterno

Cuscinetto radiale



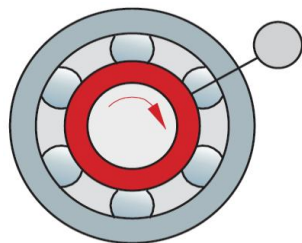
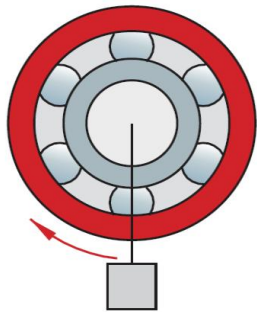
Spostabilità carico	Condizioni d'esercizio	Tolleranza
Anello esterno facilmente spostabile, supporto monoblocco	La qualità della tolleranza si basa sulla necessaria precisione di rotolamento	H7 (H6) ¹⁾
Anello esterno facilmente spostabile, supporto in due metà		H8 (H7)
Anello esterno difficilmente spostabile,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

Progettazione delle sedi

Scelta degli accoppiamenti

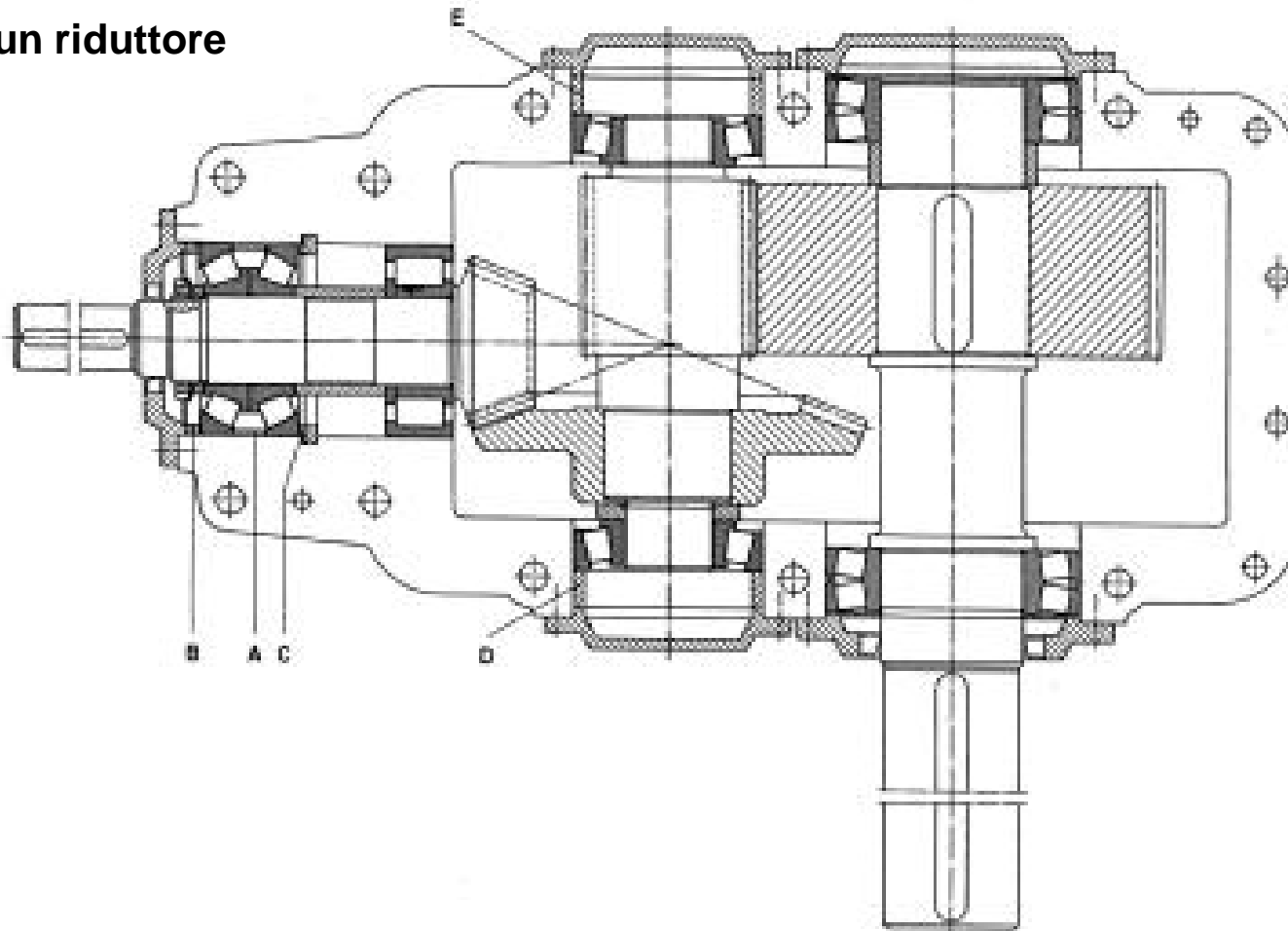


Cuscinetto radiale



Carico rotante per l'anello esterno o direzione di carico indeterminata	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 ($C/P < 6$), anello esterno non spostabile		N7 (N6)
	Carico elevato, forti urti, alloggiamento a parete sottile, anello esterno non spostabile		P7 (P6)

Schema di un riduttore

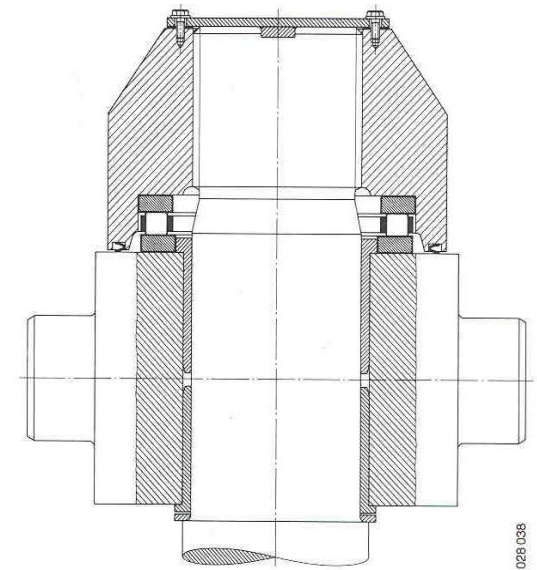
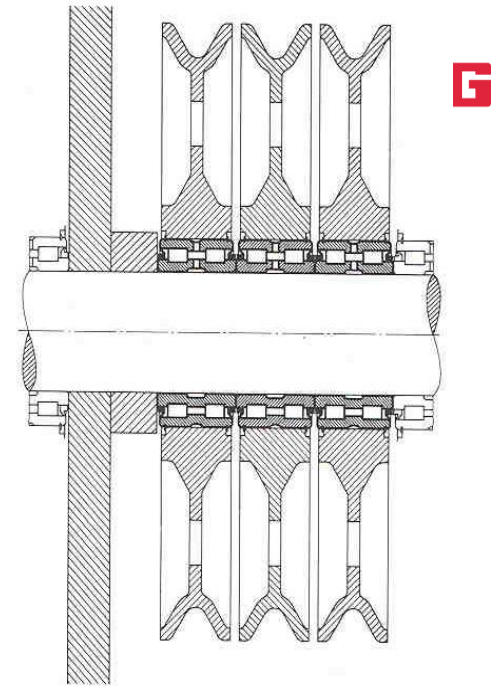
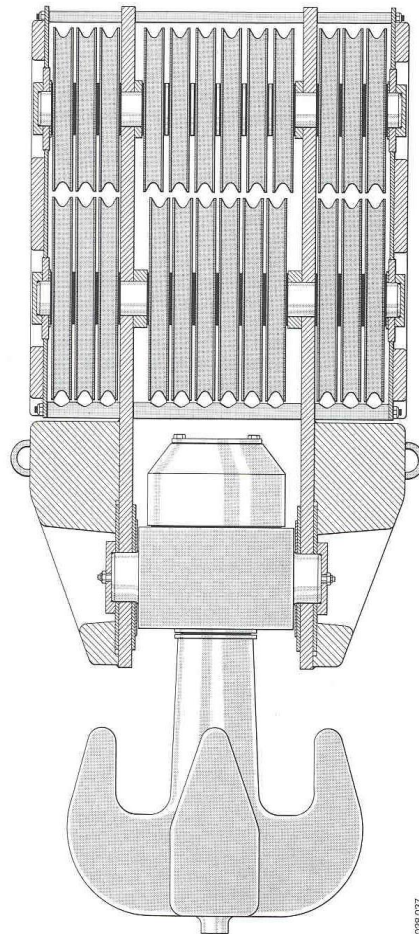
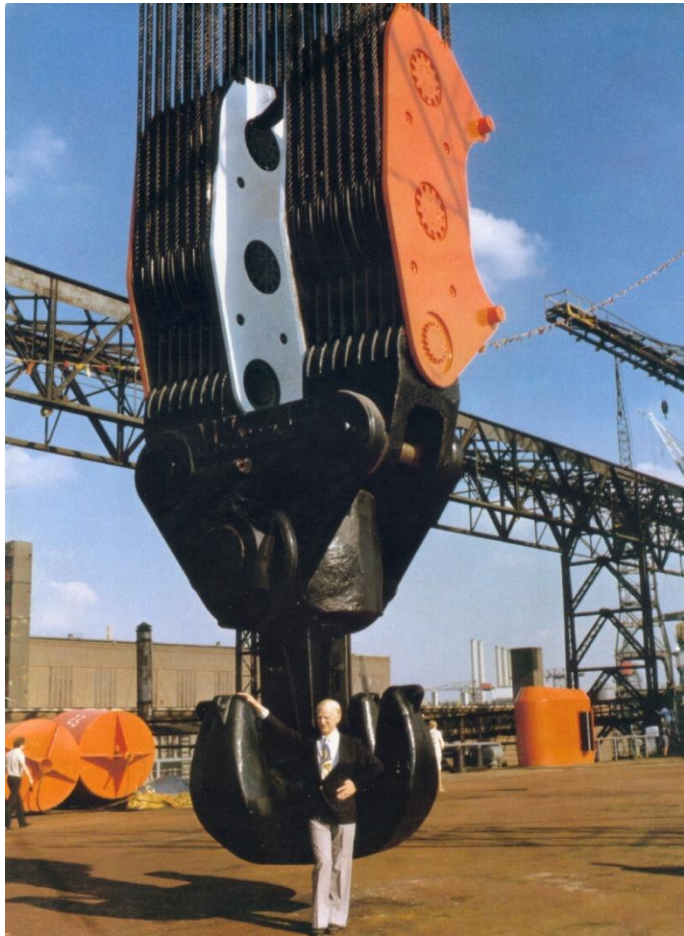


	cuscinetti	n [rpm]	P[kN]		
ingresso	31315-N11CA	1000	37.3		
ingresso	NUP 2315 E	1000	40.7		
intermedio	30320	396	56.2 / 40.52		
uscita	23028	160	73.9		

Tolleranze di montaggio ?

albero : k5 – m6

alloggiamento : H6 – H7



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

Progettazione delle sedi

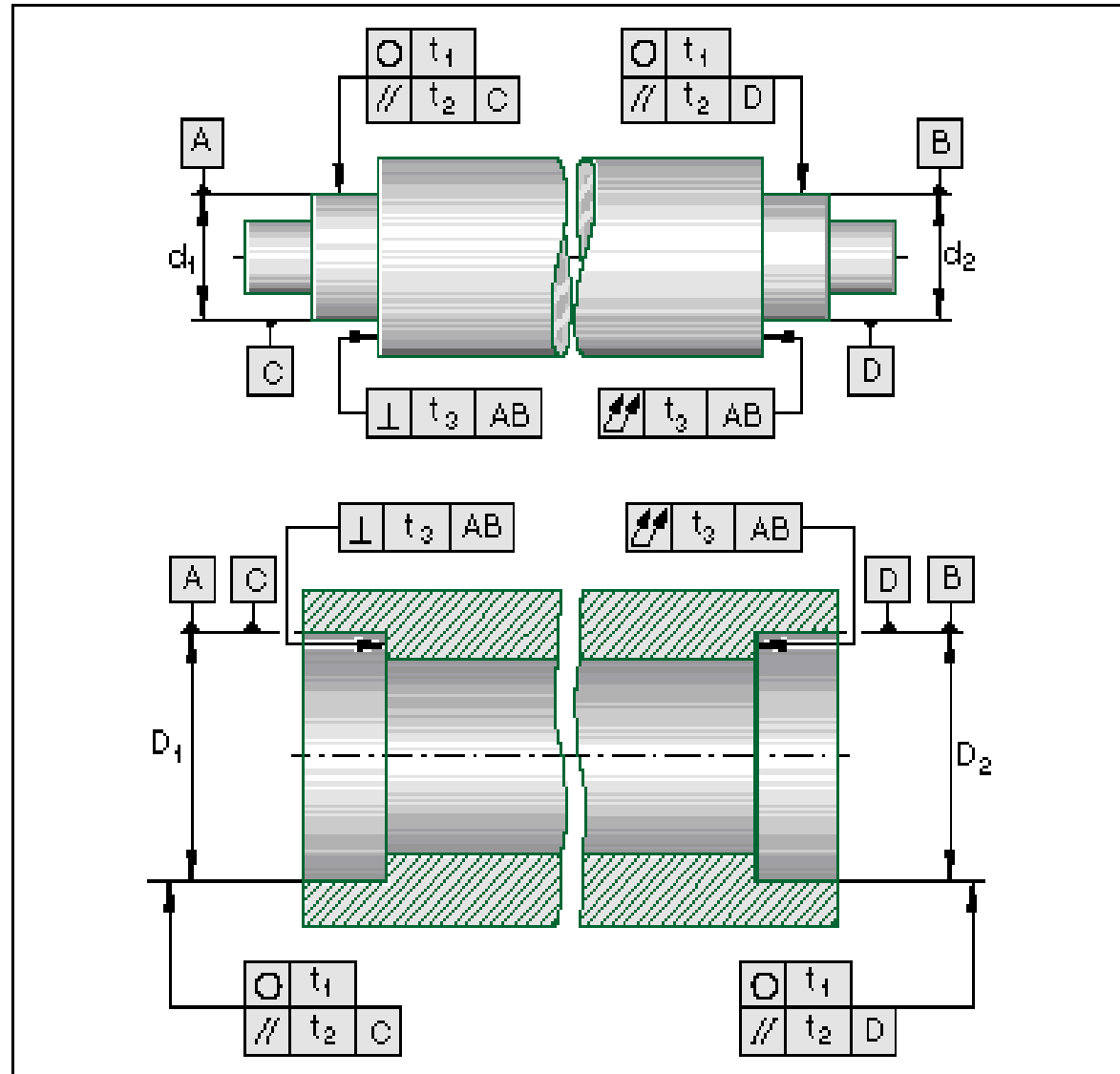
Tolleranze di forma delle sedi



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.



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 t1	Tolleranza di parallelismo t2	Tolleranza di planarità dello spallamento t3
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	

Nozioni di base

Configurazione del sistema di supporto

Cuscinetto fisso – mobile

Cuscinetti flottanti

Cuscinetti registrabili

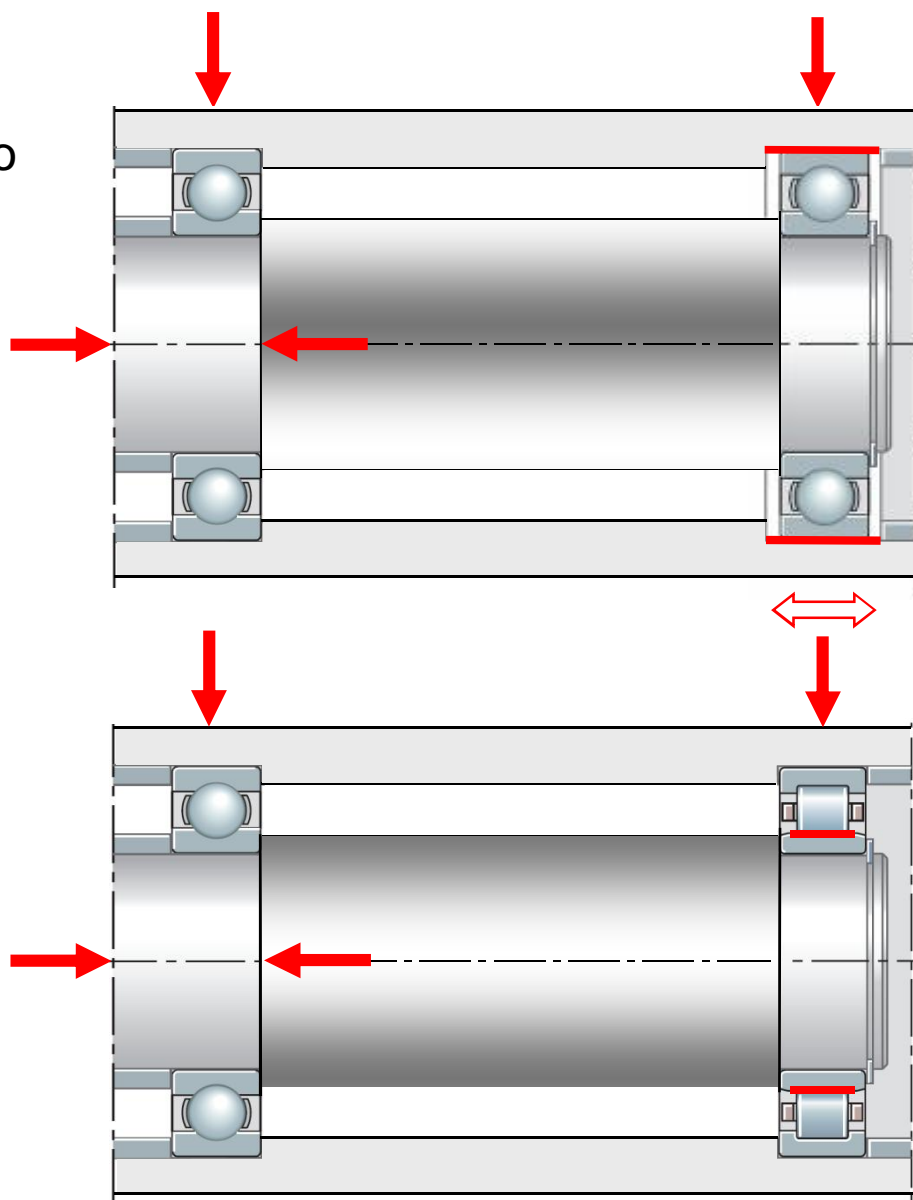


Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Cuscinetto fisso

Cuscinetto mobile

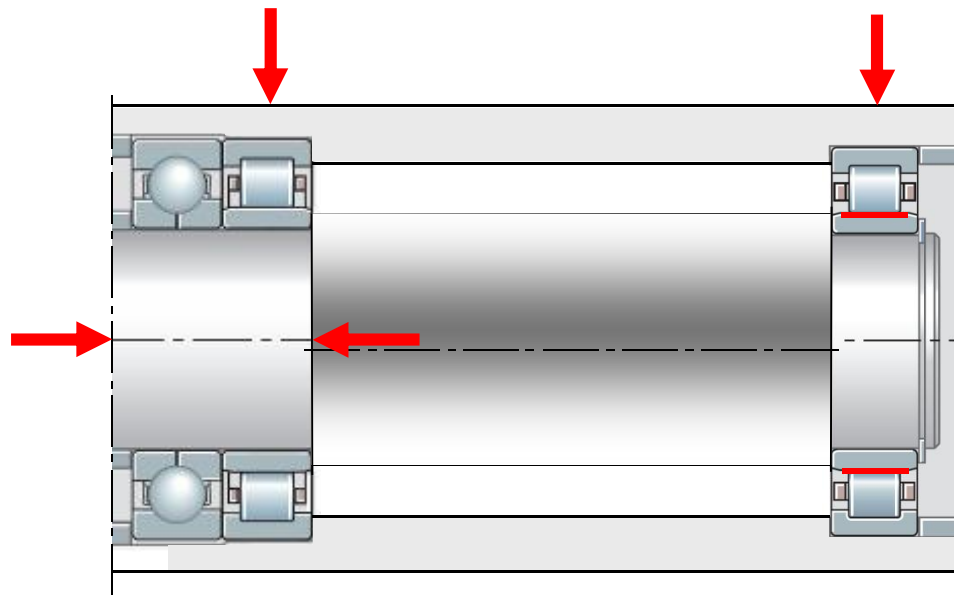


Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



Cuscinetto fisso

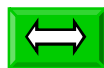
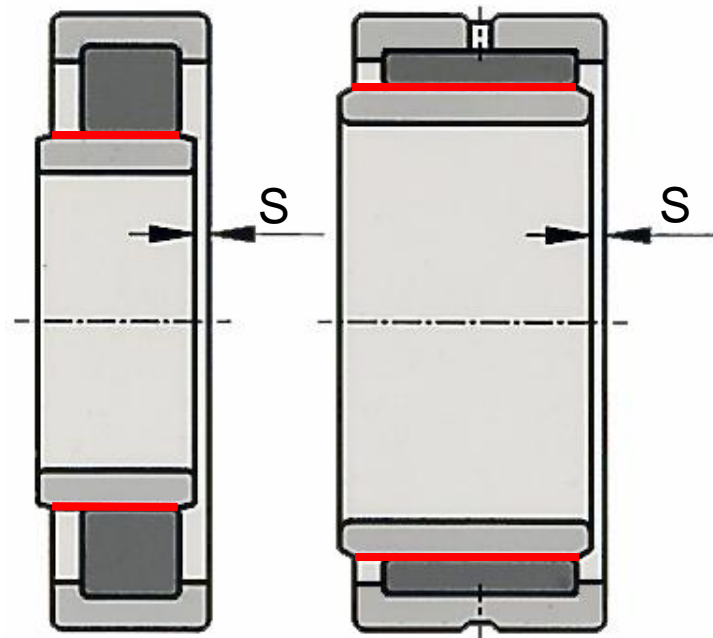
Cuscinetto mobile



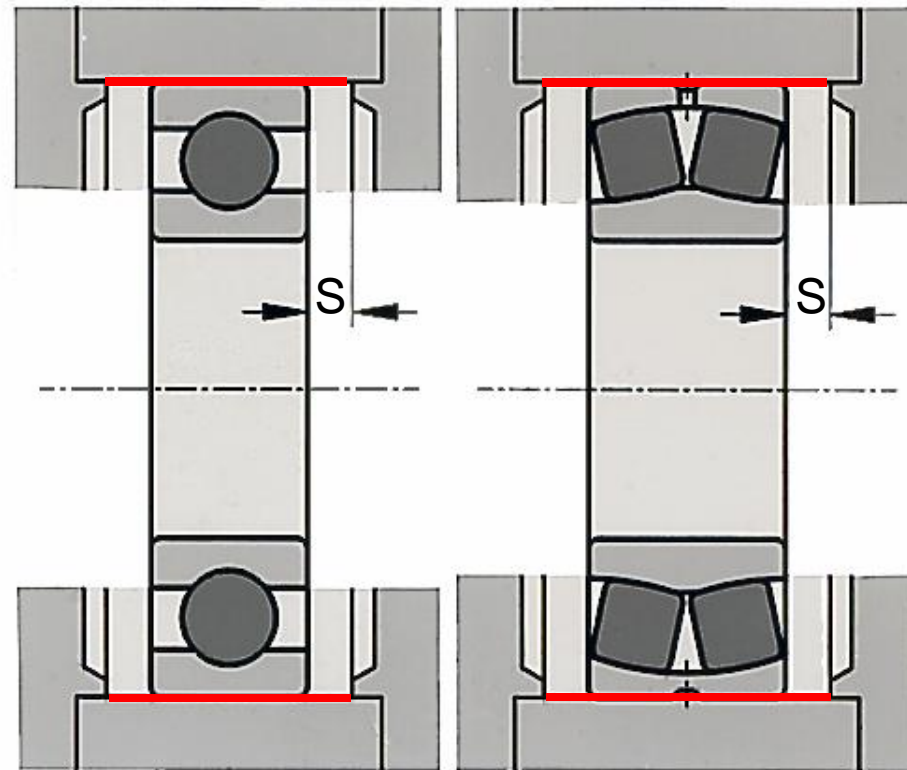
Configurazione : cuscinetto fisso – cuscinetto mobile



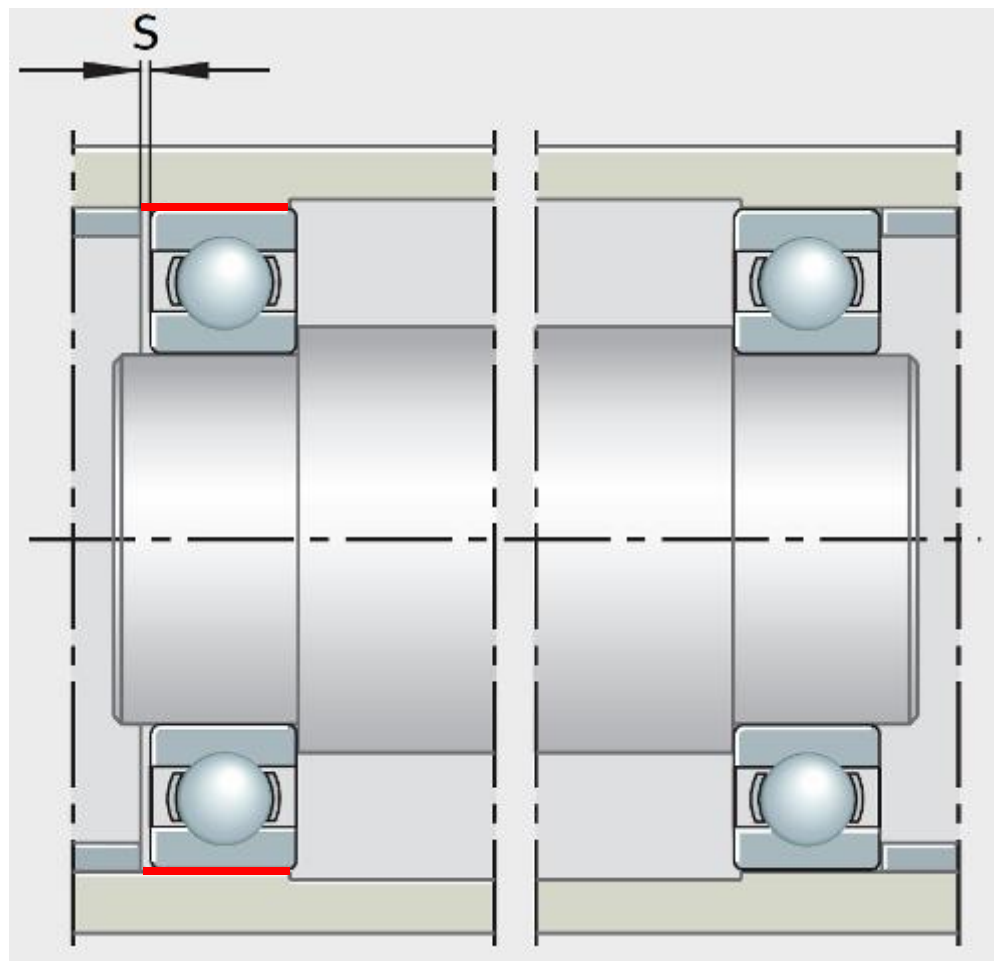
Movimento assiale
entro il cuscinetto



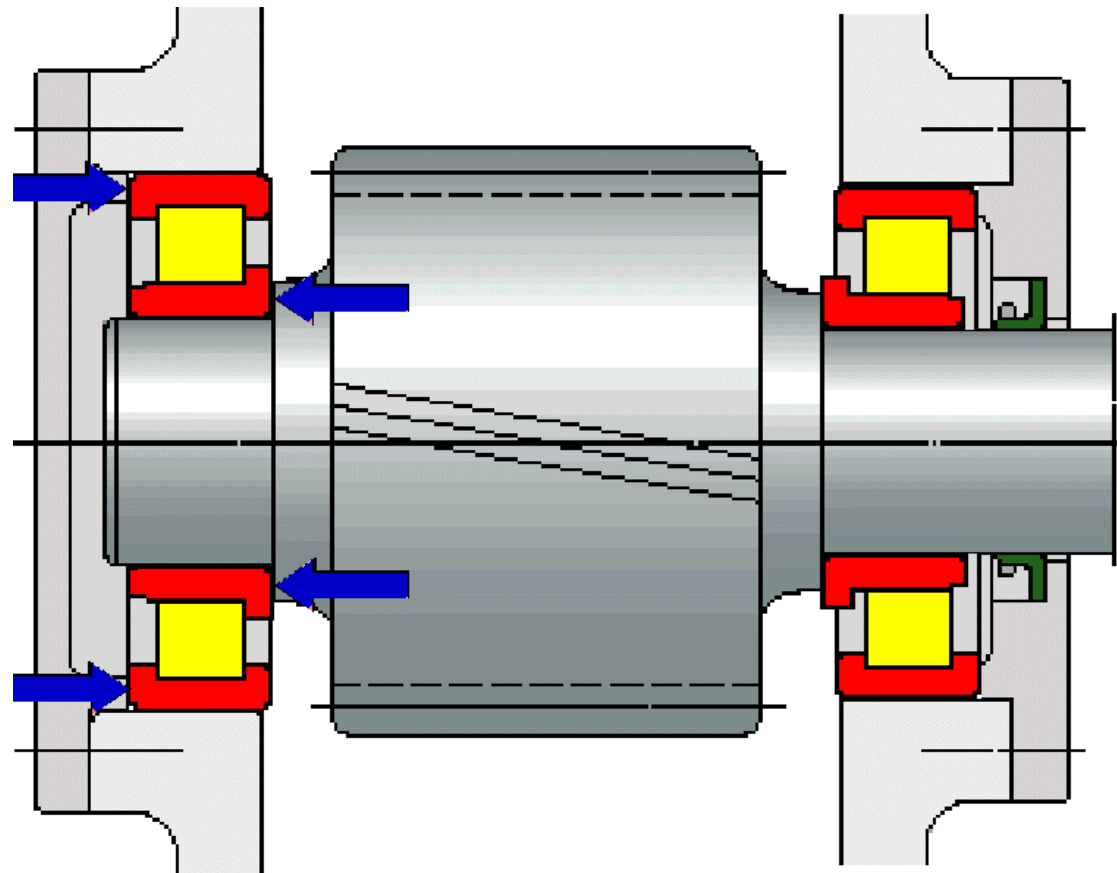
Movimento assiale tra
cuscinetto e alloggiamento



Configurazione : cuscinetti flottanti



Configurazione : cuscinetti flottanti

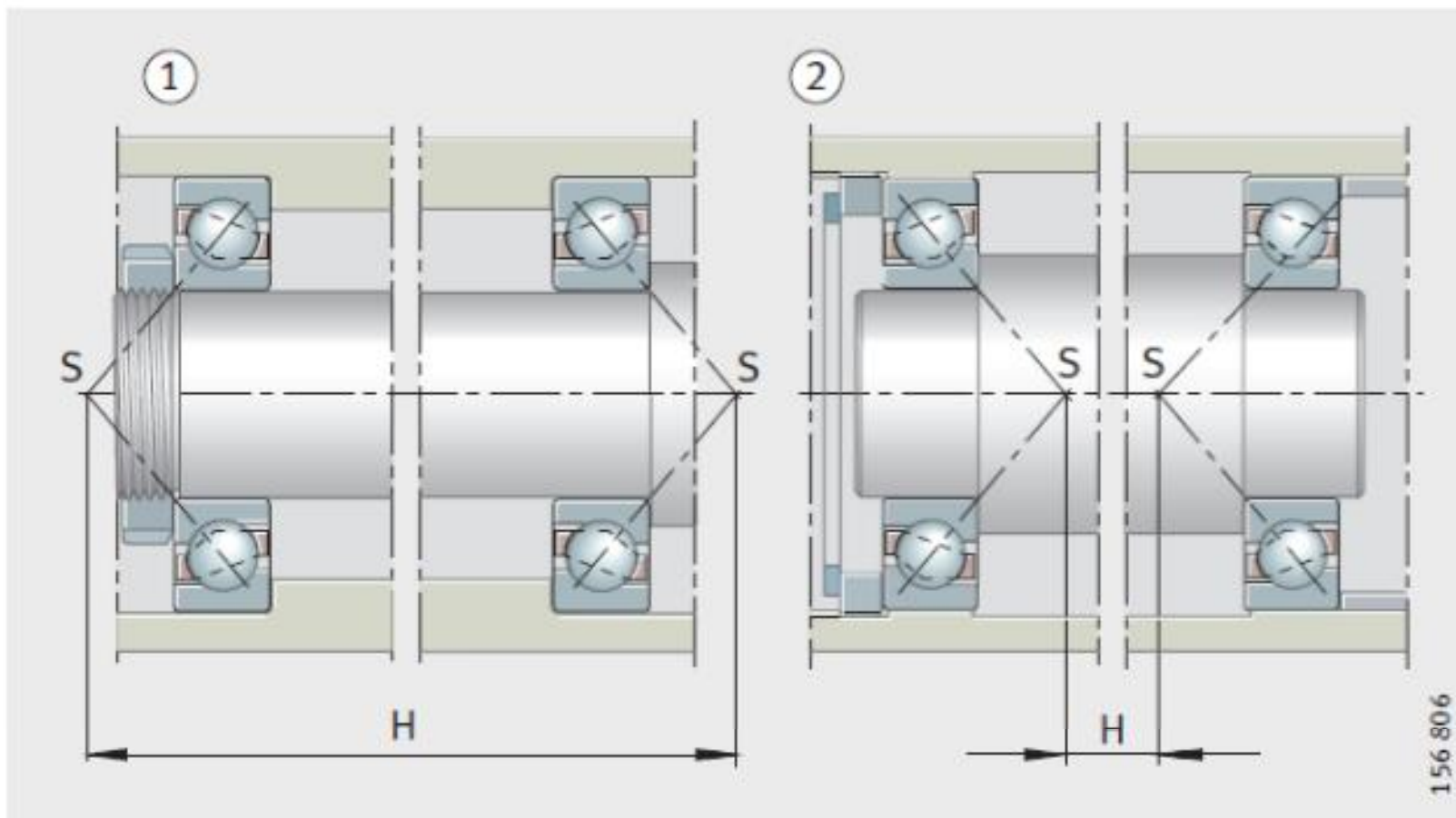


Cuscinetto di appoggio

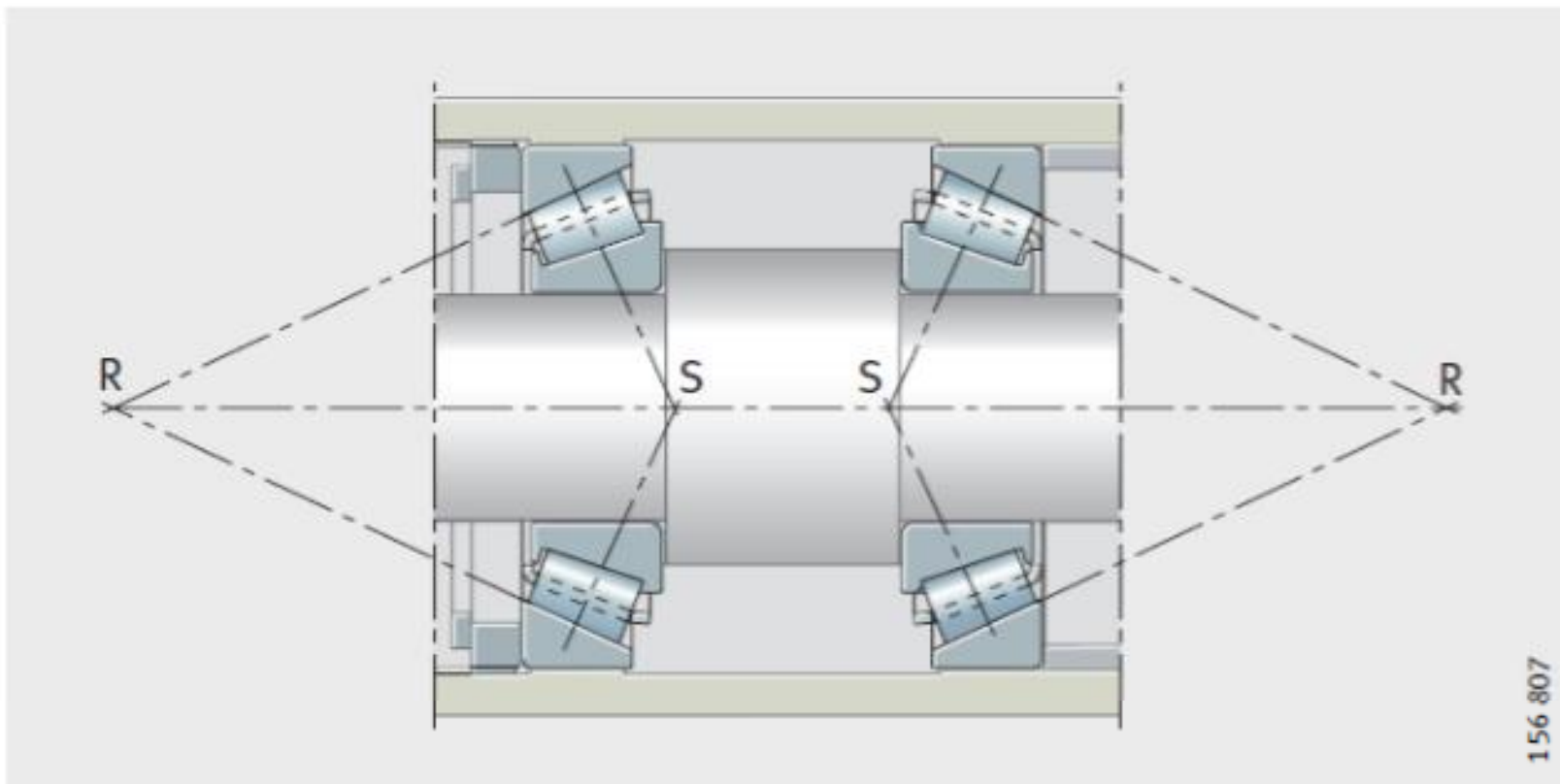
Cuscinetto di appoggio

Configurazione : cuscinetti registrabili

Questa configurazione permette la registrazione dei giochi



Configurazione : cuscinetti registrabili



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

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.

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 $p = 3$

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 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.

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.

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.

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

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

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:

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

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

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

$$P = \sqrt[3]{\frac{\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot F_i^p + \dots + \frac{1}{a_z} \cdot q_z \cdot n_z \cdot F_z^p}{q_i \cdot n_i + \dots + q_z \cdot n_z}}$$

carico equivalente

Calcolo dei valori dinamici equivalenti



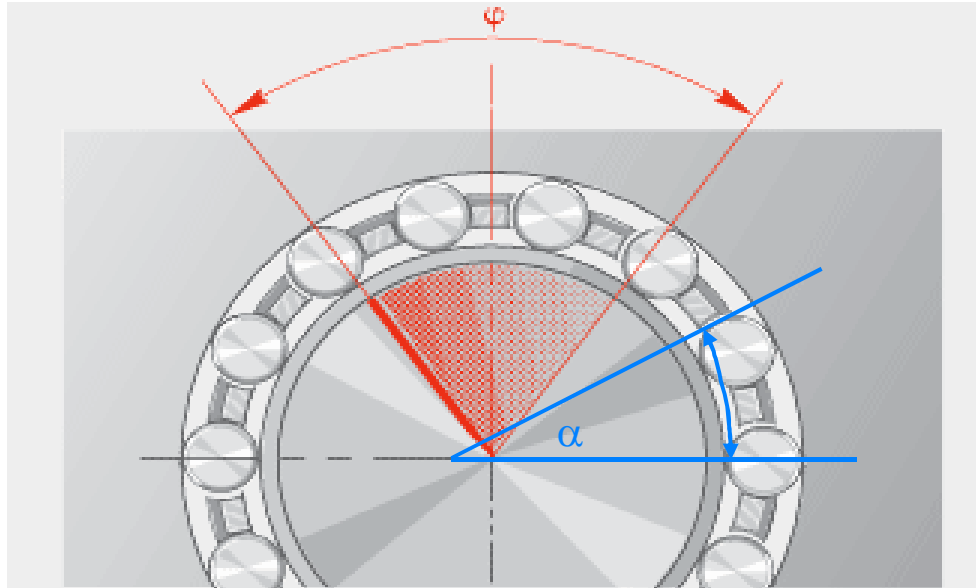
- Carico e velocità variabili in modo continuo

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

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

- n 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) · 100
- F_i, F(t) N
Carico sul cuscinetto nella condizione momentanea d'esercizio

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.

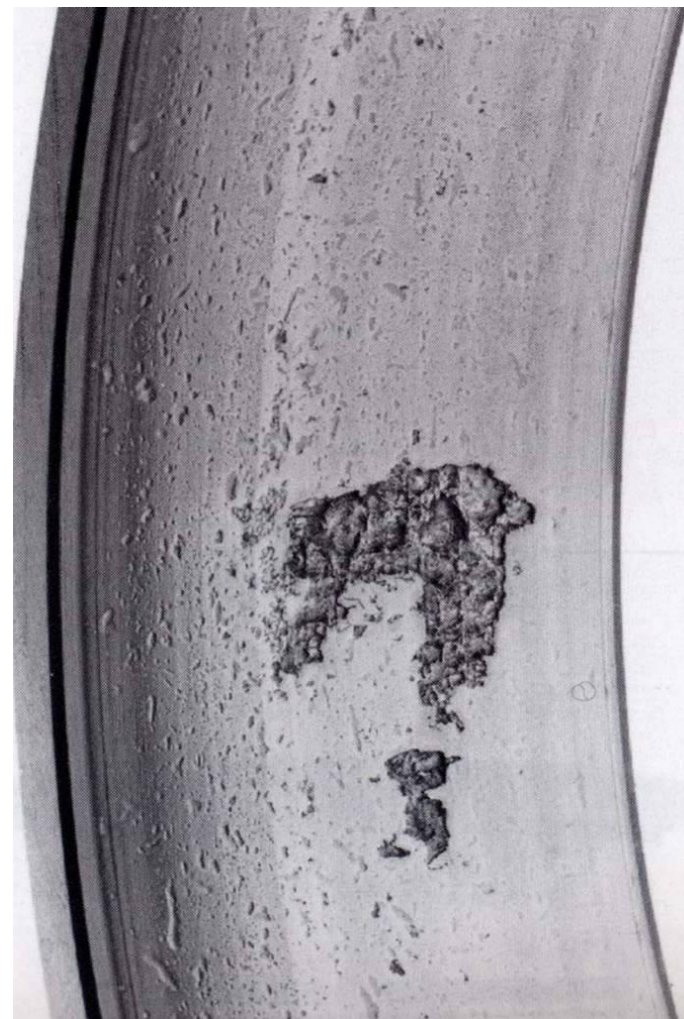
$$\phi > 2\alpha$$



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

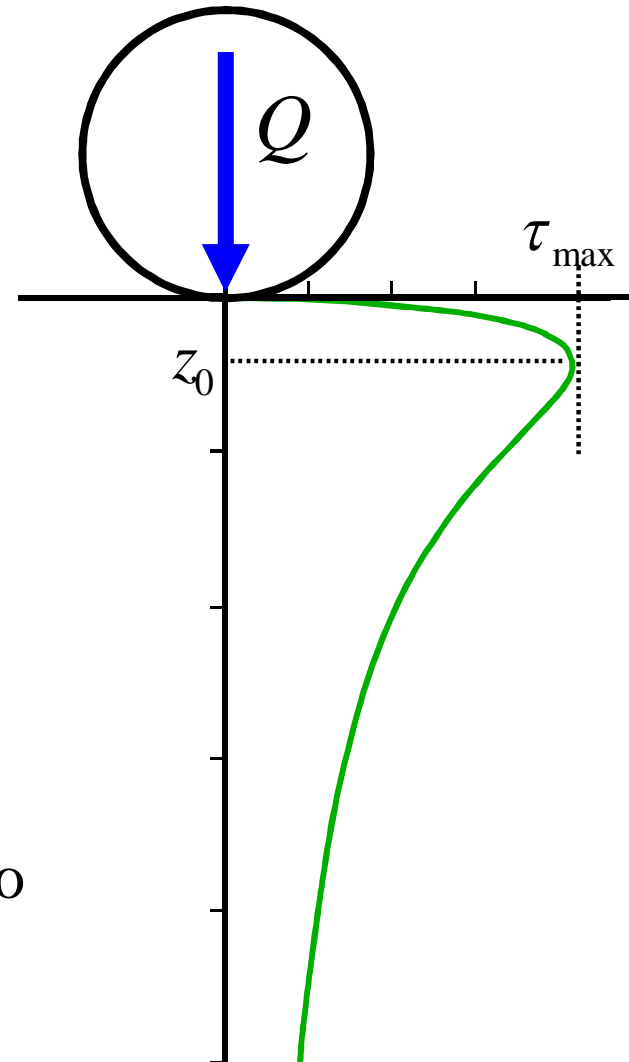
τ_0 = massima tensione tangenziale

z_0 = profondità della massima τ

N = numero di cicli di carico

V = volume sollecitato

c = esponente determinato in modo empirico



Norma ISO 281

Approccio di calcolo secondo Lundberg-Palmgren



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

$$\tau_0 = 0.25 \cdot p_H$$

$$z_0 \sim p_H \cdot D_w \cdot \left(1 - \frac{D_w}{d_m}\right)$$

$$V \sim \pi \cdot l_w \cdot (d_m \mp D_w) \cdot z_0$$

$$N = \text{cost} \cdot p_H^{\frac{c-h+1}{-e}} \cdot \left(\frac{l_w \cdot (d_m - D_w)}{\left(D_w \cdot \left(1 - \frac{D_w}{d_m}\right) \right)^{h-1}} \right)^{\frac{-1}{e}}$$

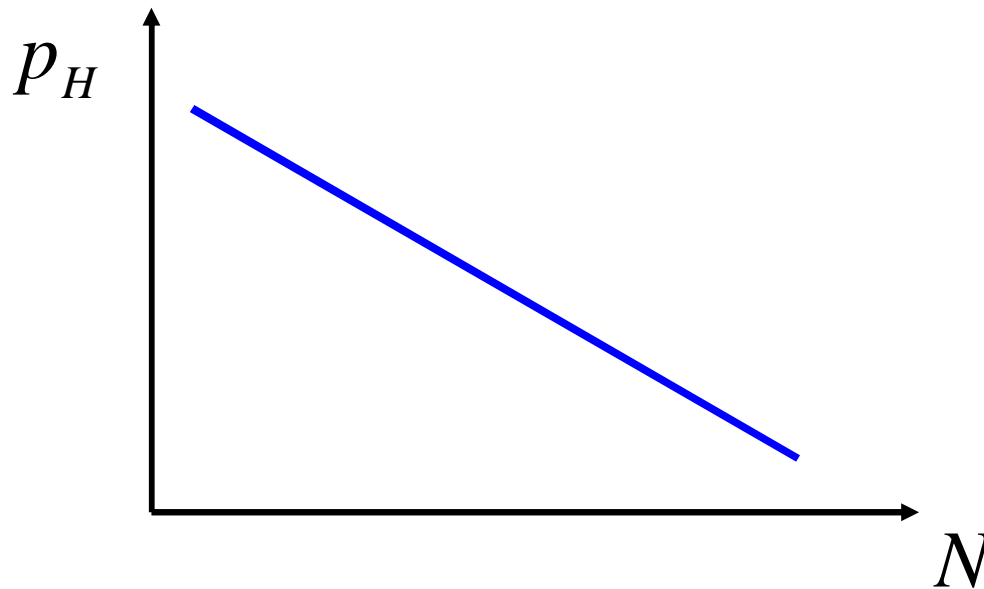
Norma ISO 281

Approccio di calcolo secondo Lundberg-Palmgren

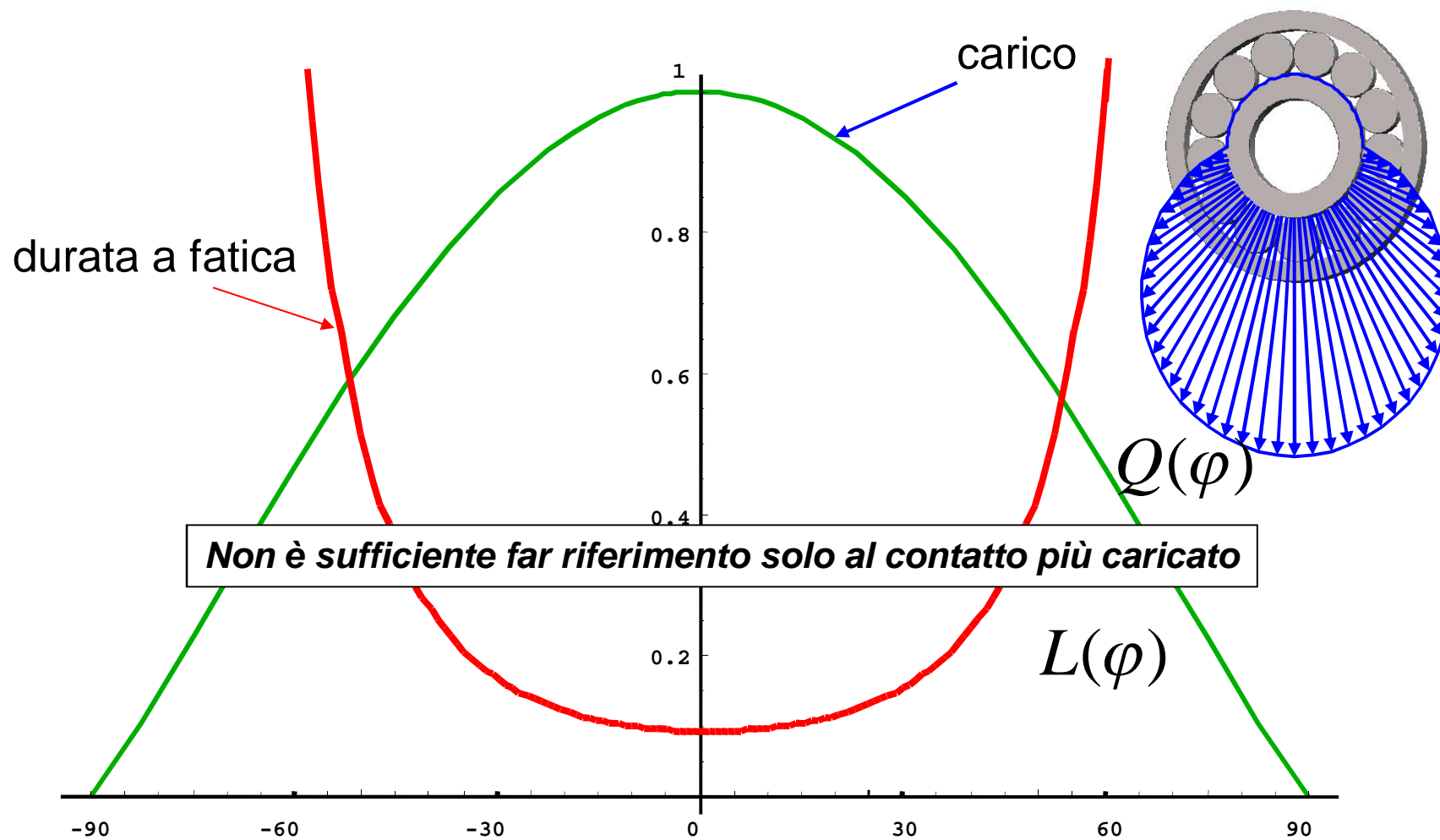


$$\ln\left(\frac{1}{S}\right) \sim \frac{\tau_0^c \cdot N^e \cdot V}{z_0^h}$$

$$N = p_H^{\frac{c-h+1}{-e}} \cdot \text{cost} \cdot f(\text{geometria})$$



Capacità di carico e durata a fatica



Capacità di carico e durata a fatica

Distribuzione del carico in un cuscinetto



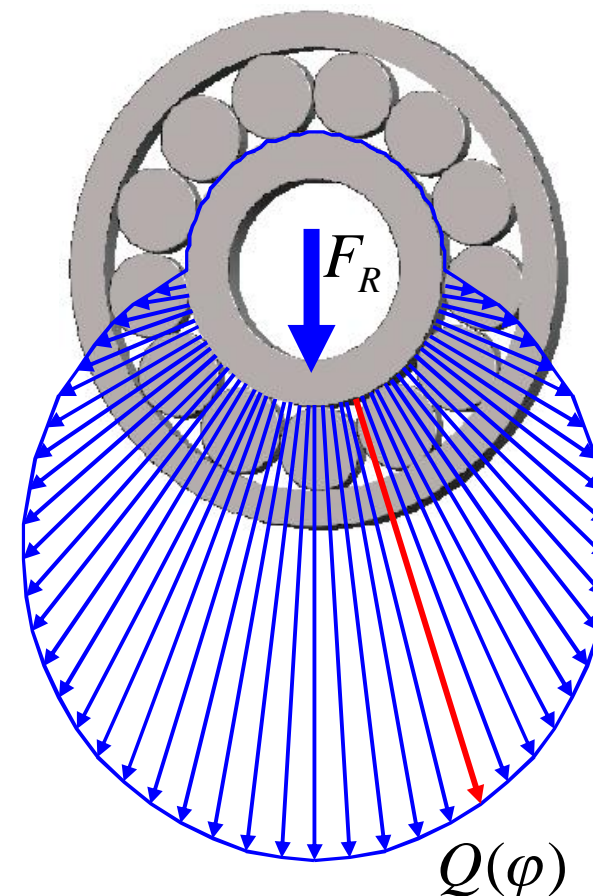
cuscinetto a sfere :

$$Q(\varphi) = F_r \cdot \frac{4.37}{Z} \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos(\varphi)) \right]^{3/2}$$

cuscinetto a rulli :

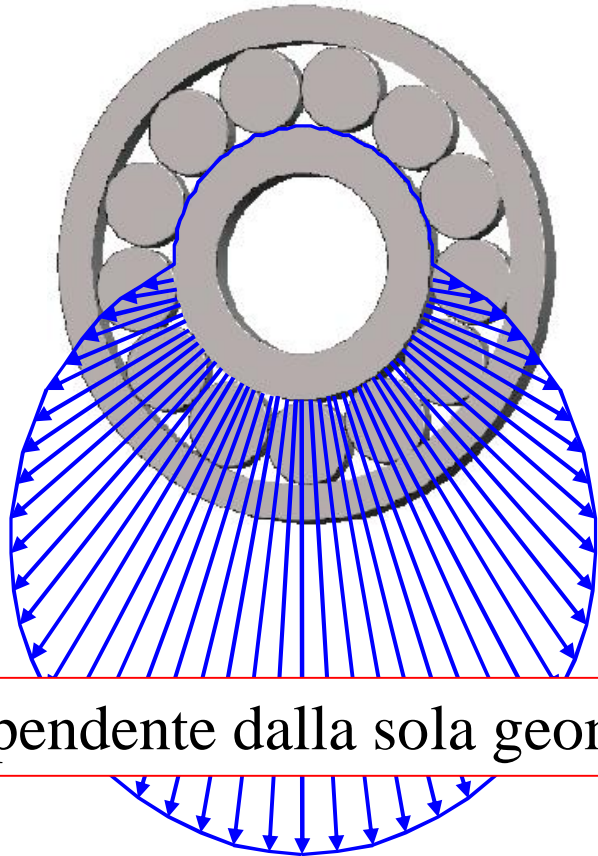
$$Q(\varphi) = F_r \cdot \frac{4.07}{Z} \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos(\varphi)) \right]^{10/9}$$

$$\varepsilon = (1 - C / (2 \cdot \delta_r)) / 2$$



Capacità di carico e durata a fatica

Durata complessiva a fatica del cuscinetto



$$Q(\varphi) = F_r \cdot \frac{4.07}{Z} \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos(\varphi)) \right]^{1.1}$$

$$N_i = \text{cost} \cdot \frac{1}{p_{H,i}(\varphi)}^{\frac{c-h+1}{e}} \cdot \left(\frac{l_w \cdot (d_m - D_w)}{D_w \cdot \left(1 - \frac{D_w}{d_m} \right)^{h-1}} \right)^{-\frac{1}{e}}$$

$$L_i = \frac{N_i}{\text{cicli di carico / giro}}$$

dipendente dalla sola geometria

$$\frac{1}{L_{tot}^e} = \left(\frac{1}{L_1^e} + \frac{1}{L_2^e} + \dots + \frac{1}{L_n^e} \right)$$

Norma ISO 281

Coefficiente di carico dinamico



$$N = p_H^{\frac{c-h+1}{-e}} \cdot \text{cost} \cdot f(\text{geometria})$$

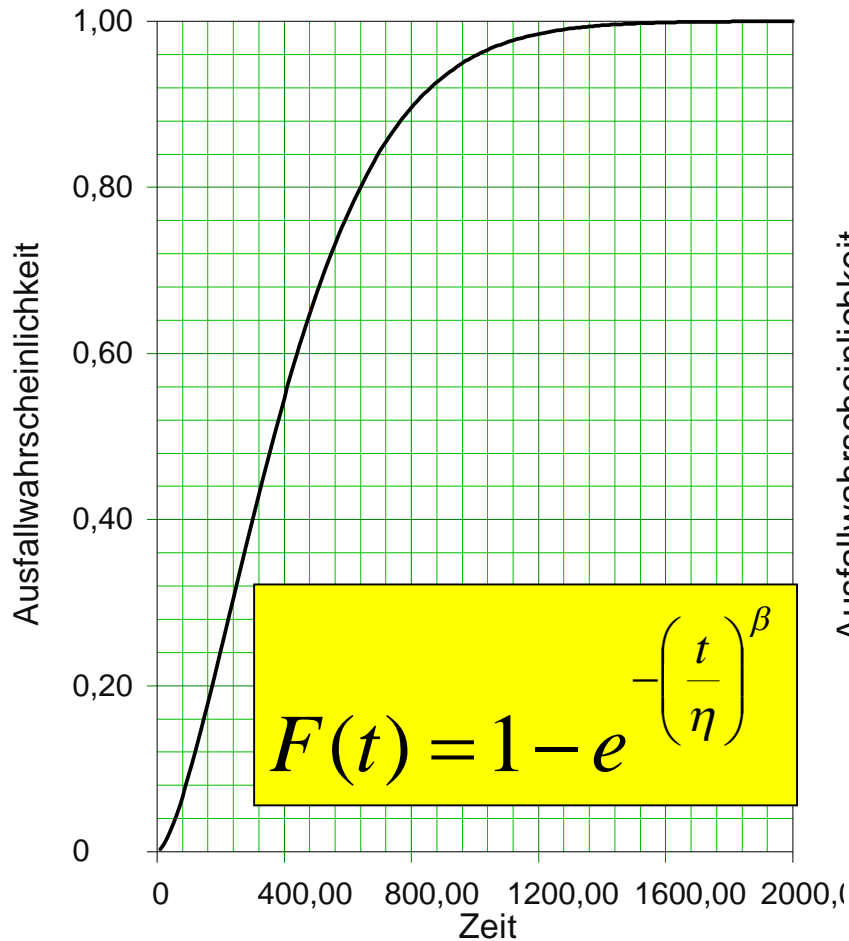
$$\frac{L}{10^6 \text{ giri}} = \left(\frac{p_H}{p_{h,C}} \right)^{\frac{c-h+1}{-e}} = \left(\frac{Q_C}{Q} \right)^{\frac{c-h+1}{+2 \cdot e}} \hat{=} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Tutti i termini dipendenti dalla geometria sono riassunti nel coefficiente di carico dinamico

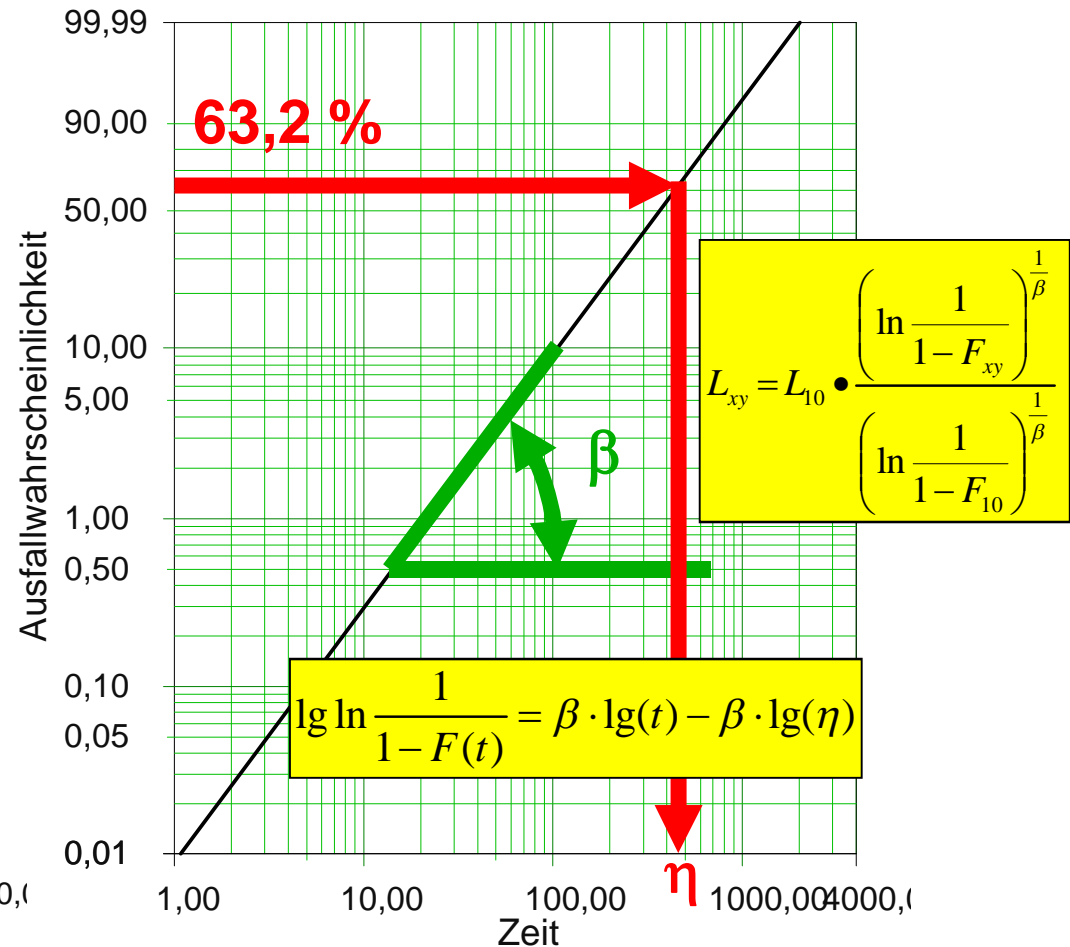
$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^{\frac{c-h+1}{2 \cdot e}} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Percentuale di rottura

Distribuzione di Weibull



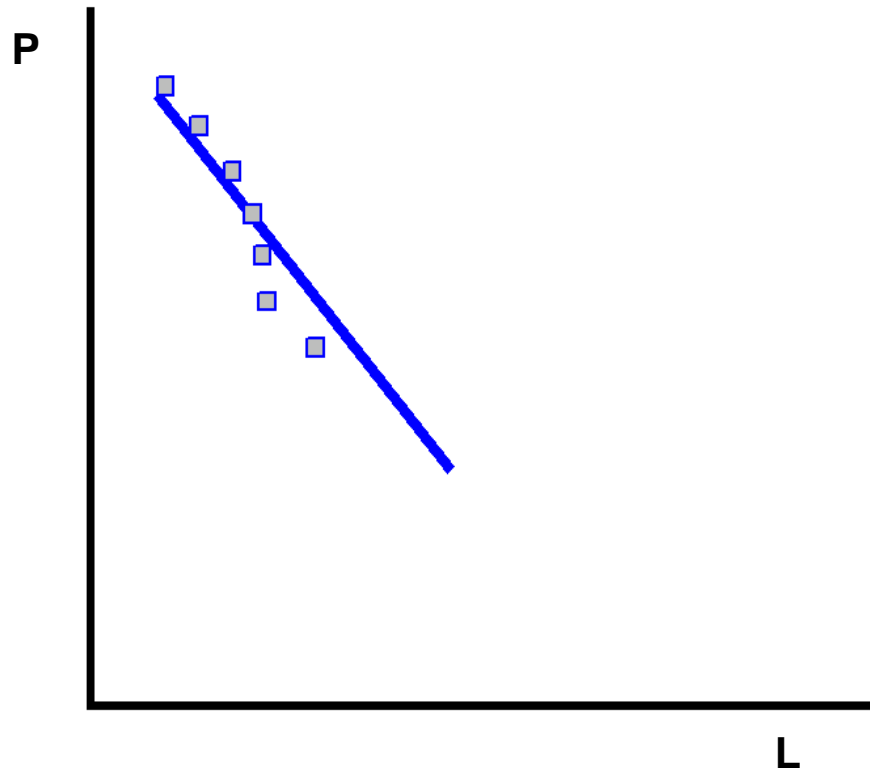
$\beta = 10/9$ per cuscinetti a sfere
 $\beta = 27/20$ per cuscinetti a rulli



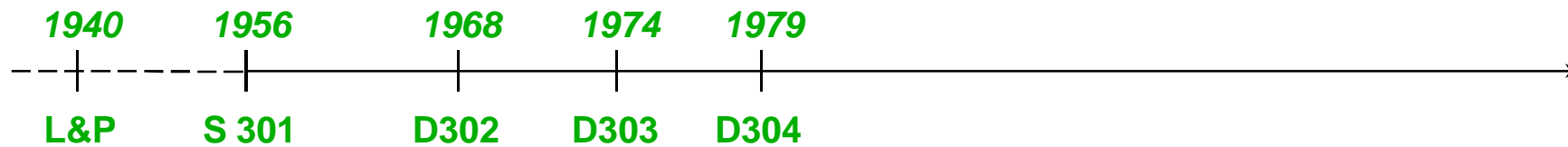
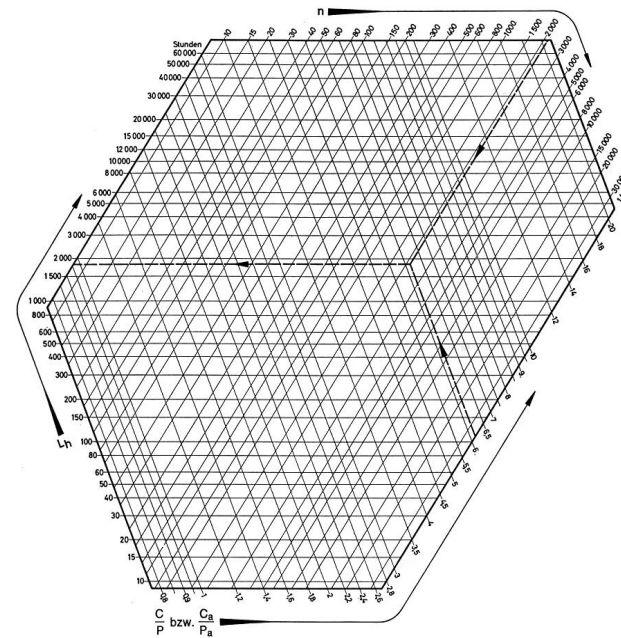
es: $L_{10} = 1000$ ore (cusc. sfera)

$L_{50} = 5449$ ore

1. Stadio – durata nominale



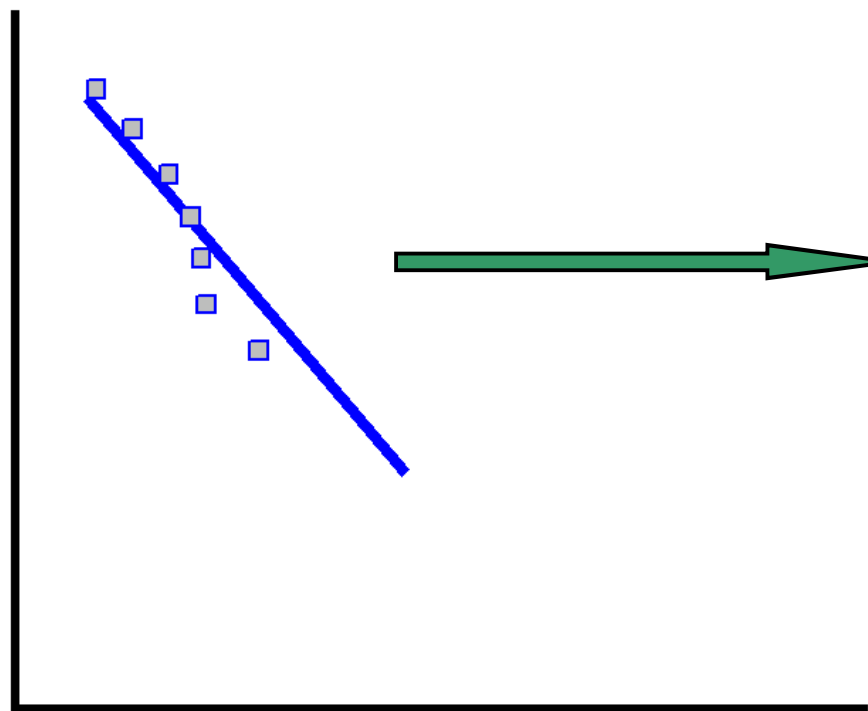
$$L = (C/P)^p$$



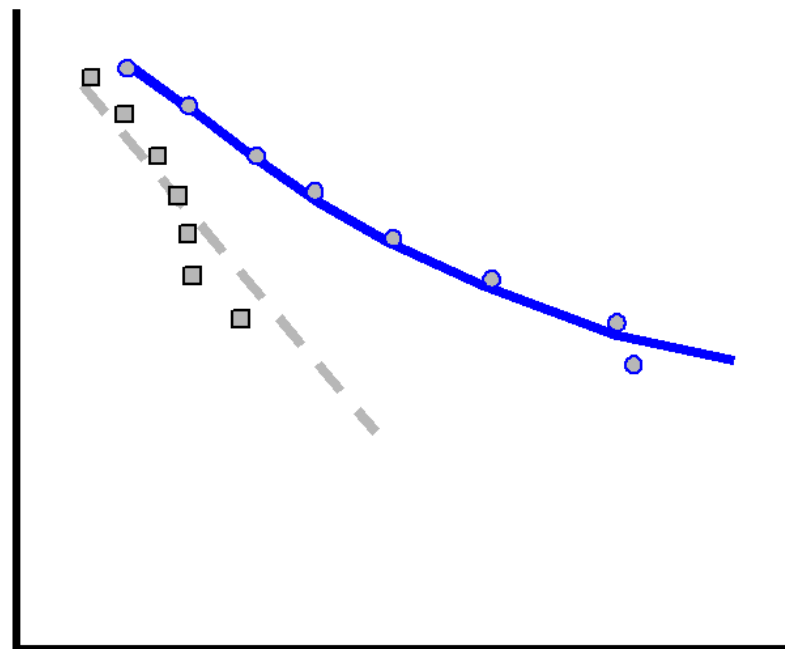
Norma ISO 281 Durata a fatica ampliata



Carico



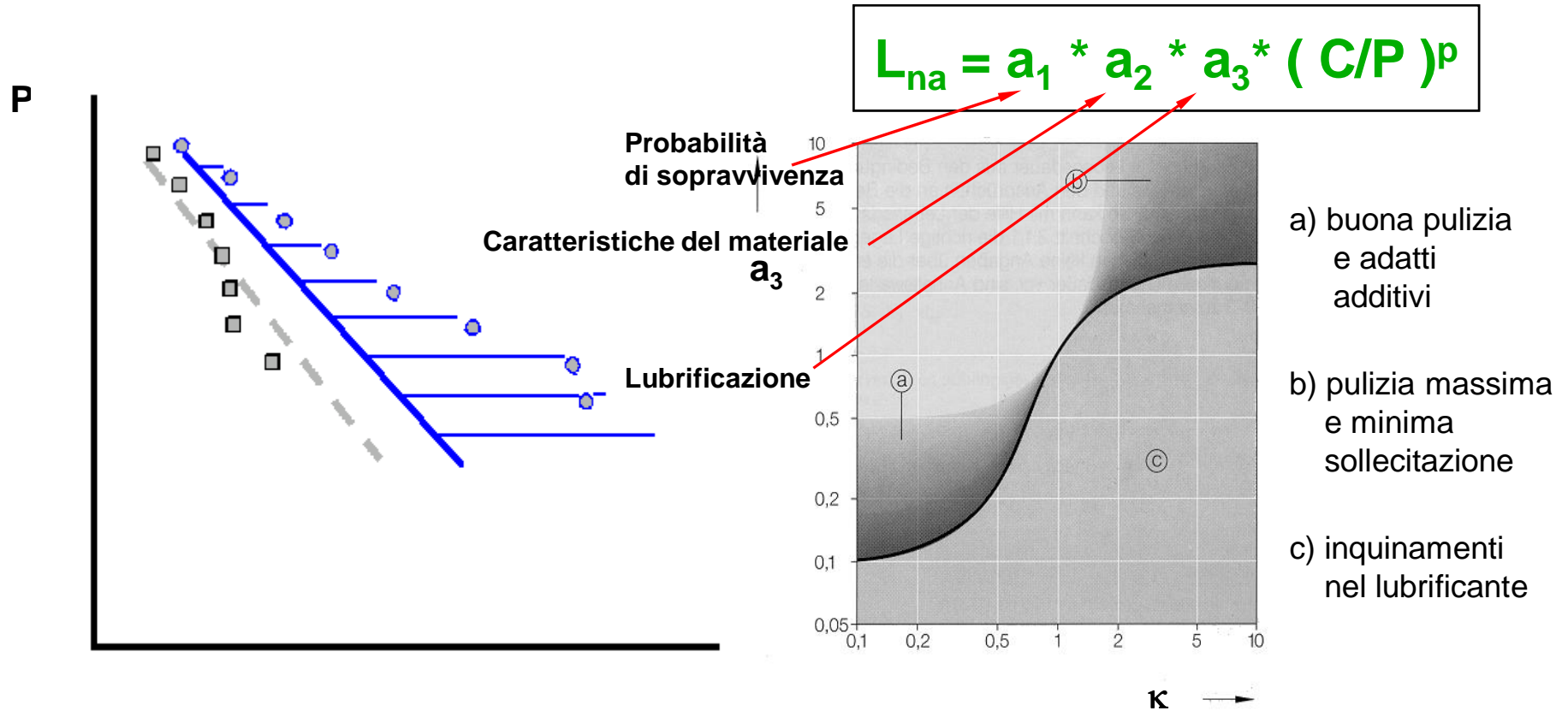
Carico



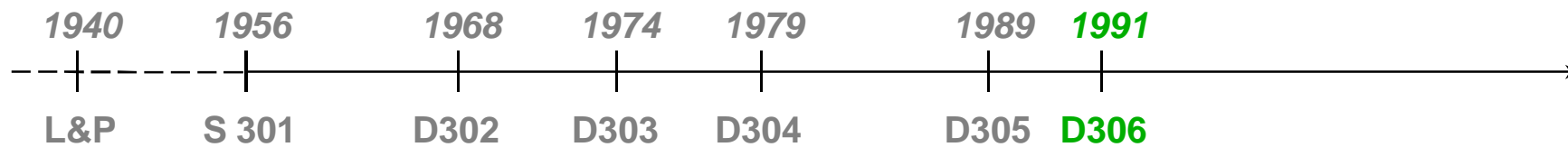
Durata a fatica

Durata a fatica

2° stadio – durata modificata



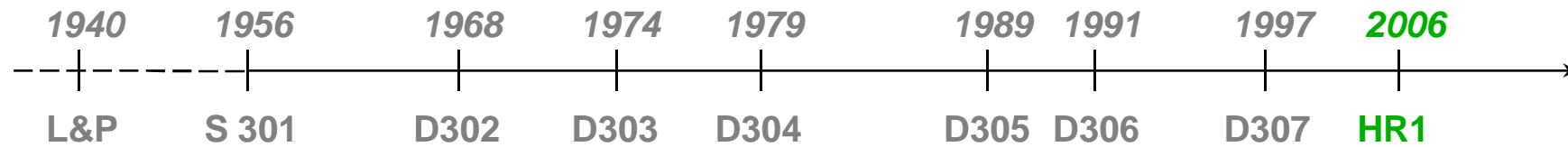
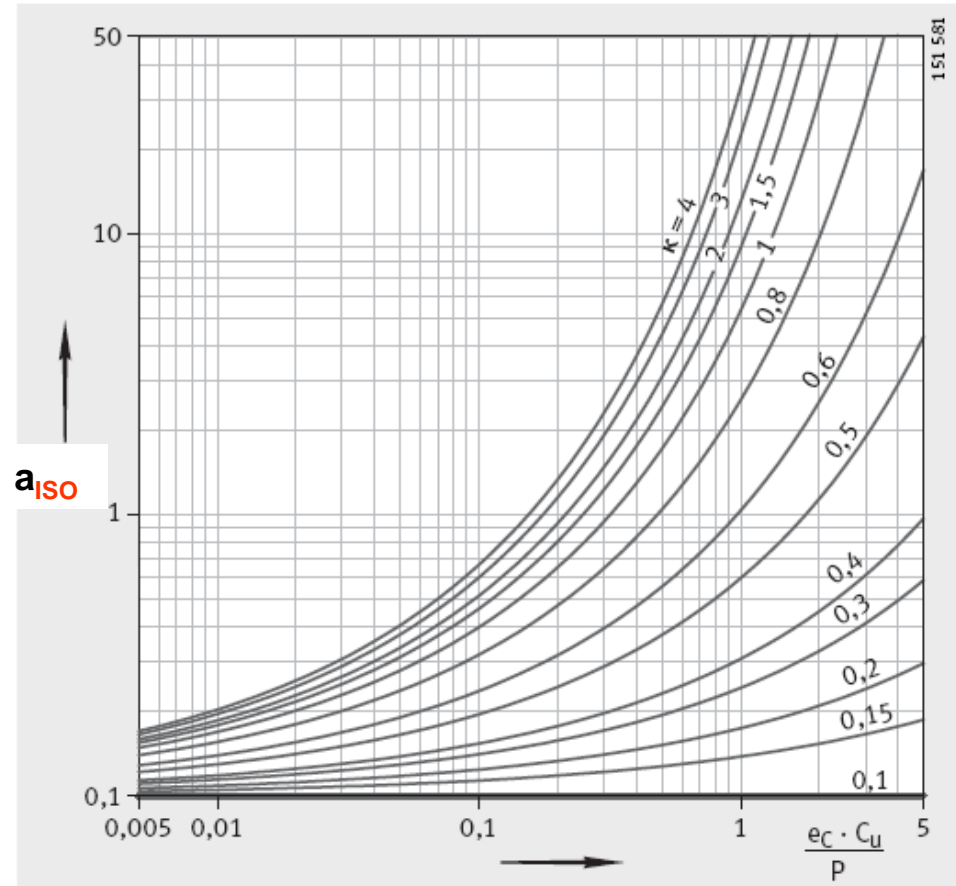
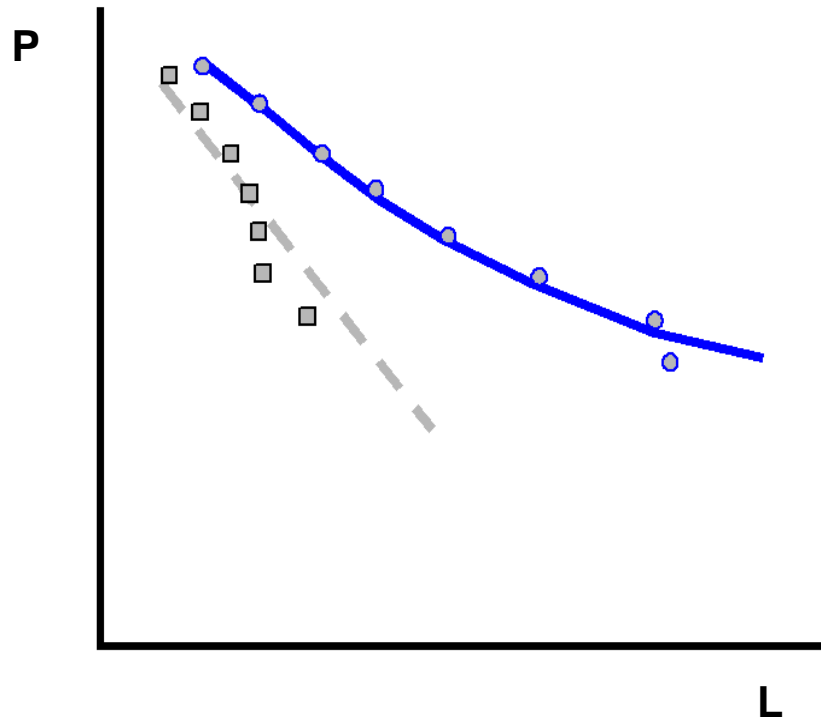
- a) buona pulizia e adatti additivi
- b) pulizia massima e minima sollecitazione
- c) inquinamenti nel lubrificante

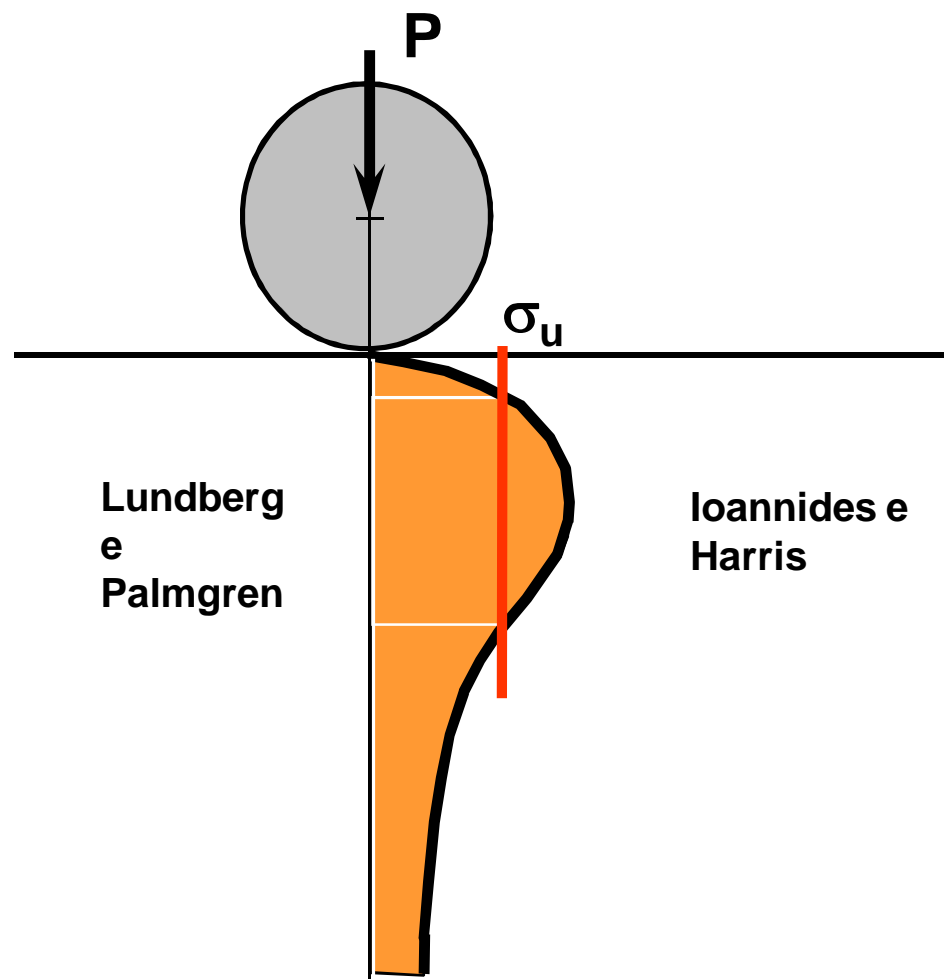


Stato dell'arte



$$L_{ISO} = a_1 * a_{ISO} * (C/P)^p$$





Norma ISO 281

Calcolo della durata a fatica ampliata

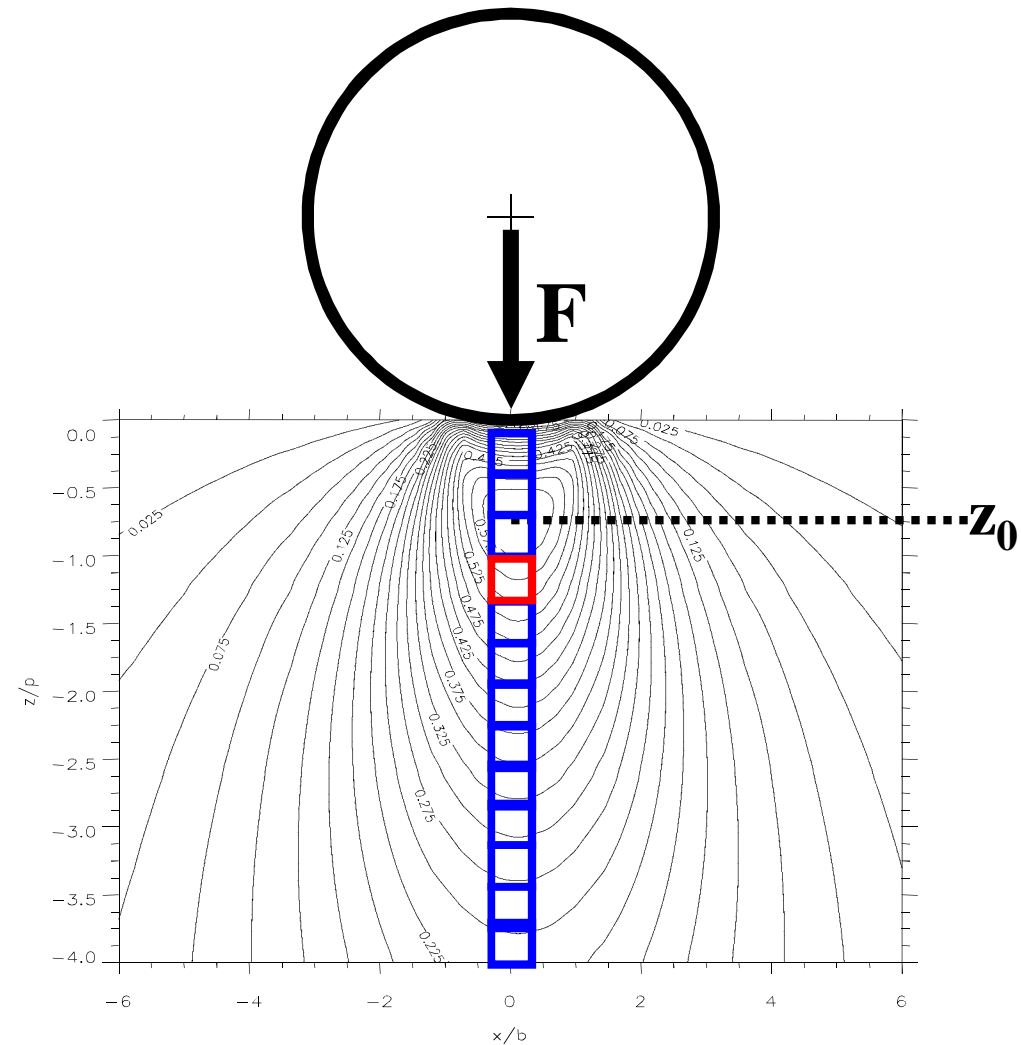


Ioannides - Harris :

$$\ln \frac{1}{s} \sim \frac{\int (\sigma - \sigma_u)^c dV}{z' \cdot h}$$

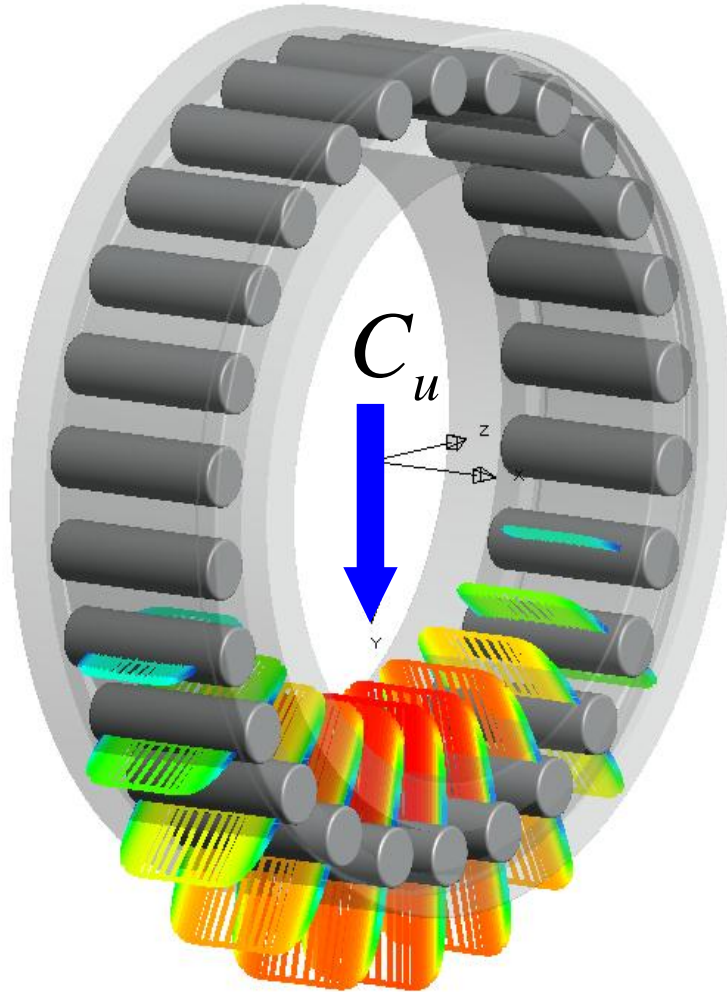
con

$$z' = \frac{\int z \cdot (\sigma - \sigma_u) dV}{\int (\sigma - \sigma_u) dV}$$



Revisione della Norma ISO 281

Carico limite di fatica C_u



Condizioni al contorno:

$\sigma_u = 1500 \text{ N/mm}^2$ per cuscinetti normali

**Ripartizione del carico idealizzata
per il cuscinetto senza gioco**

Tensione di contatto dal modello esatto

Stato della normativa

Revisione della Norma ISO 281



B.3.3 Simplified method for calculating the fatigue load limit, C_u

B.3.3.2 Ball bearings

$$C_u = \frac{C_0}{22} \text{ for bearings with } D_{pw} \leq 100 \text{ mm} \quad (\text{B.18})$$

$$C_u = \frac{C_0}{22} \left(\frac{100}{D_{pw}} \right)^{0,5} \text{ for bearings with } D_{pw} > 100 \text{ mm} \quad (\text{B.19})$$

B.3.3.3 Roller bearings

$$C_u = \frac{C_0}{8,2} \text{ for bearings with } D_{pw} \leq 100 \text{ mm} \quad (\text{B.20})$$

$$C_u = \frac{C_0}{8,2} \left(\frac{100}{D_{pw}} \right)^{0,3} \text{ for bearings with } D_{pw} > 100 \text{ mm} \quad (\text{B.21})$$

Stato della Normativa

Revisione della Norma ISO 281



5 Radial ball bearings

5.1 Basic dynamic radial load rating

5.1.1 Basic dynamic radial load rating for single bearings

The basic dynamic radial load rating, C_r , for radial ball bearings is given by the equations

$$C_r = b_m f_c (i \cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_w^{1,8} \quad (1)$$

for $D_w \leq 25,4$ mm

$$C_r = 3,647 b_m f_c (i \cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_w^{1,4} \quad (2)$$

for $D_w > 25,4$ mm

Il calcolo dei coefficienti di carico dinamico resta invariato

Norma ISO 281

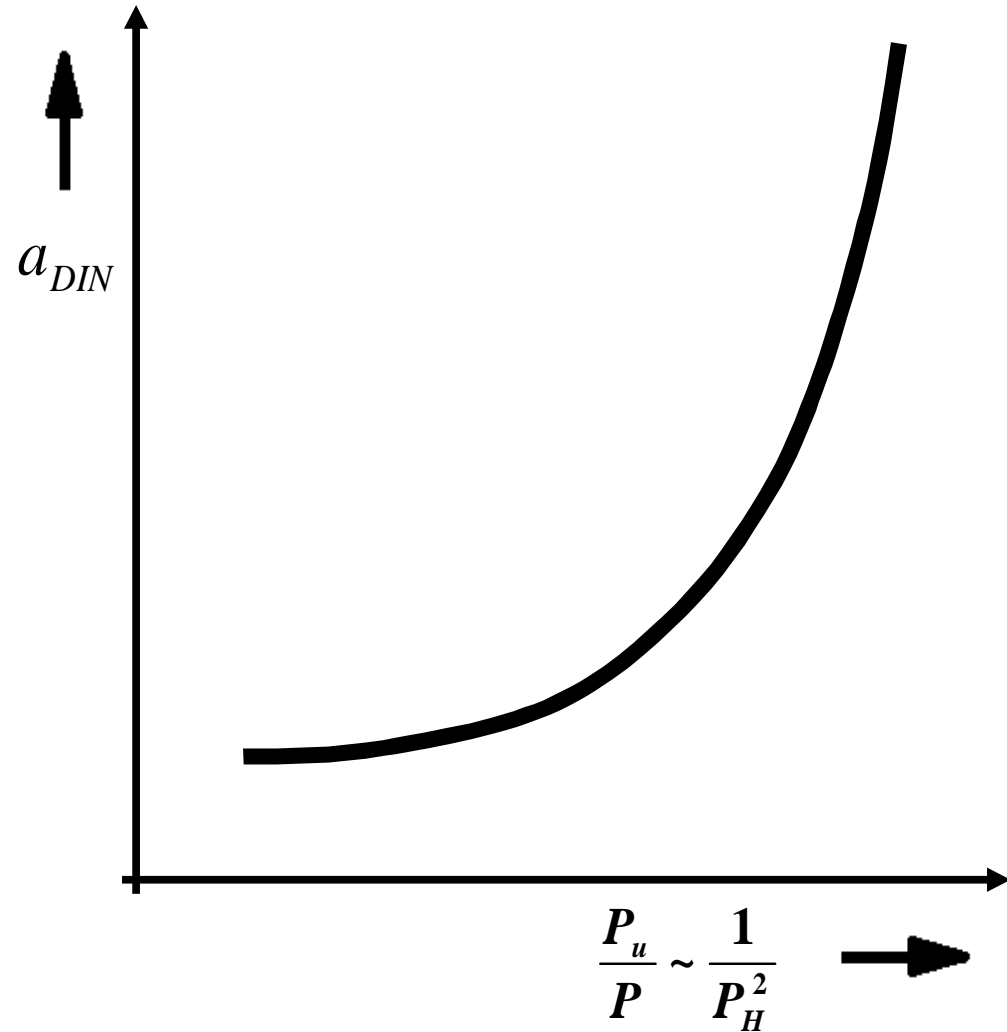
Fattore di durata a_{ISO} / a_{DIN}



$$a_{DIN} = \frac{L_{I-H}}{L_{L-P}}$$

$$L_{I-H} = a_{DIN} \cdot \left[\frac{C}{P} \right]^P$$

$$a_{DIN} = f \left[\frac{P_u}{P} \cdot \eta_c \cdot K \right]$$



Stato della Normativa

Revisione della Norma ISO 281



Fattore di durata a_{ISO}
 = fattore di durata a_{DIN}
 = fattore di durata a_{VC} / a_{SKF}

$$a_{ISO} = 0,1 \left[1 - \left(2,5671 - \frac{2,2649}{\kappa^{0,054\ 381}} \right)^{0,83} \left(\frac{e_c C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9,3}$$

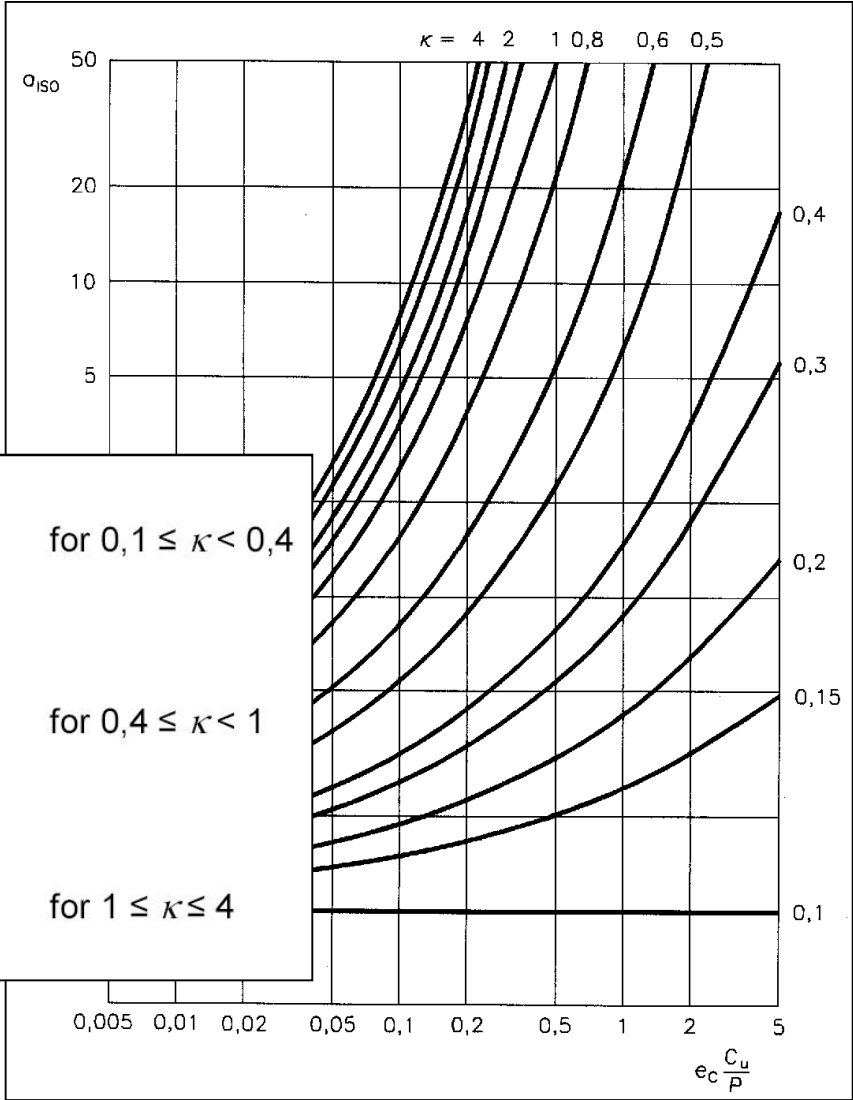
for $0,1 \leq \kappa < 0,4$

$$a_{ISO} = 0,1 \left[1 - \left(2,5671 - \frac{1,9987}{\kappa^{0,190\ 87}} \right)^{0,83} \left(\frac{e_c C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9,3}$$

for $0,4 \leq \kappa < 1$

$$a_{ISO} = 0,1 \left[1 - \left(2,5671 - \frac{1,9987}{\kappa^{0,071\ 739}} \right)^{0,83} \left(\frac{e_c C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9,3}$$

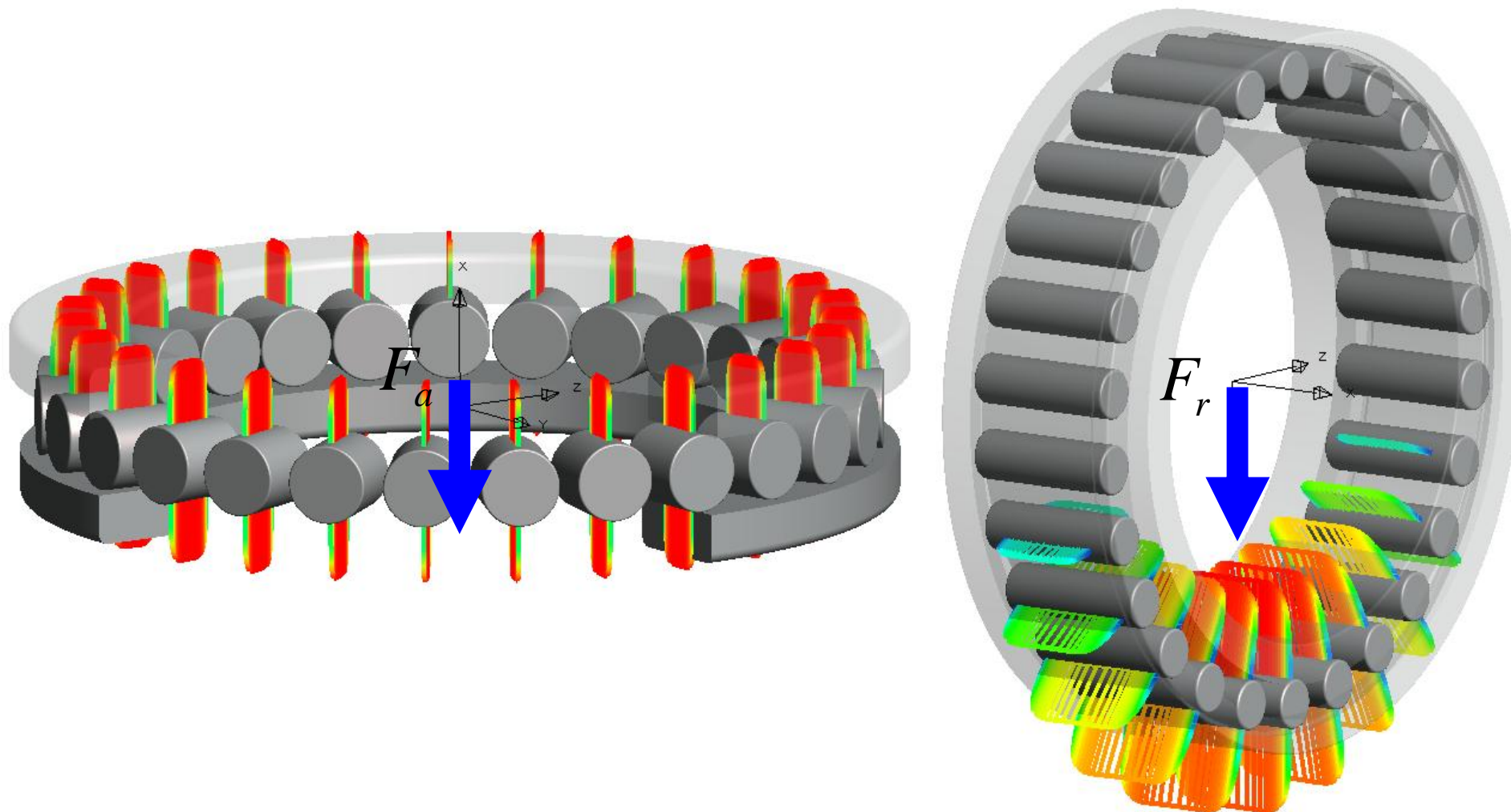
for $1 \leq \kappa \leq 4$



(esempio: cuscinetti radiali a sfere)

Norma ISO 281

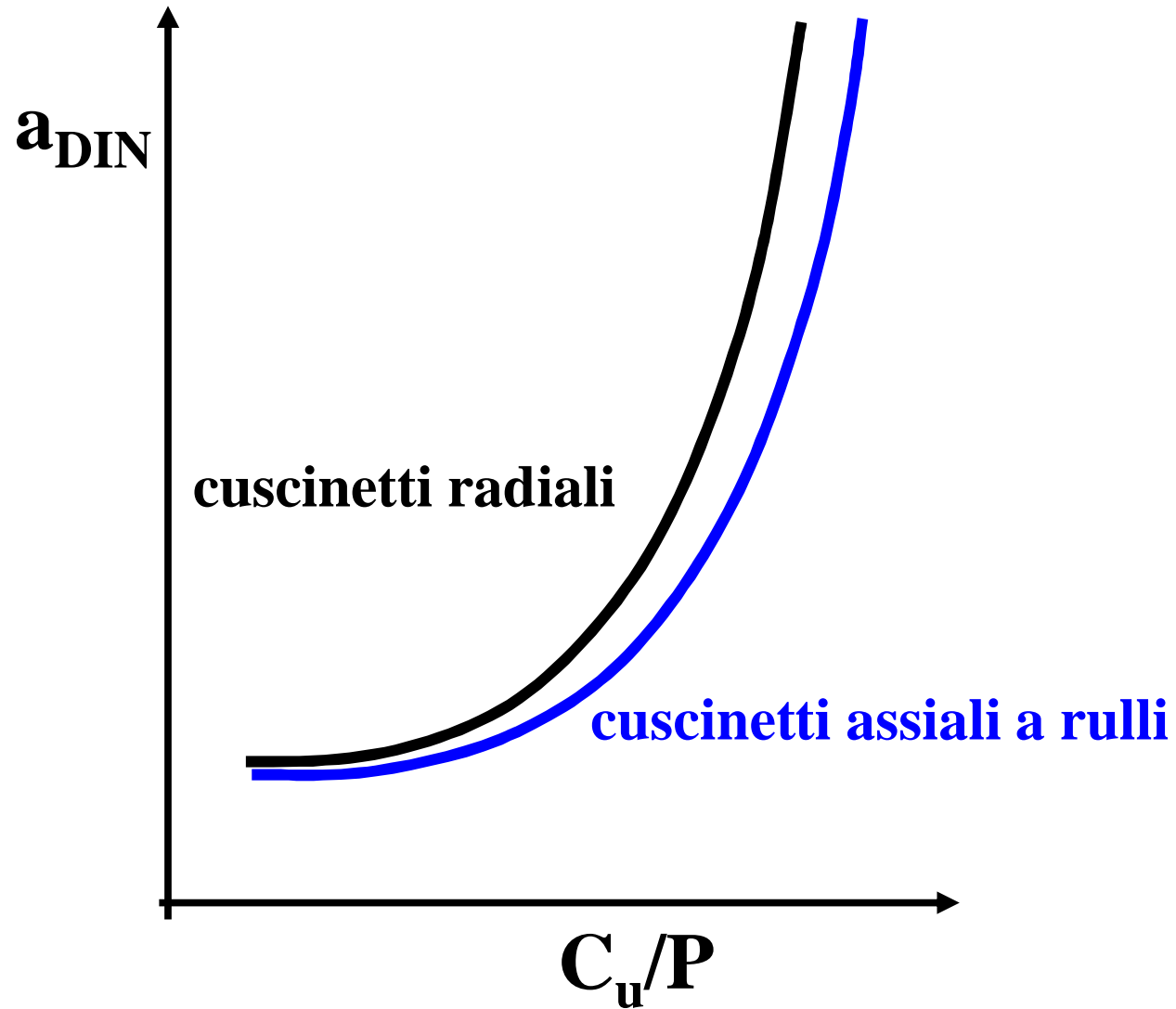
Calcolo del fattore di durata a_{ISO}



Distribuzione dei carichi nei cuscinetti assiali e nei cuscinetti radiali

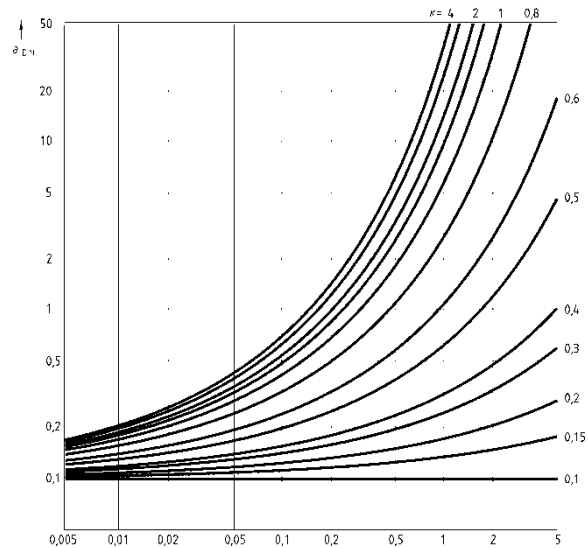
Norma ISO 281

Calcolo del fattore di durata a_{ISO}

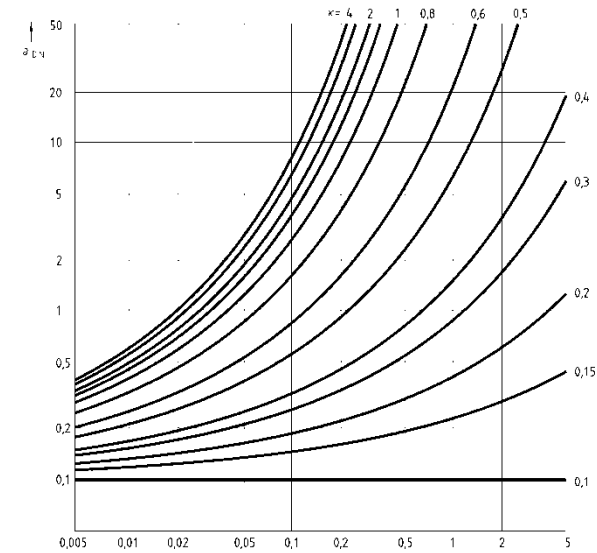


Norma ISO 281

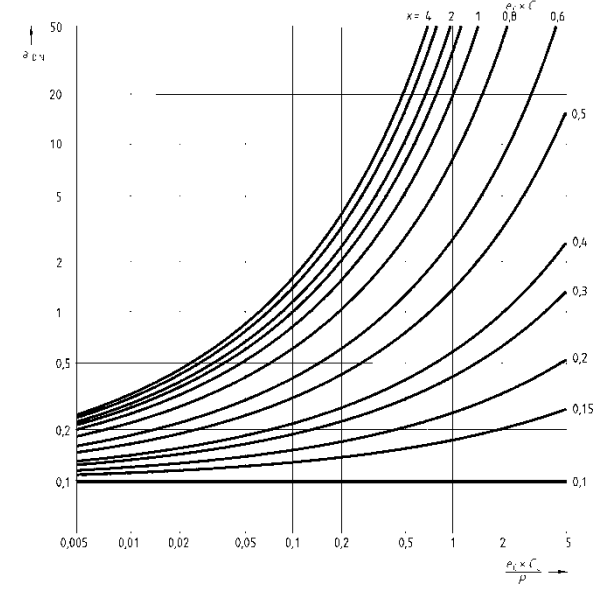
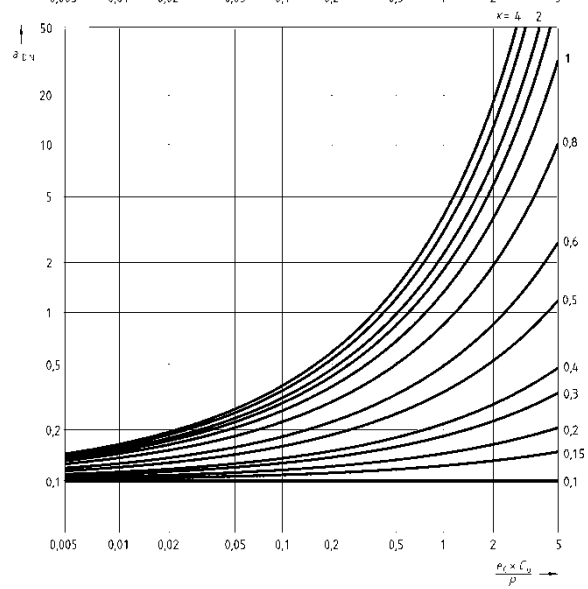
Calcolo del fattore di durata aISO



Rullo Sfera

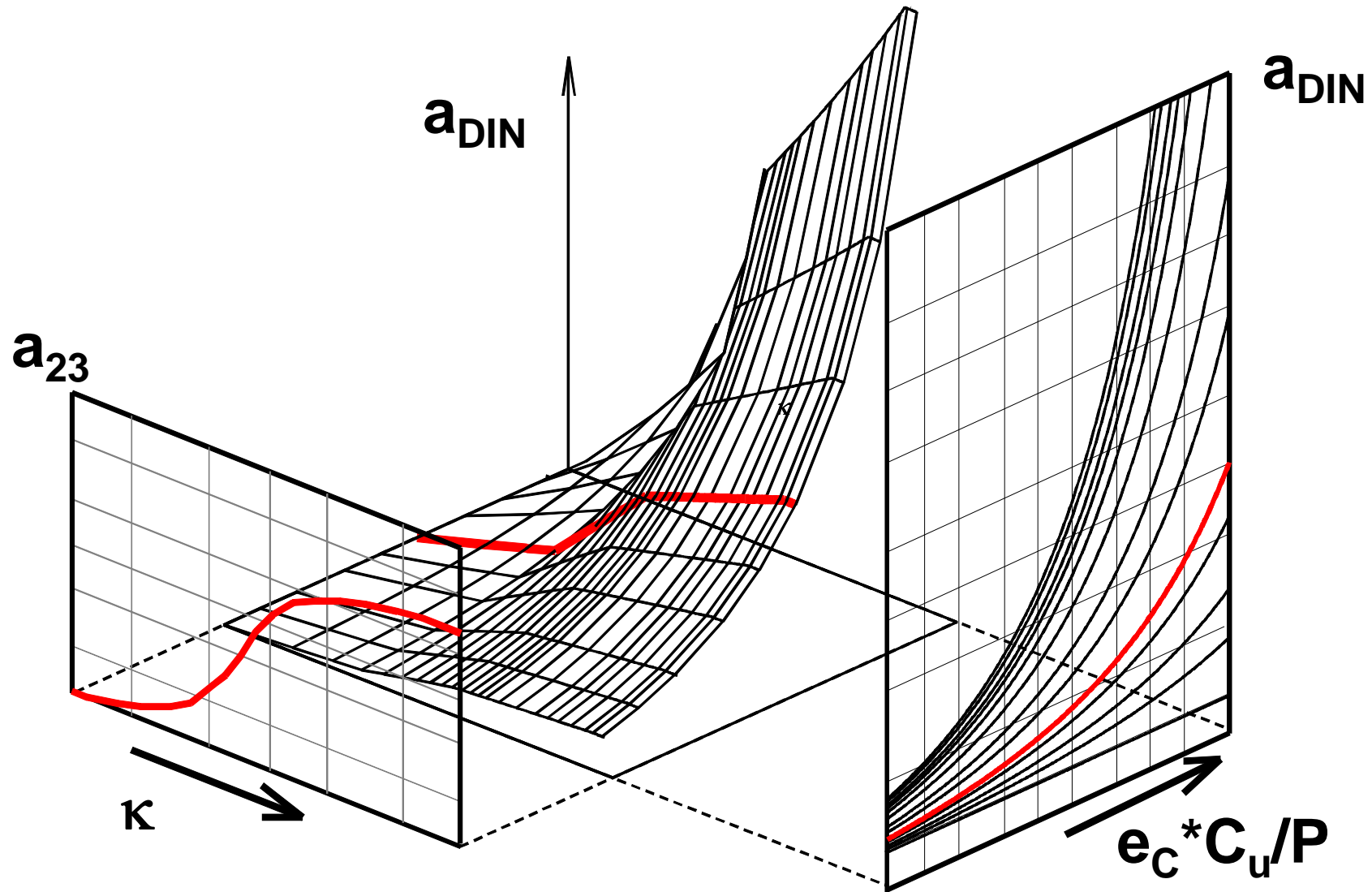


↑ radiale
↓ assiale

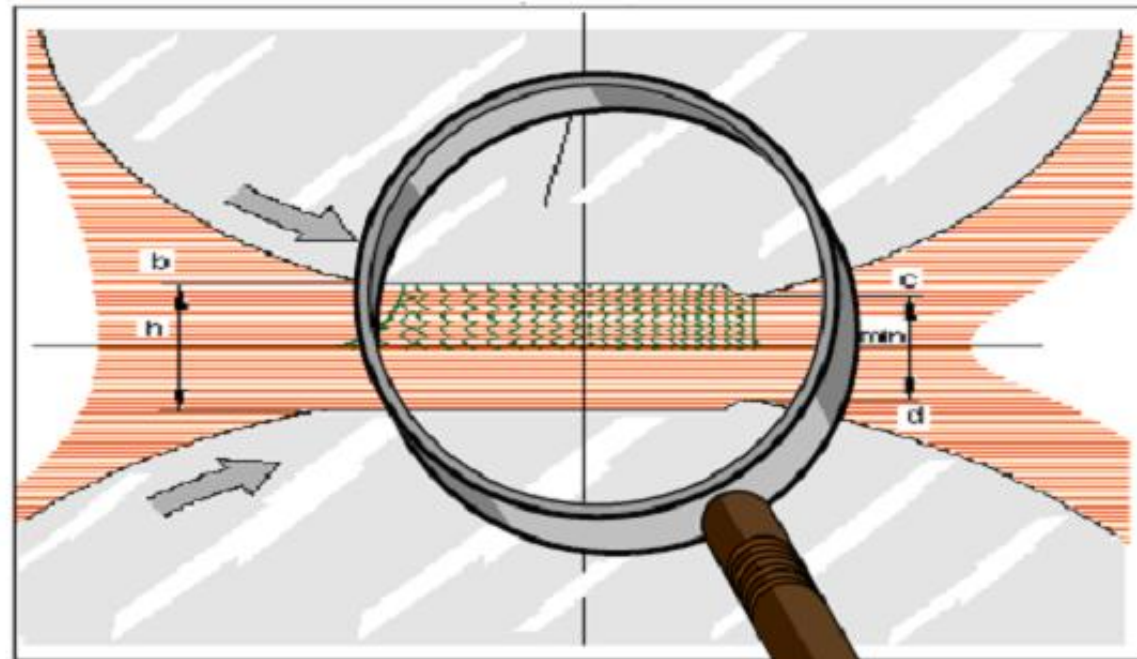


Nuovo modello

Comparazione tra i fattori di durata $a_3 - a_{vc}$



Vita di esercizio Influenza della lubrificazione

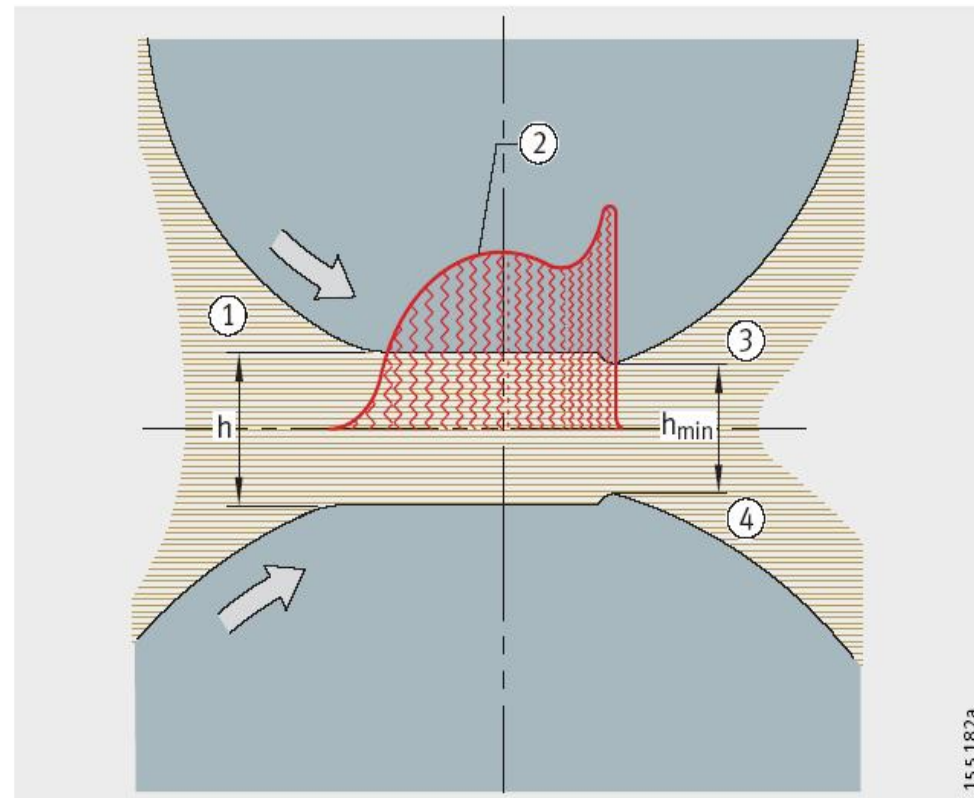


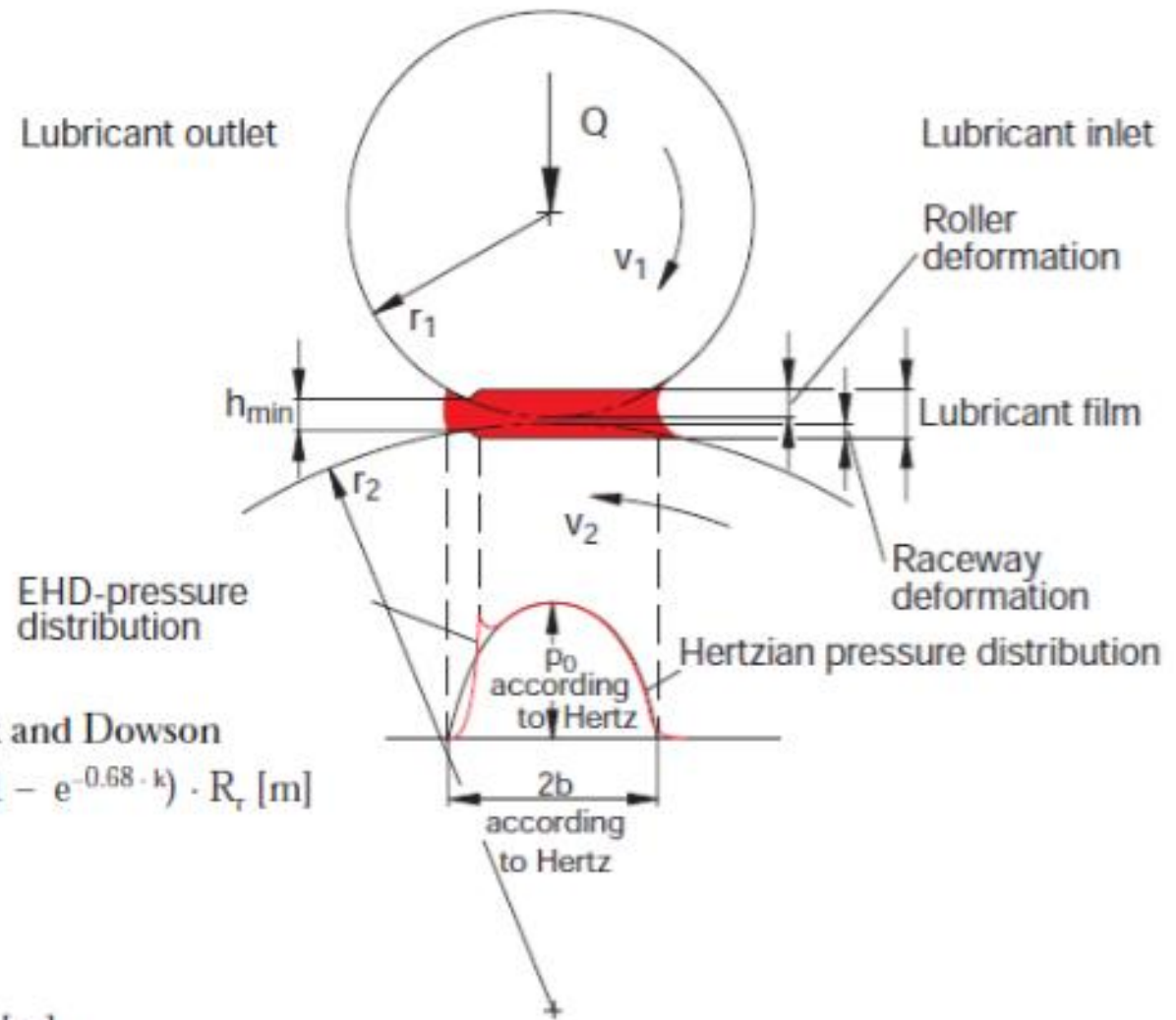
Parameters: load, speed, viscosity, Young's modulus

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





Point contact according to Hamrock and Dowson

$$h_{min} = 3.63 \cdot U^{0.68} \cdot G^{0.49} \cdot W^{-0.073} \cdot (1 - e^{-0.68 \cdot k}) \cdot R_r \text{ [m]}$$

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

Revisione della Norma ISO 281

Calcolo del rapporto di viscosità k



9.3.3.3.1 Calculation of viscosity ratio

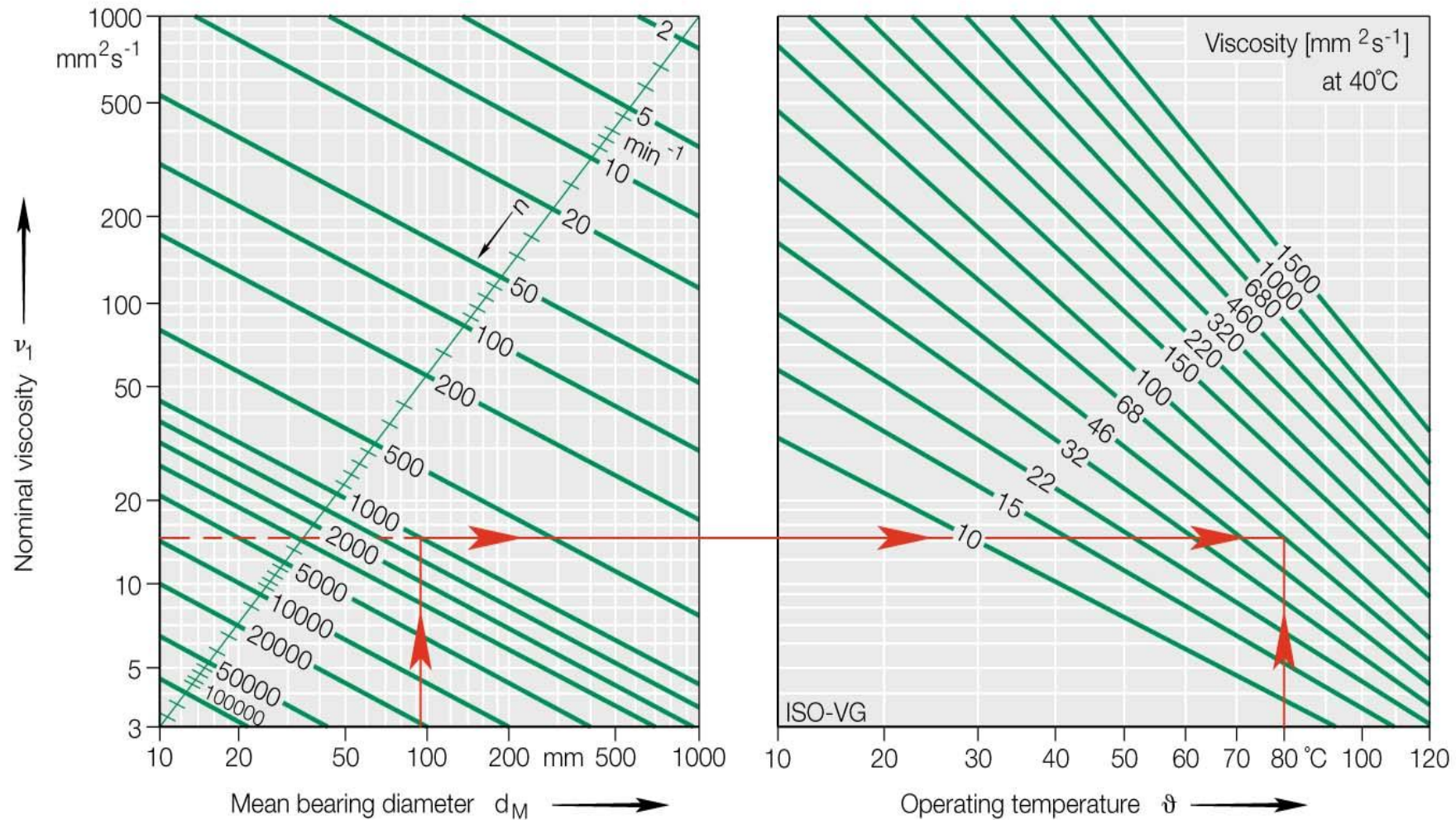
$$K = \frac{V}{V_1}$$

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).

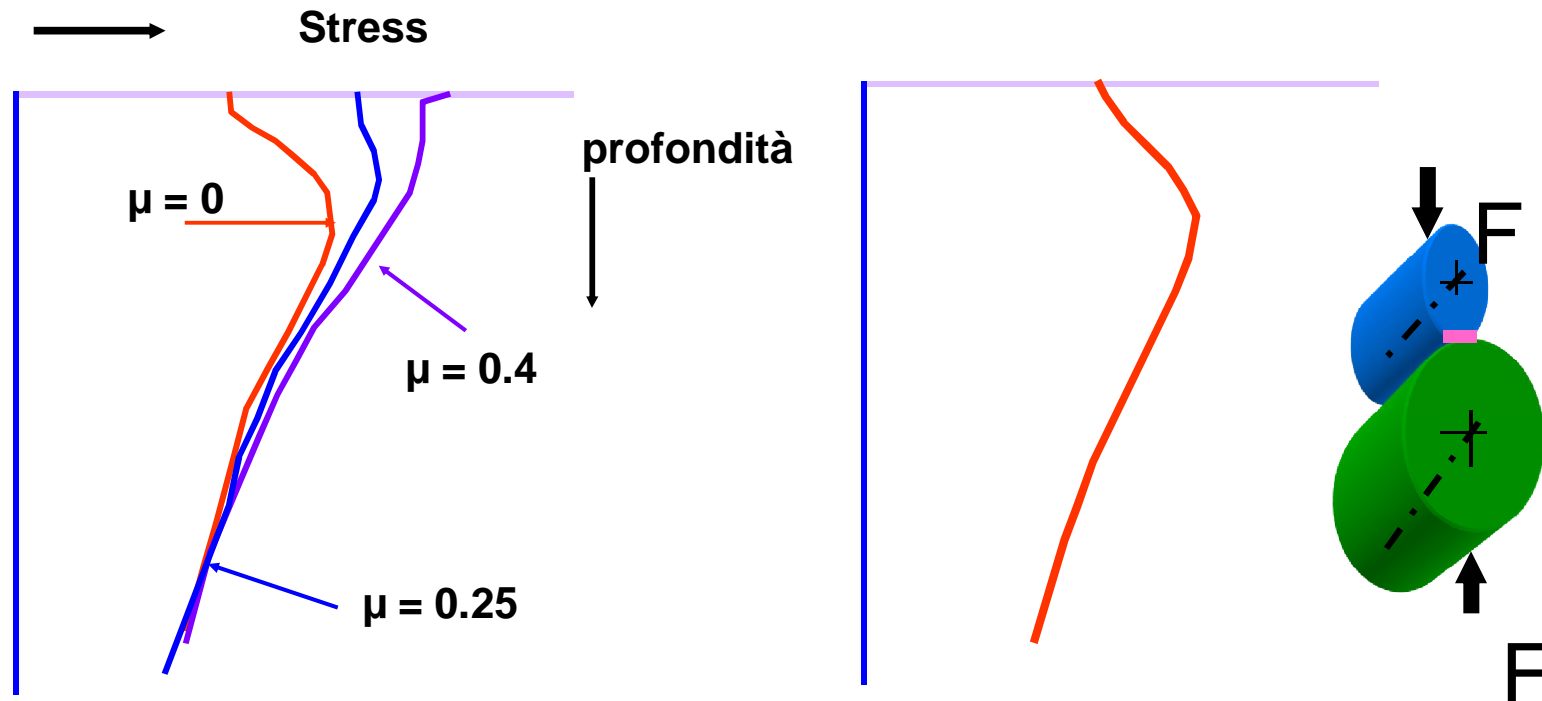
$$\nu_1 = 45000 n^{-0,83} D_{pw}^{-0,5} \quad \text{for } n < 1\,000 \text{ r/min} \quad (28)$$

$$\nu_1 = 4500 n^{-0,5} D_{pw}^{-0,5} \quad \text{for } n \geq 1\,000 \text{ r/min} \quad (29)$$

Determinazione della viscosità nominale ν_1

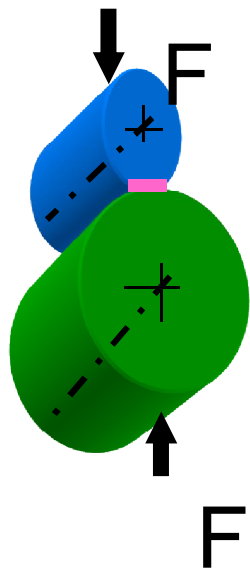


Fatica con inizio superficiale

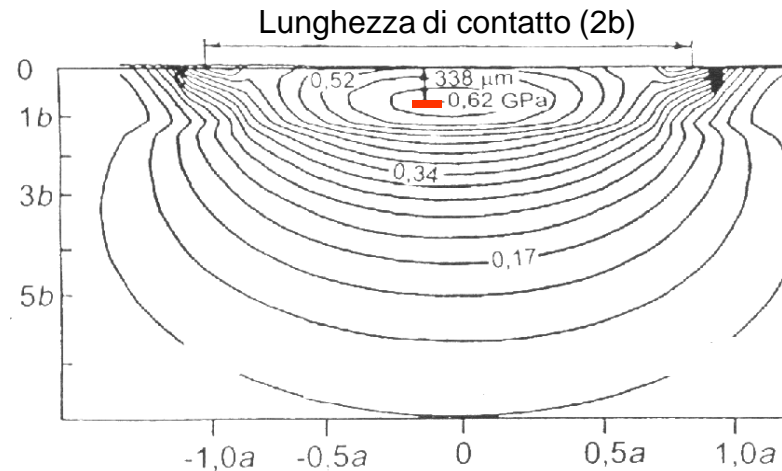


In condizioni di attrito misto (lubrificazione insufficiente) il valore massimo delle tensioni di taglio si sposta verso la superficie.

Fatica con inizio superficiale

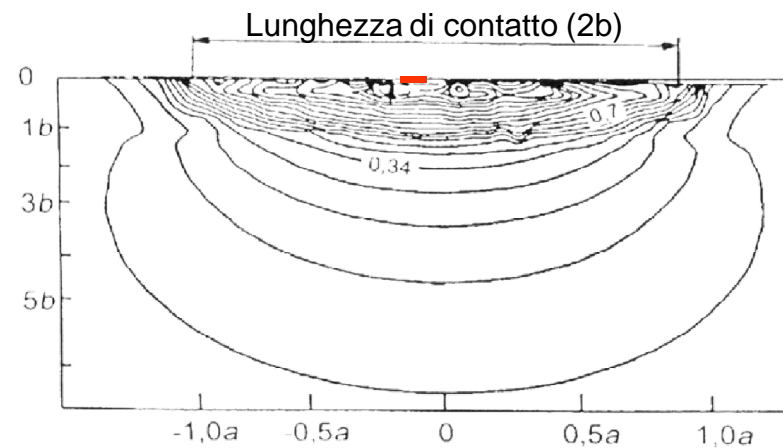


Pressione Hertziana nominale
= 2.3 GPa



$K = 3$

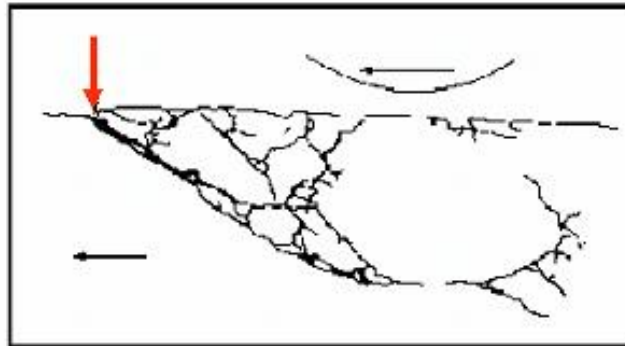
$T_{max} = 0.62 \text{ GPa}$ alla
profondità di $340 \mu\text{m}$



$K = 0.3$

$T_{max} = 1.45 \text{ GPa}$ alla
profondità di $30 \mu\text{m}$

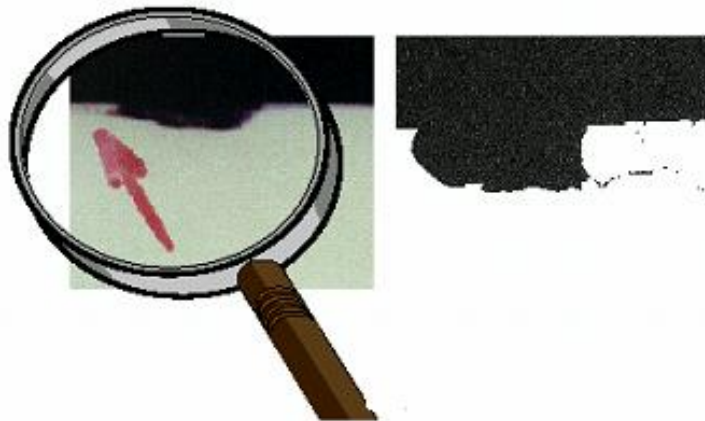
Affaticamento superficiale



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)



Micropitting causato da insufficiente viscosità dell'olio



Stato della Normativa

Revisione della Norma ISO 281

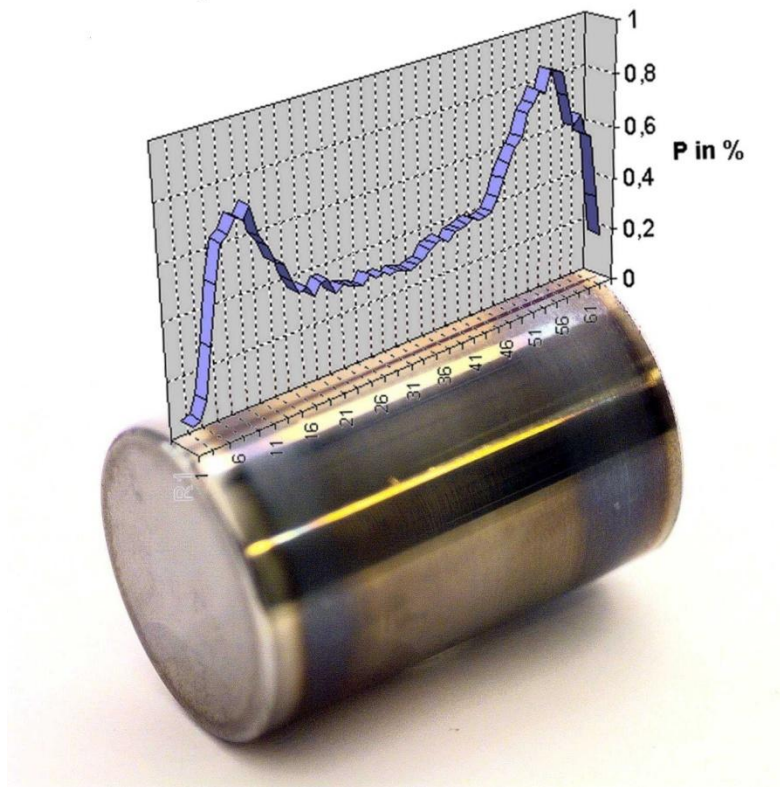


9.3.3.3.4 Consideration of EP additives

In case of a viscosity ratio $\kappa < 1$ and a contamination factor $e_C \geq 0,2$ for this viscosity ratio, a value of $\kappa = 1$ can be used in the calculation of e_C and a_{ISO} if a lubricant with proven effective EP additives is used. In this case the life modification factor a_{ISO} shall be limited to $a_{ISO} \leq 3$, respectively to the life modification factor a_{ISO} calculated for normal lubricants with the actual κ value, if this a_{ISO} value is > 3 .

This motivation for increasing the κ value is that a favourable smoothing effect of the contacting surfaces can be expected when an effective EP additive is used. In case of severe contamination (contamination factor $e_C < 0,2$), the efficiency of the EP additives shall be proven under actual lubricant contamination. The efficiency of the EP additives should be proven in the actual application or in an appropriate bearing test.

Strati tribologici – interazione tra olio e superficie



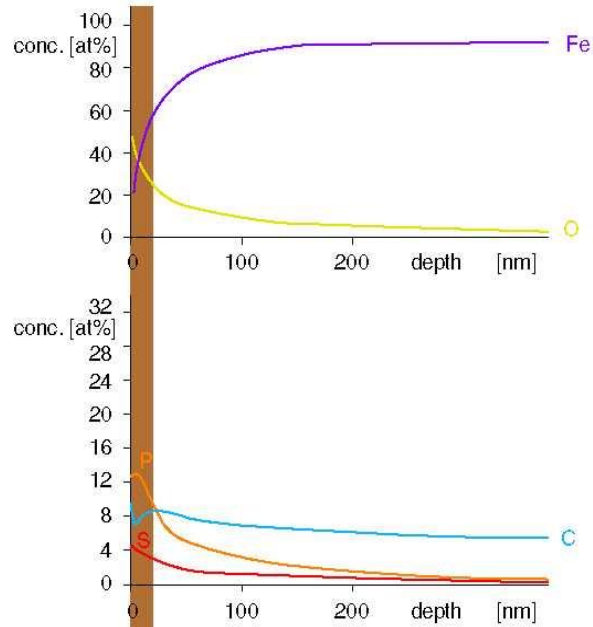
Concentrazione di fosforo
misurata utilizzando analisi
fluorescente a raggi X

Rullo cilindrico tratto da un
cuscinetto radiale dopo un
test su riduttore

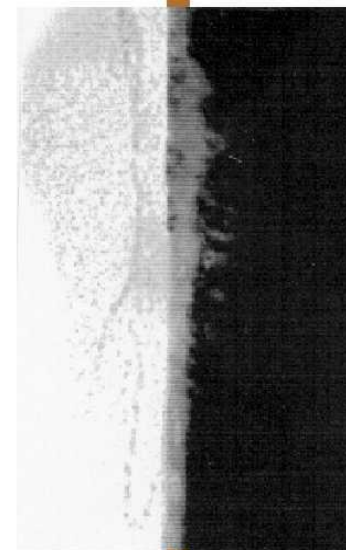
Strati tribologici – interazione tra olio e superficie



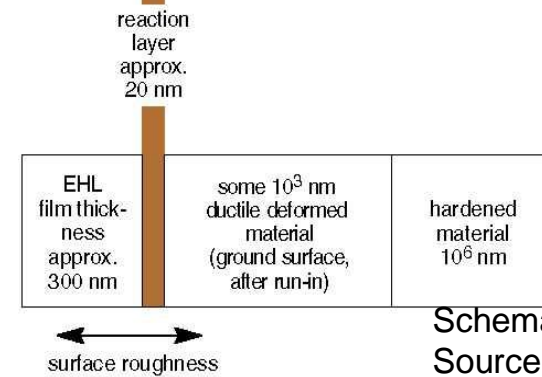
SNMS depth profile



**FVA-oil no. 3 + 4 % A99 at 120 °C
42 h test run**

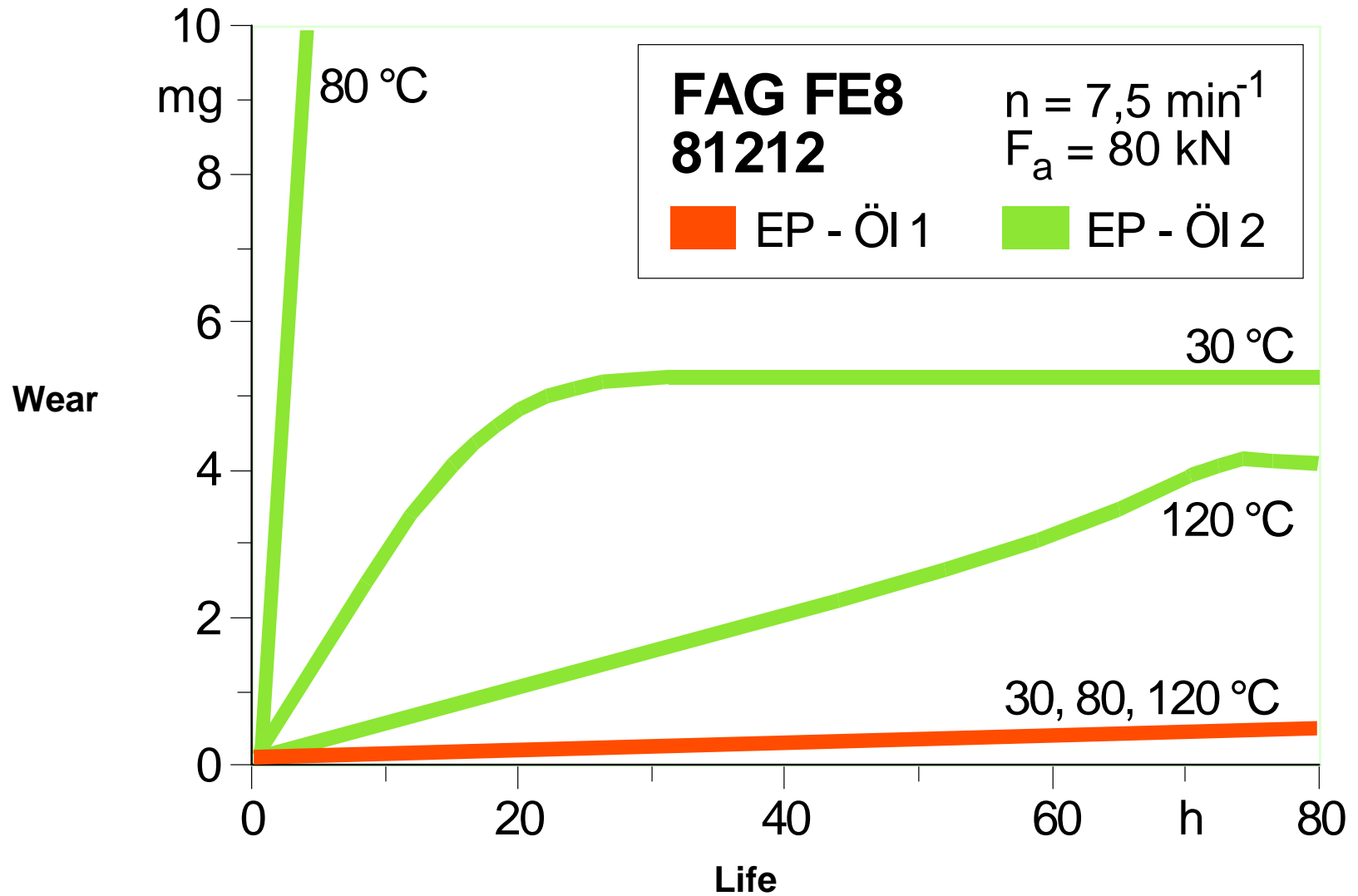


Cross section TEM
magnification
V = 160,000



Schematic structure
Source: NMI, Reutlingen

Comportamento ad usura di oli diversi

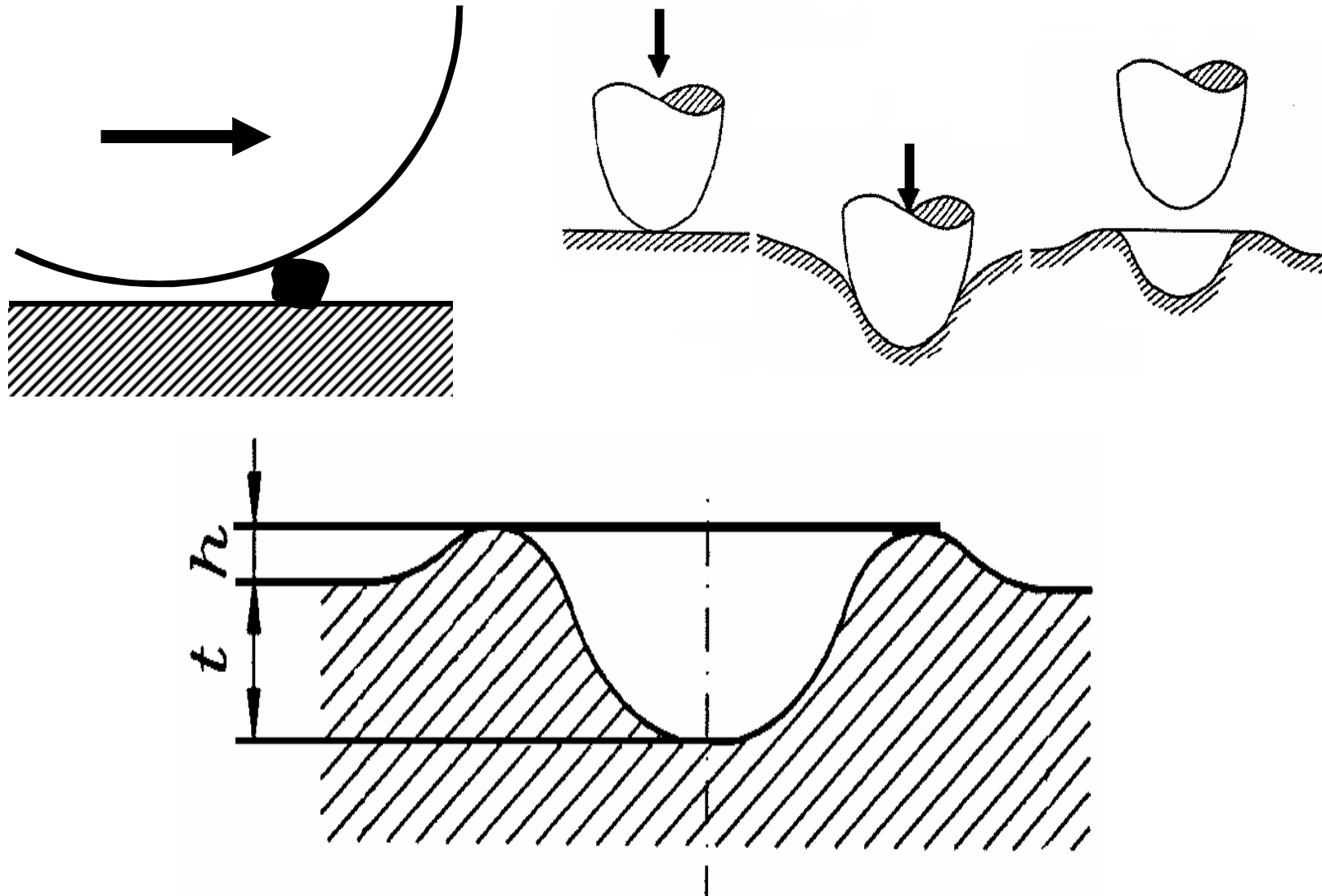


Norma ISO 281

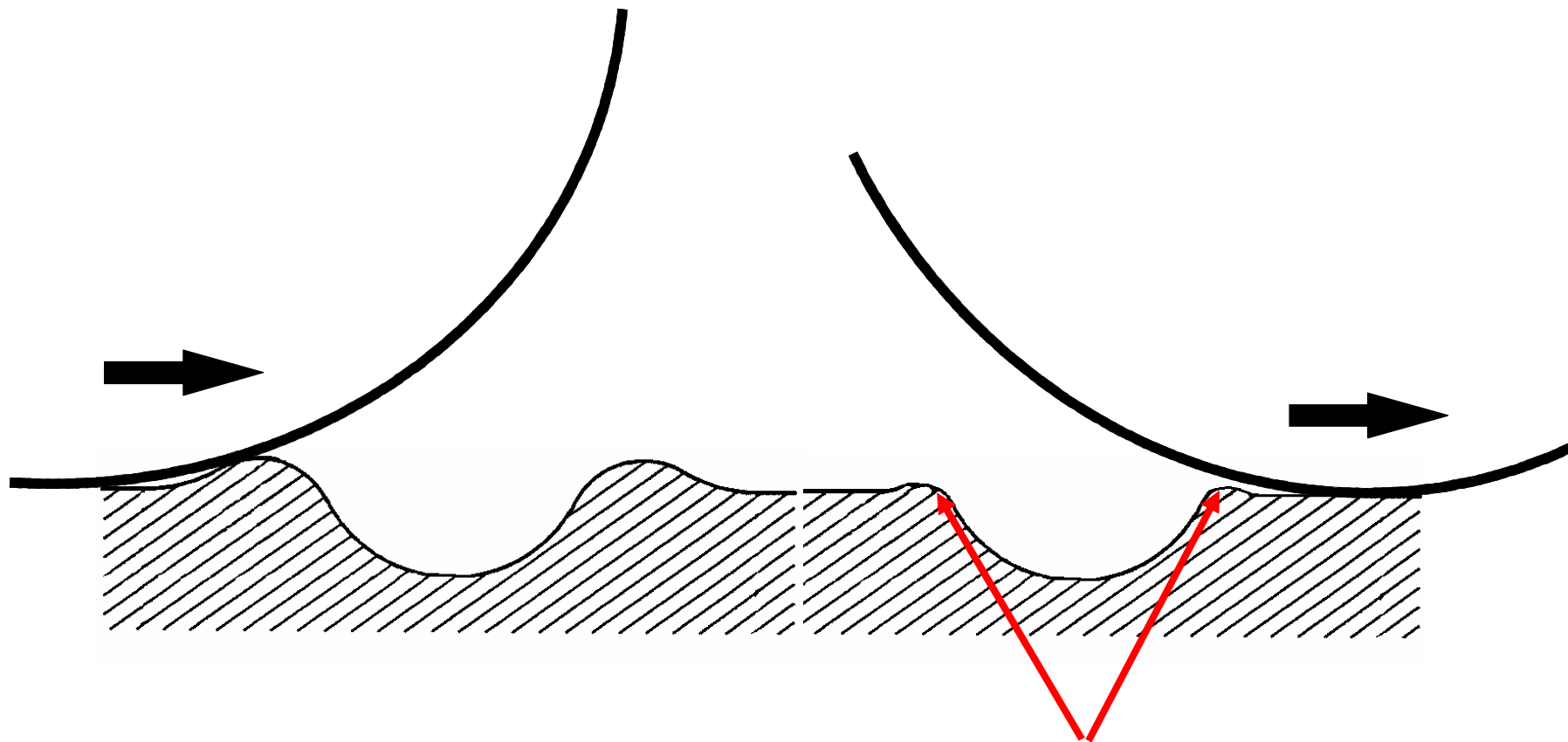
Influenza della contaminazione



Fattore di contaminazione e_c Concentrazione di tensione all'improntamento

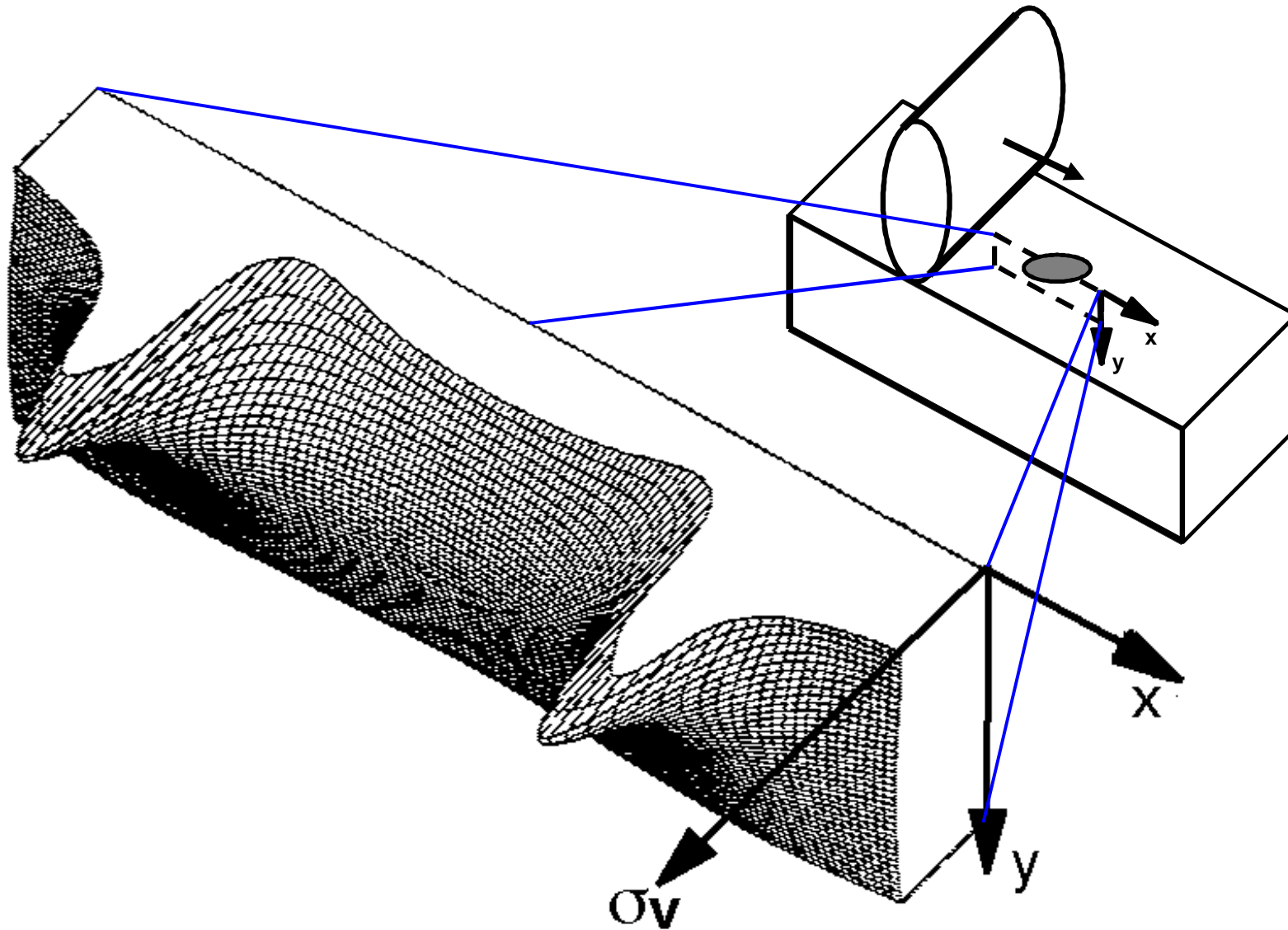


Fattore di contaminazione e_c Concentrazione di tensione all'improntamento

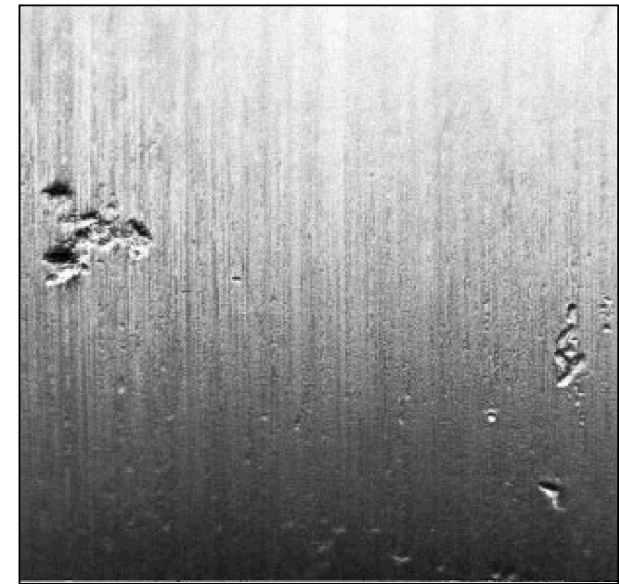
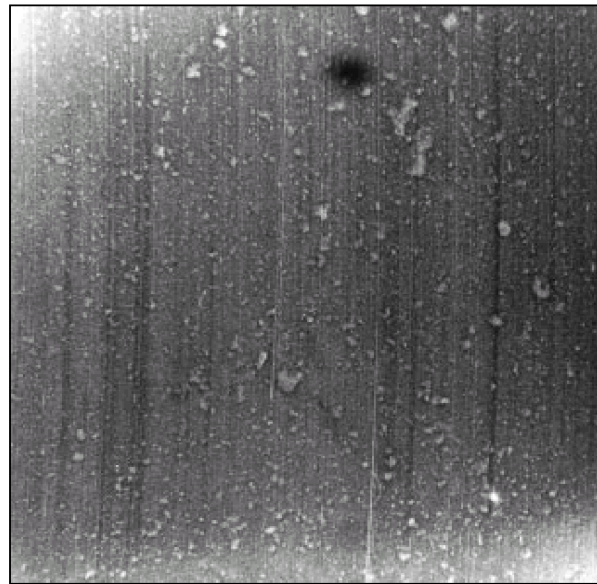
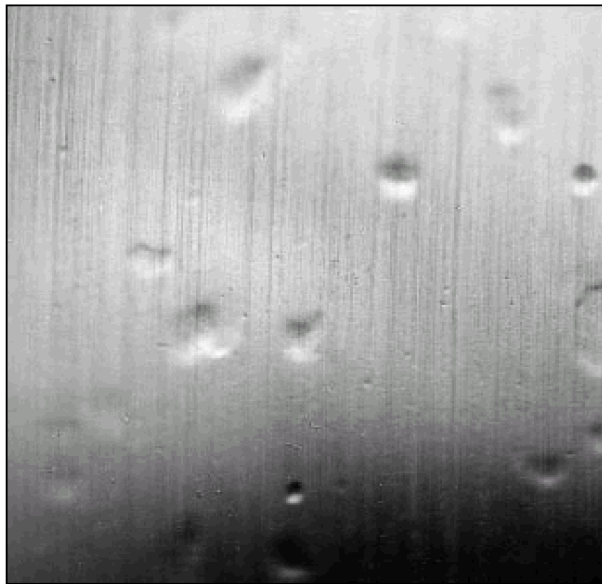


**tensione residua,
concentrazione di tensione**

Fattore di contaminazione e_c Concentrazione di tensione all'improntamento (calcolo FEM)



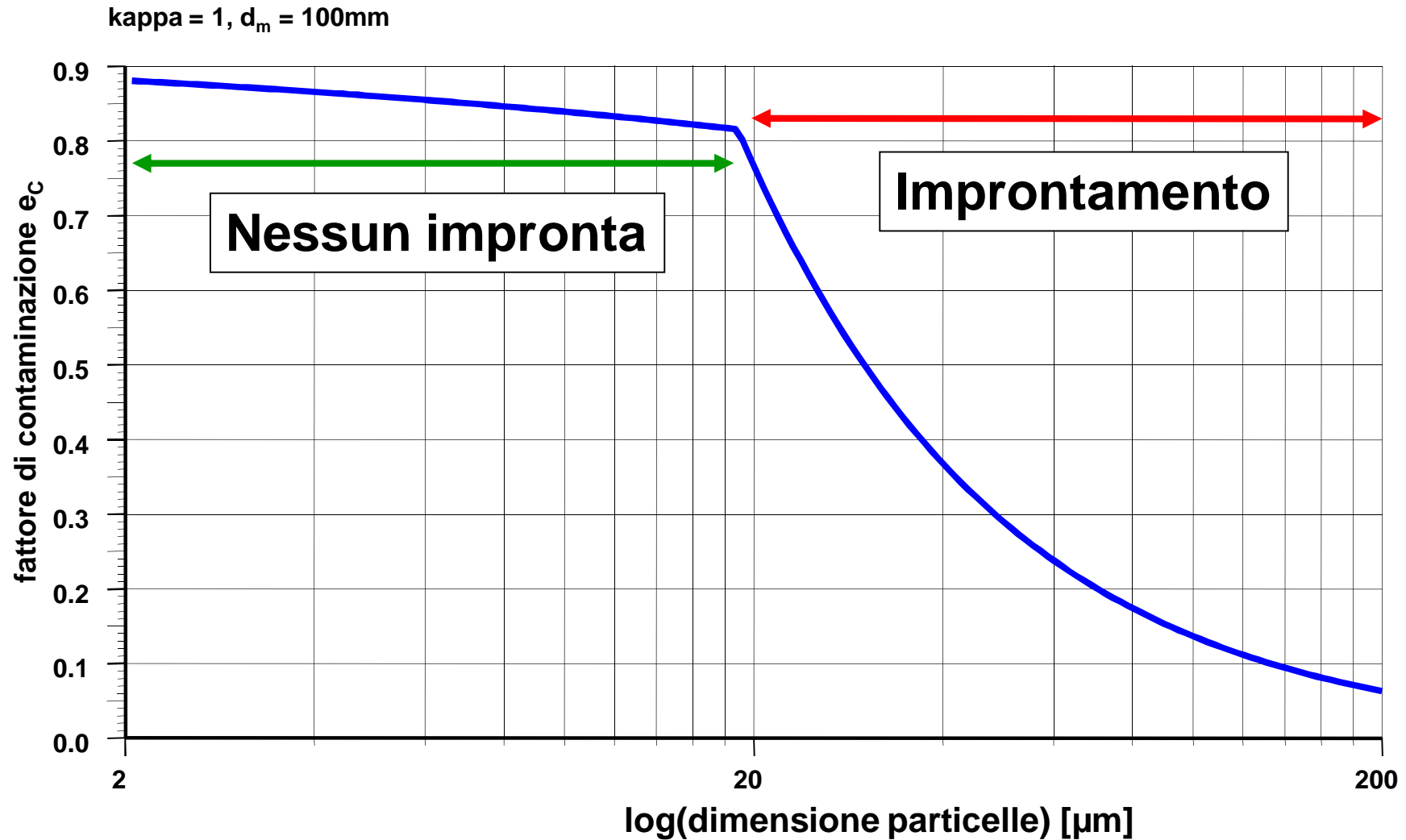
Laminazione di particelle estranee



Impronte di particelle morbide, di acciaio e

di sabbia

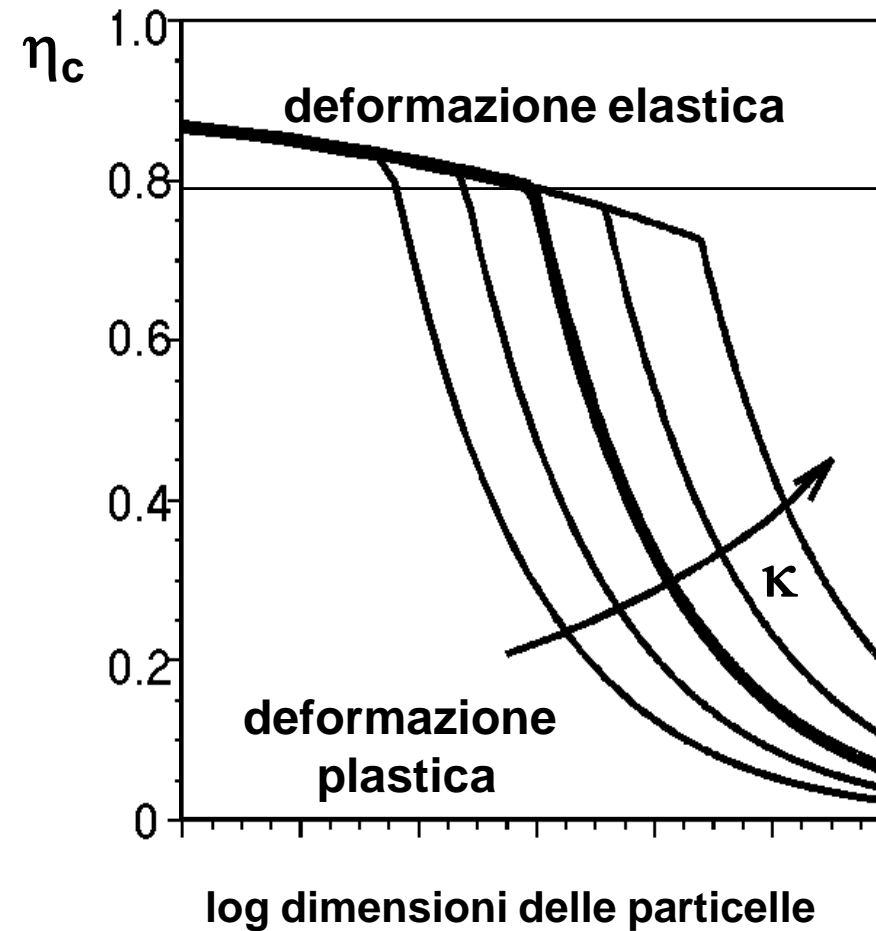
Fattore di contaminazione e_c Influenza della grandezza delle particelle



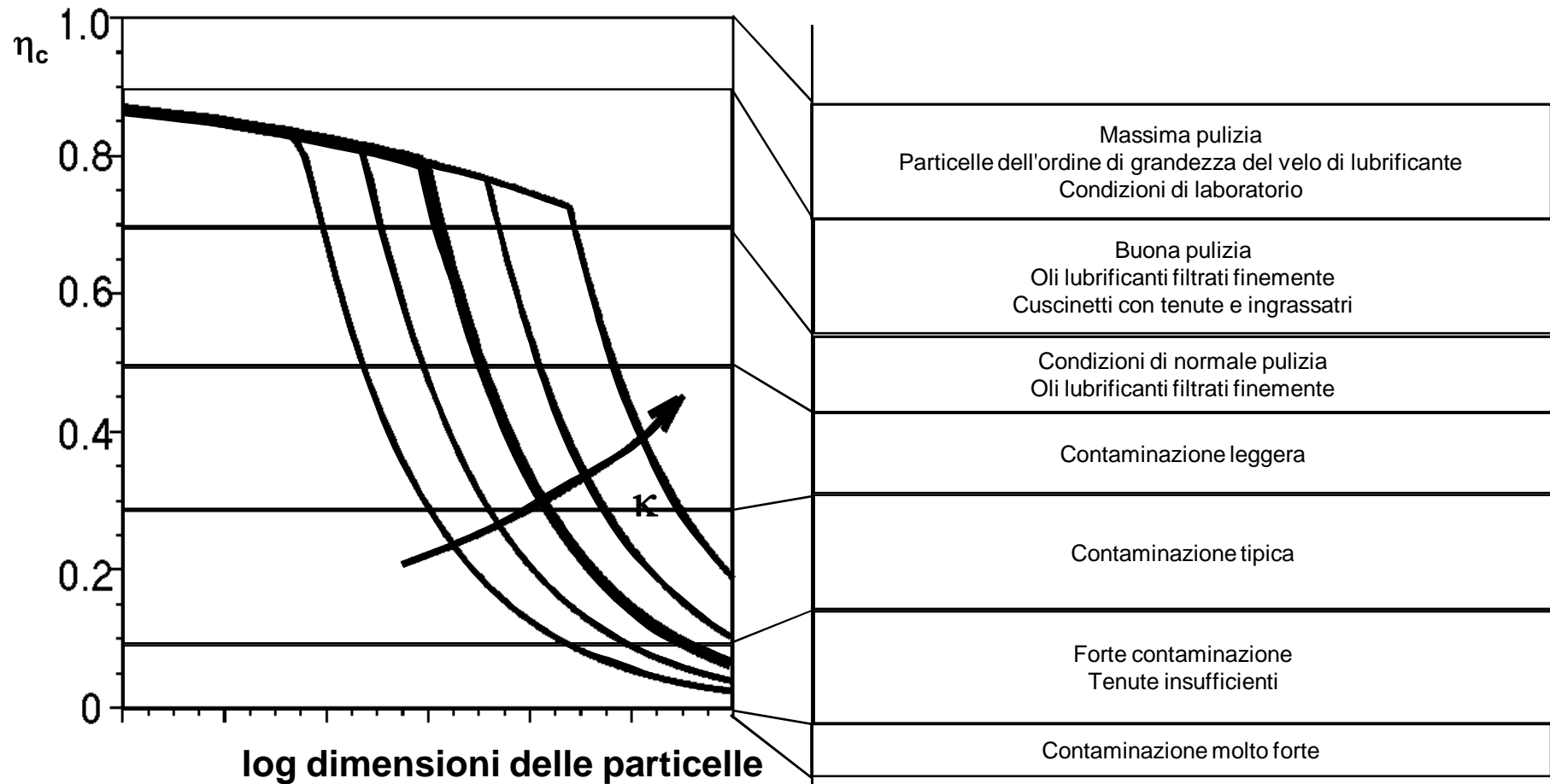
Impatto della contaminazione



Influssi di:
dimensioni delle particelle
spessore dello strato lubrificante
durezza delle particelle
dimensioni del cuscinetto
pressione hertziana
...



Coefficiente di contaminazione η_c



Fattore e_C



Contaminazione	Fattore e_C	
	$d_M < 100 \text{ mm}^1)$	$d_M \geq 100 \text{ mm}^1)$
Massima pulizia <input type="checkbox"/> Particelle nell'ordine di grandezza del velo di lubrificante <input type="checkbox"/> Condizioni di laboratorio	1	1
Buona pulizia <input type="checkbox"/> Oli lubrificanti filtrati finemente <input type="checkbox"/> Cuscinetti con tenute e ingrassati	0,8 fino a 0,6	0,9 fino a 0,8
Condizione di normale pulizia <input type="checkbox"/> Oli lubrificanti filtrati finemente	0,6 fino a 0,5	0,8 fino a 0,6
Contaminazione leggera <input type="checkbox"/> Leggera contaminazione nell'olio lubrificante	0,5 fino a 0,3	0,6 fino a 0,4
Contaminazioni tipiche <input type="checkbox"/> Cuscinetti contaminati con materiale asportato da altri elementi della macchina	0,3 fino a 0,1	0,4 fino a 0,2
Forti contaminazioni <input type="checkbox"/> Ambiente dei cuscinetti fortemente contaminato <input type="checkbox"/> Sistema di supporto con tenuta insufficiente	0,1 fino a 0	0,1 fino a 0
Contaminazioni molto forti	0	0

¹⁾ $d_M = \text{Diametro medio del cuscinetto } (d + D)/2.$

Norme sulla contaminazione



12: Oil cleanliness classes according to ISO 4406 (excerpt)

Number of particles per 100 ml				Code
over 5 µm		over 15 µm		
more than	up to	more than	up to	
500000	1000000	64000	130000	20/17
250000	500000	32000	64000	19/16
130000	250000	16000	32000	18/15
64000	130000	8000	16000	17/14
32000	64000	4000	8000	16/13
16000	32000	2000	4000	15/12
8000	16000	1000	2000	14/11
4000	8000	500	1000	13/10
2000	4000	250	500	12/9
1000	2000	130	250	11/8
1000	2000	64	130	11/7
500	1000	32	64	10/6
250	500	32	64	9/6

Norme sulla contaminazione



11: Guide values for the contamination factor V

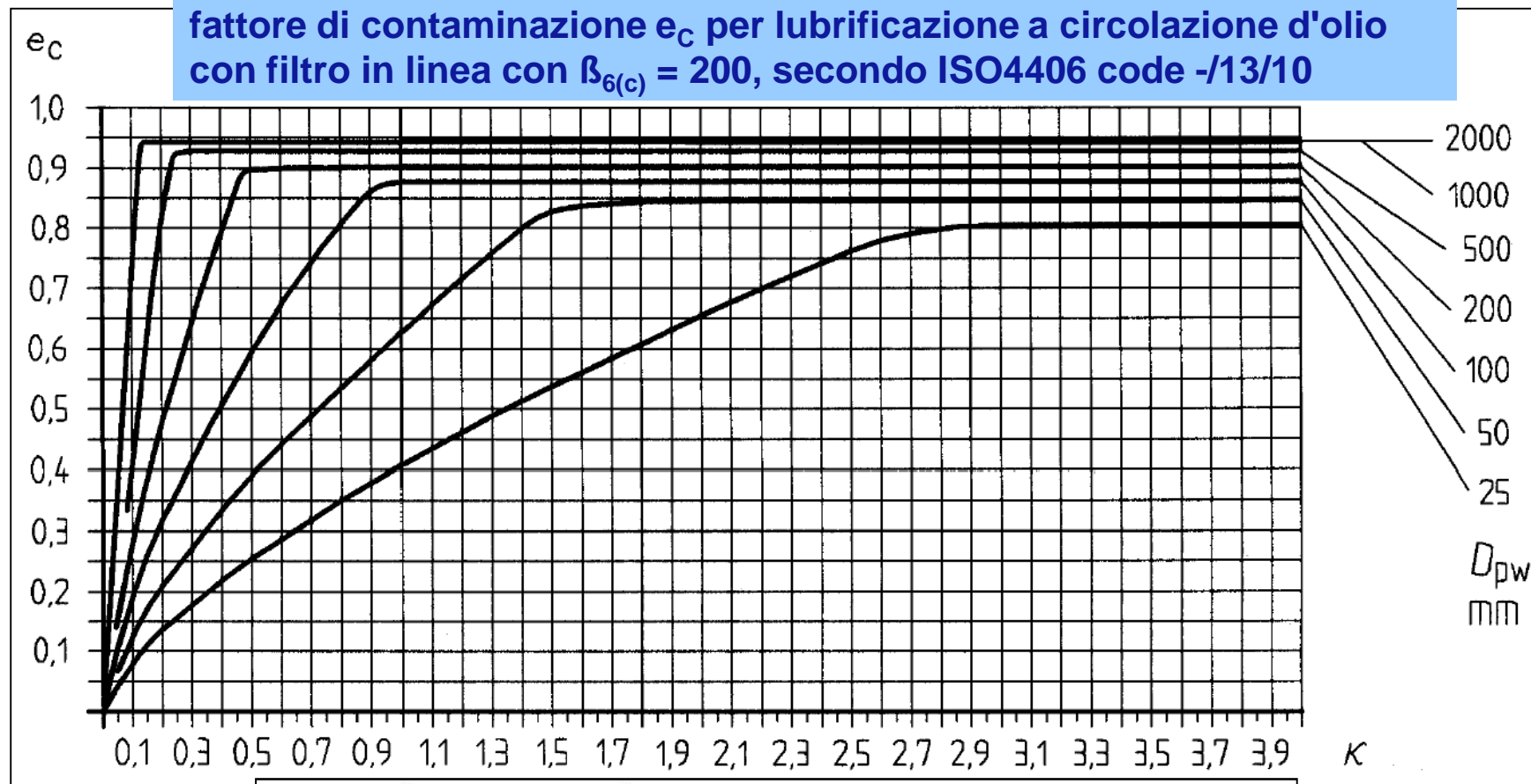
(D-d)/2 mm	V	Point contact required oil cleanliness class according to ISO 4406 ¹⁾	guide values for filtration ratio according to ISO 4572	Line contact required oil cleanliness class according to ISO 4406 ¹⁾	guide values for filtration ratio according to ISO 4572
≤ 12.5	0.3	11/8	$\beta_3 \geq 200$	12/9	$\beta_3 \geq 200$
	0.5	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	1	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	2	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	3	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
> 12.5 ... 20	0.3	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	0.5	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	1	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	2	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
	3	18/14	$\beta_{25} \geq 75$	19/15	$\beta_{25} \geq 75$
> 20 ... 35	0.3	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0.5	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	1	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{12} \geq 75$
	2	17/14	$\beta_{25} \geq 75$	18/15	$\beta_{25} \geq 75$
	3	19/15	$\beta_{25} \geq 75$	20/16	$\beta_{25} \geq 75$
> 35	0.3	14/11	$\beta_6 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0.5	15/12	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_{12} \geq 75$
	1	17/14	$\beta_{12} \geq 75$	18/14	$\beta_{25} \geq 75$
	2	18/15	$\beta_{25} \geq 75$	19/16	$\beta_{25} \geq 75$
	3	20/16	$\beta_{25} \geq 75$	21/17	$\beta_{25} \geq 75$

For example, filtration ratio $\beta_3 \geq 200$ (ISO 4572) means that in the so-called multi-pass test only one of 200 particles $\geq 3 \mu\text{m}$ passes through the filter. Filters with coarser filtration ratios than $\beta_{25} \geq 75$ should not be used due to the ill effect on the other components within the circulation system.

¹⁾ Particles with a hardness of more than 50 HRC have to be taken into account.

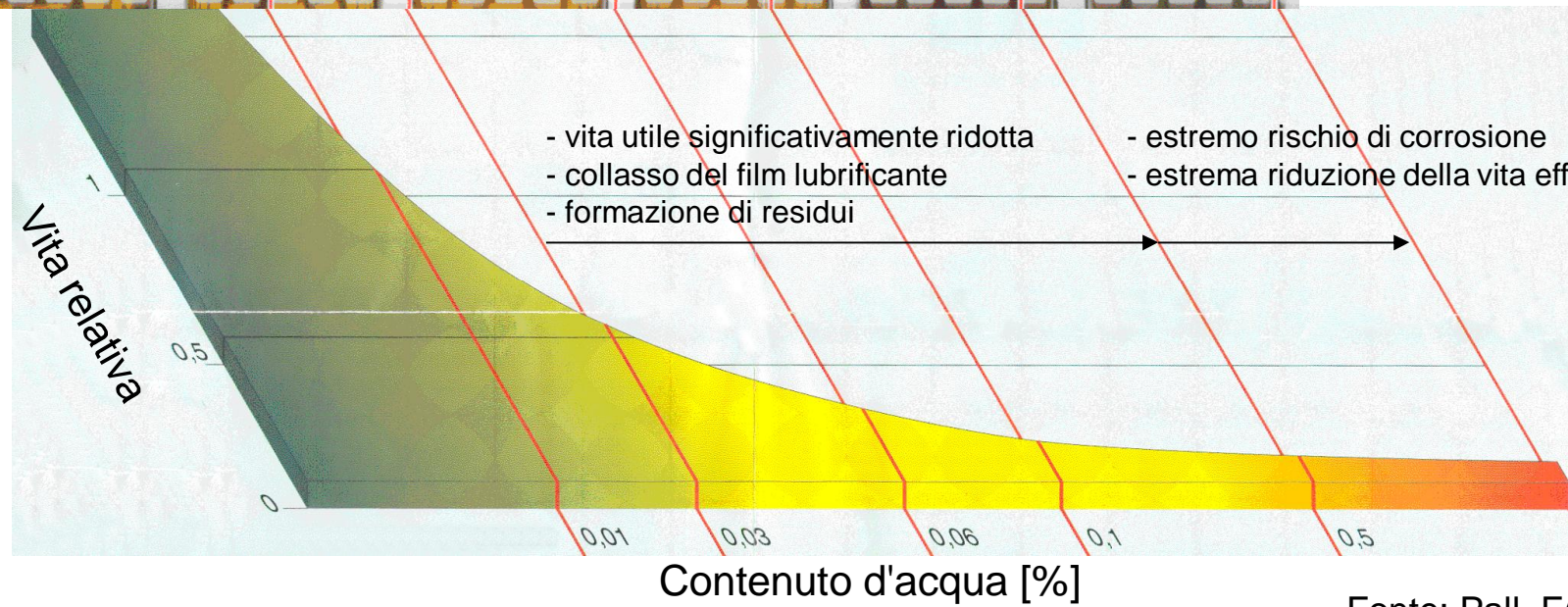
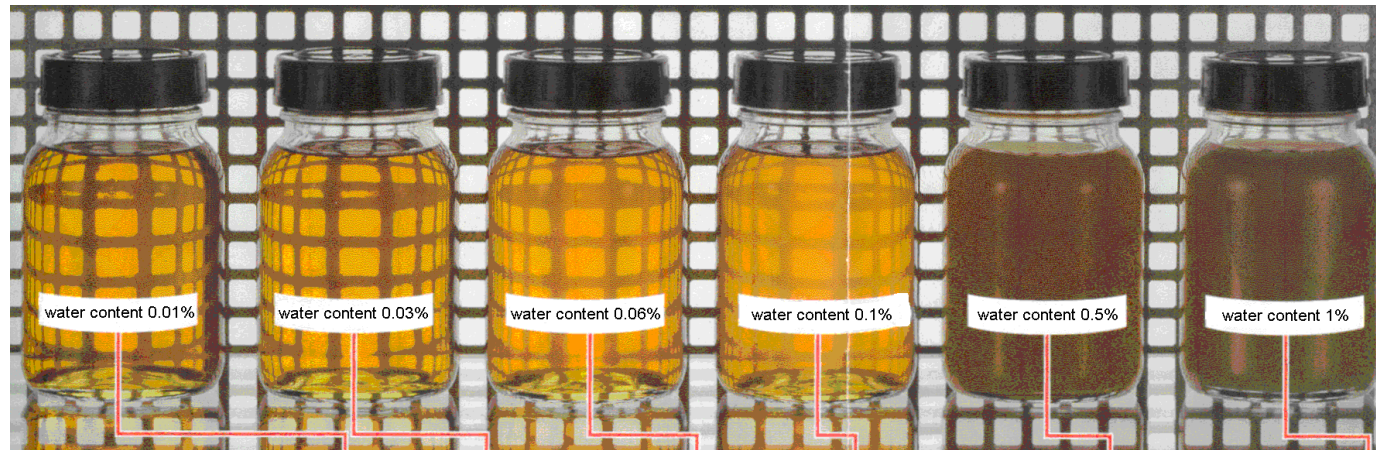
Stato della Normativa

Revisione della Norma ISO 281



$$e_C = a \left(1 - \frac{0,5663}{D_{pw}^{1/3}} \right), \text{ where } a = 0,0864 \kappa^{0,68} D_{pw}^{0,55}$$

Contaminazione con acqua



Fonte: Pall, FAG

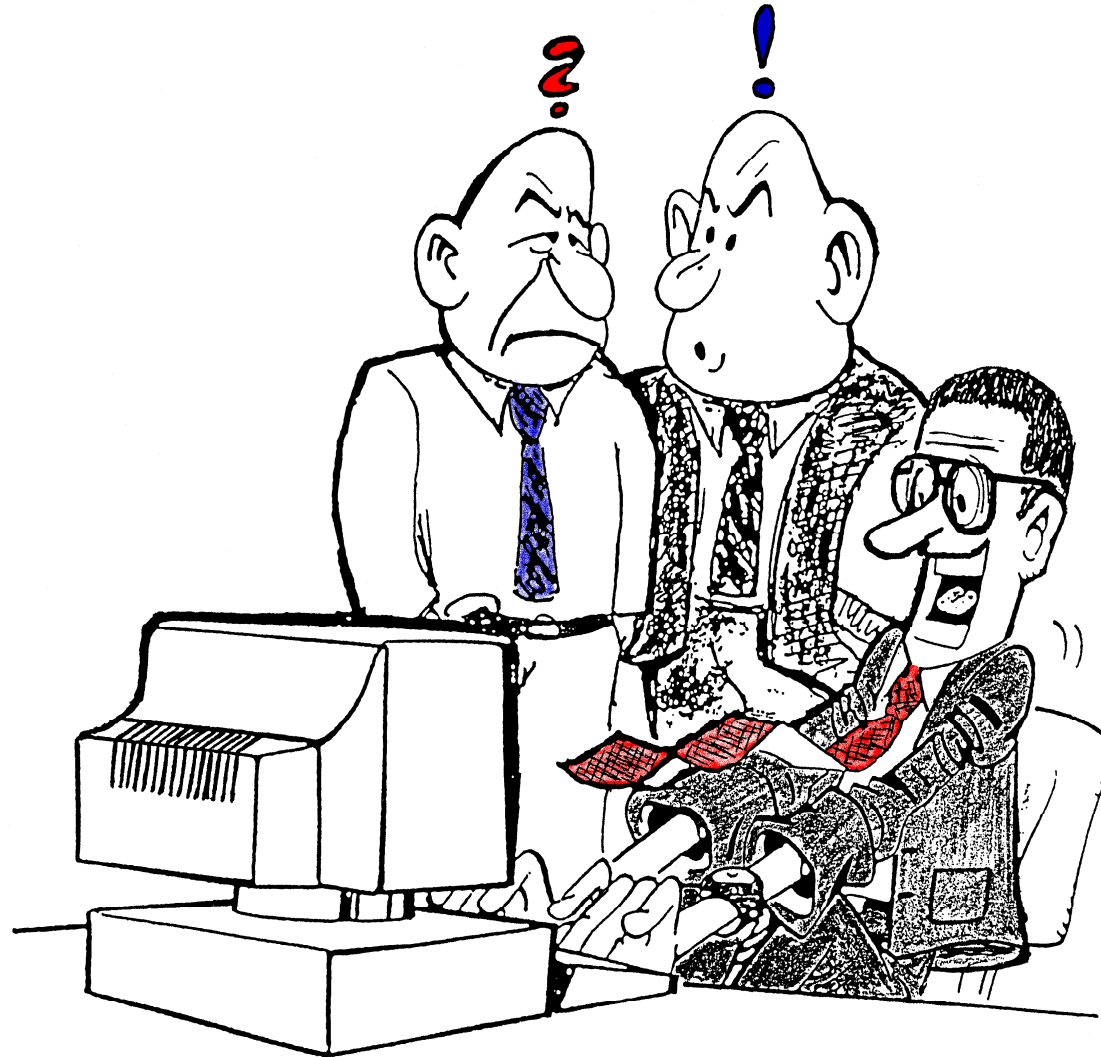
Contaminazione con acqua



Acqua nel lubrificante provoca corrosione ed usura nei rulli (sinistra) e piste di rotolamento (destra).

Capacità di carico e durata a fatica

Procedimenti di calcolo



Calcolo della durata a fatica Programmi di calcolo



$$L = a \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

ripartizione del carico approssimata

esatta ripartizione del carico

Handwritten calculations on a green grid background:

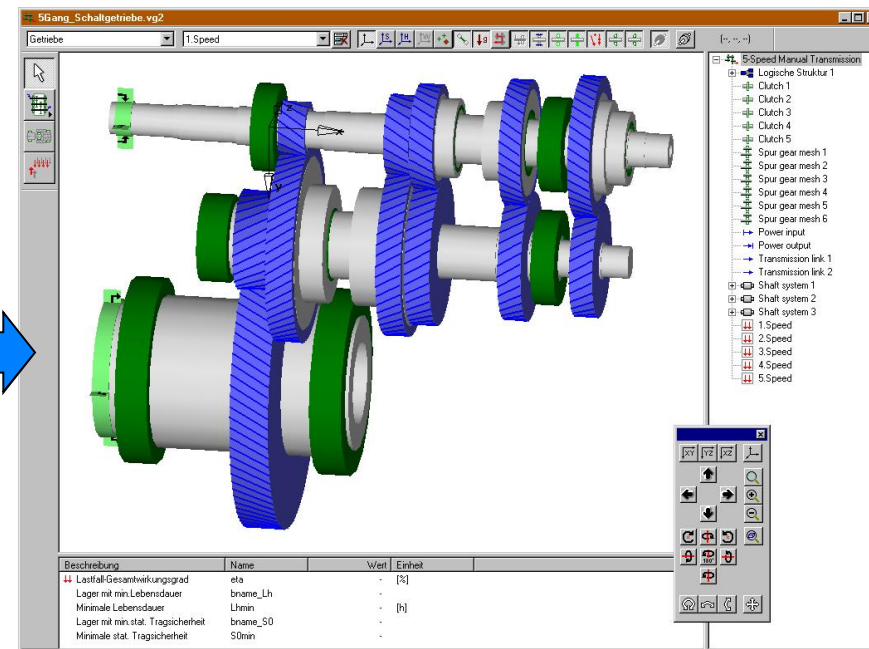
$$x = \frac{v}{v_h} = \frac{76.0}{37.9} \approx 2$$

$$e_c \cdot \frac{C_a}{P} = 0.8 \cdot \frac{10.6}{10} = 0.848$$

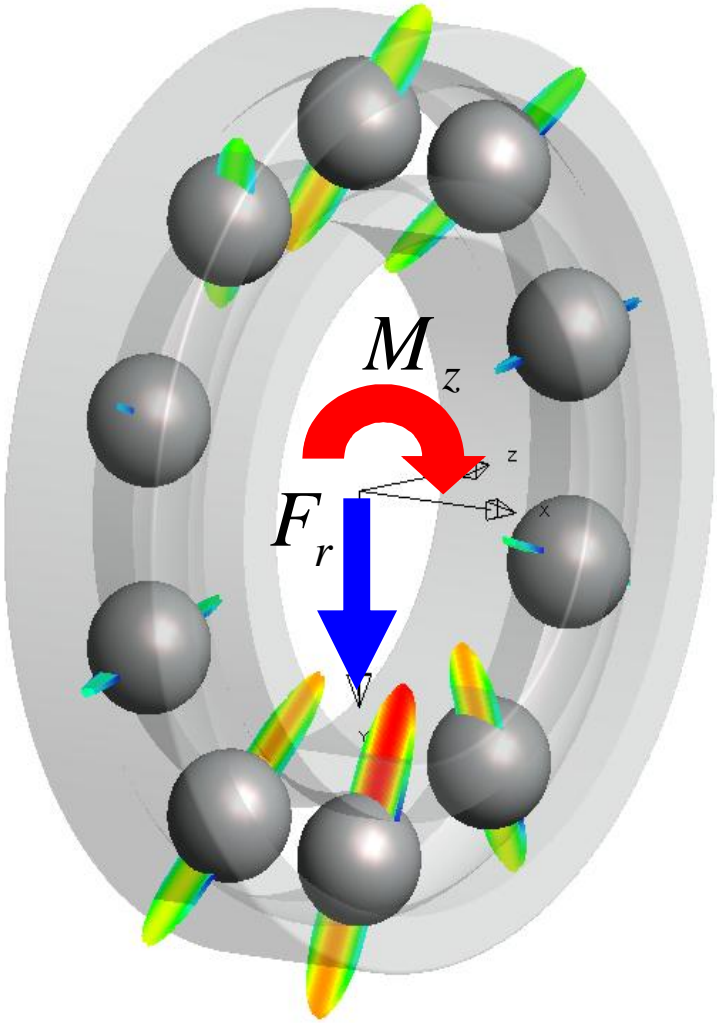
$$\Rightarrow d_{DIN} = 8.67$$

$$L_{nm} = 8.67 \cdot \frac{16666}{4000} \cdot \left(\frac{73.5}{10} \right)^{\frac{10}{3}}$$

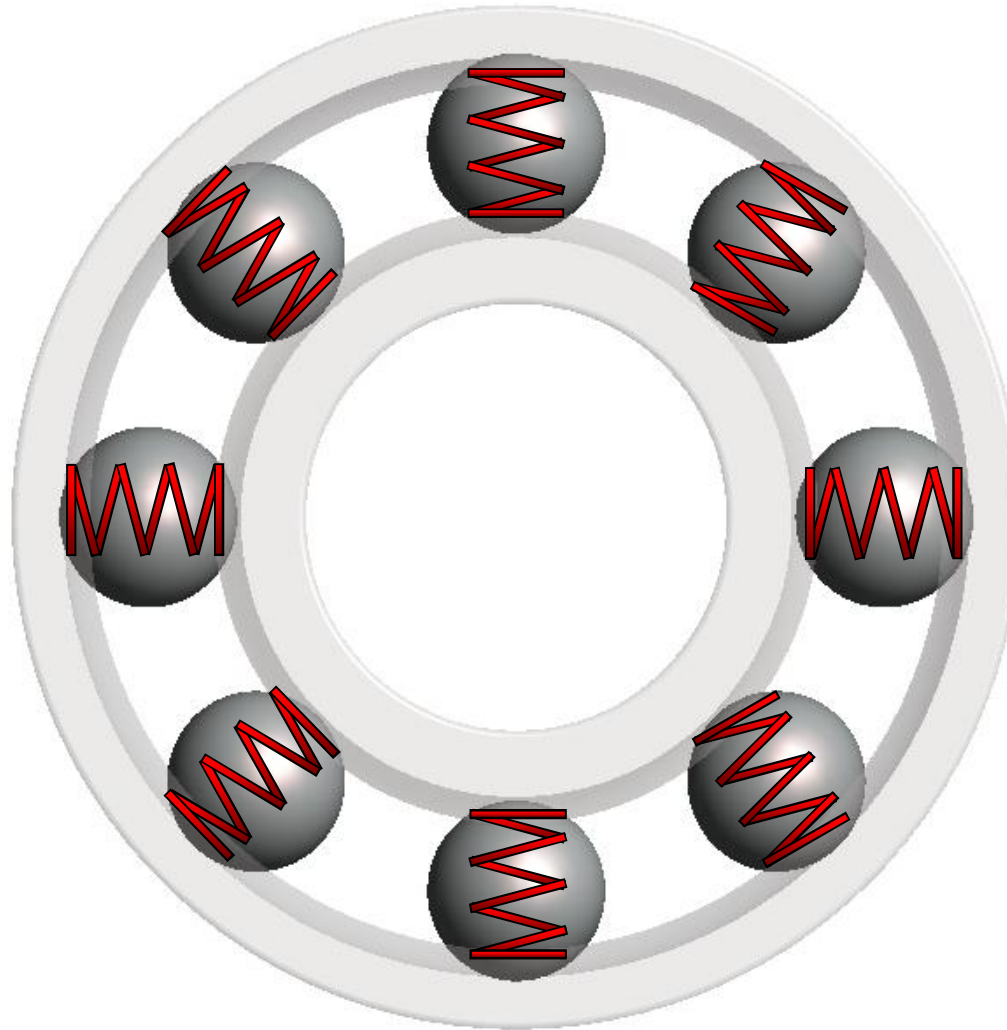
$$\underline{\underline{L_{nm} = 27900 \text{ h}}}$$



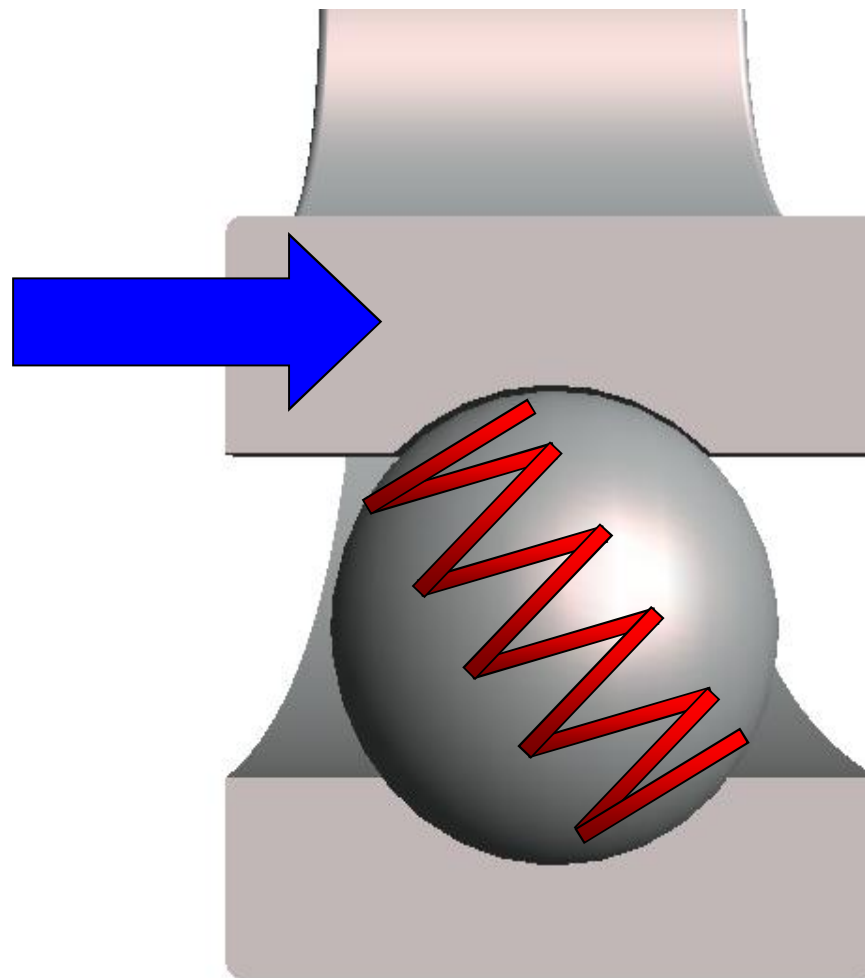
Ripartizione del carico nel cuscinetto a sfere



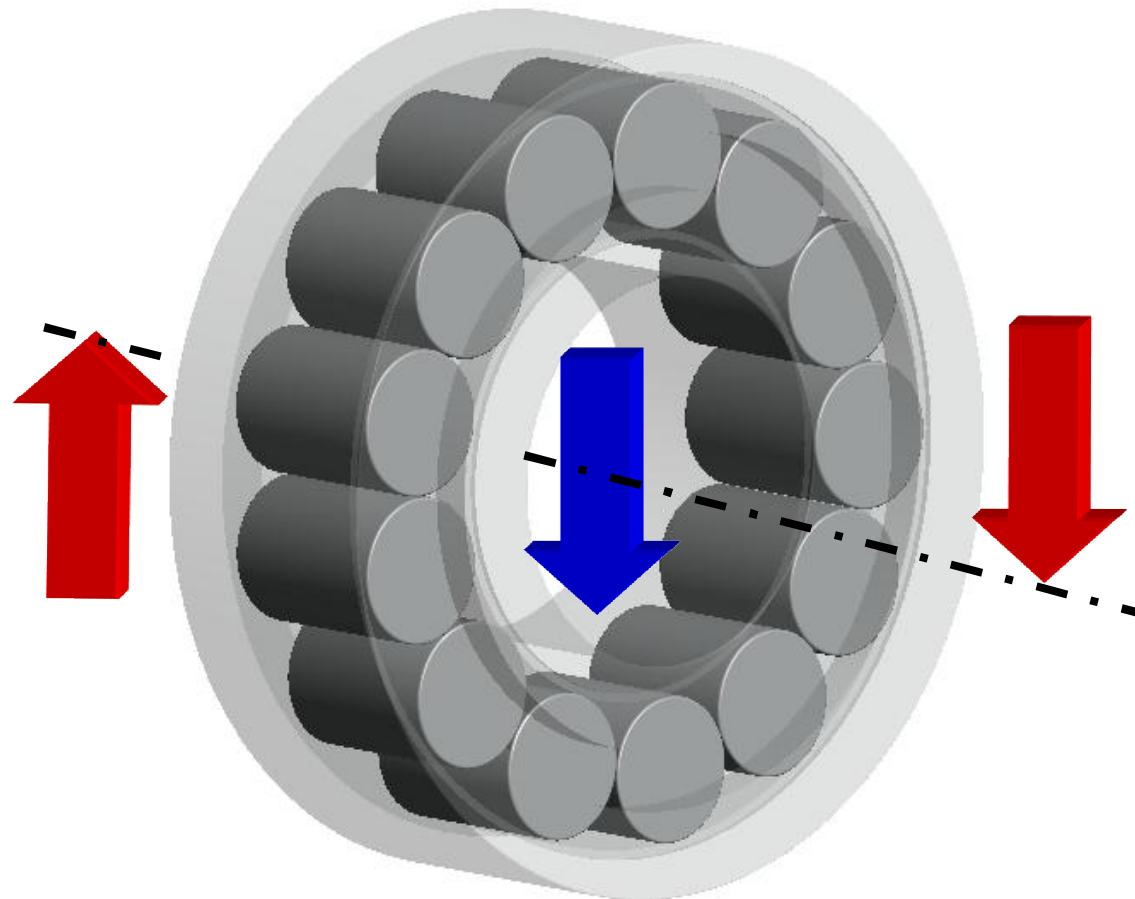
Modello elastico per il cuscinetto a sfere



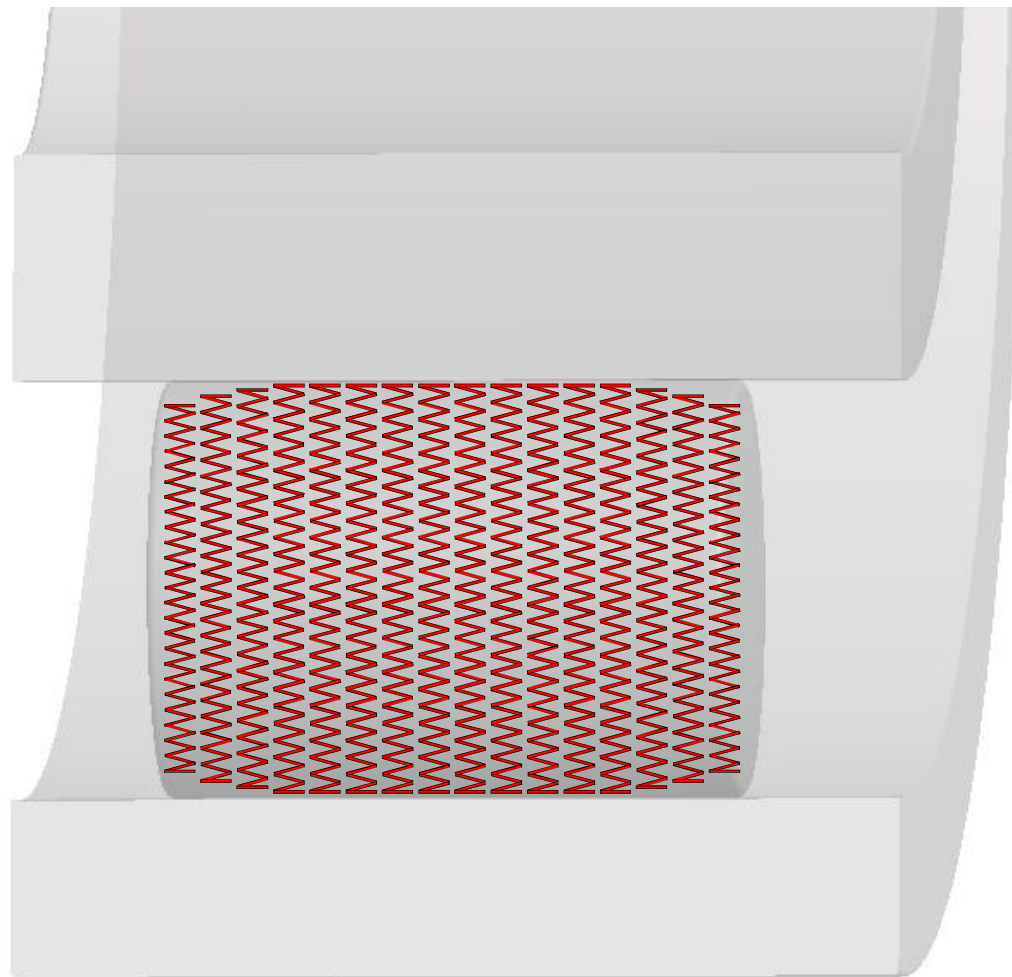
Modello elastico per il contatto puntiforme



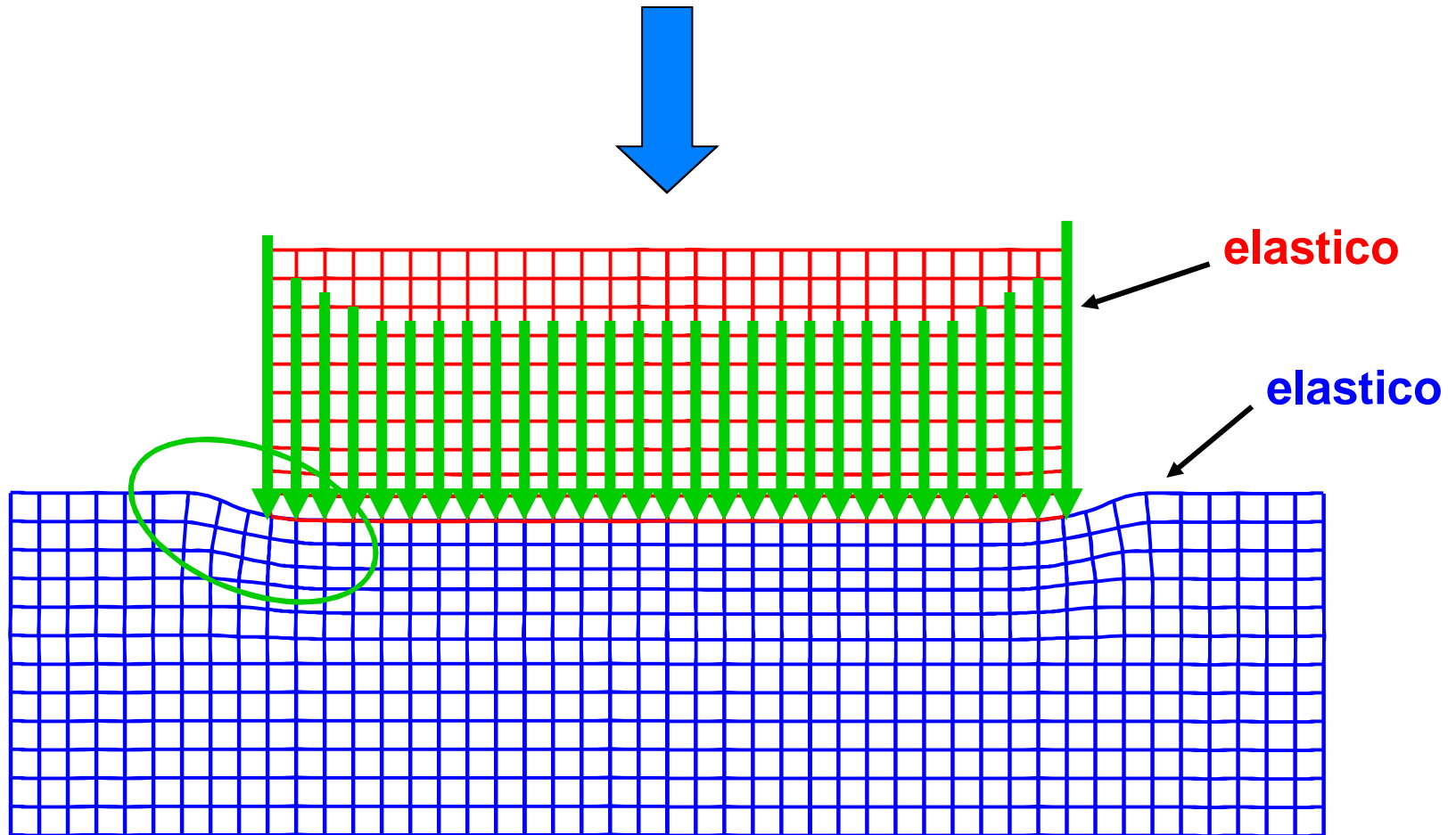
Cuscinetti a rulli sotto carico radiale e momento ribaltante



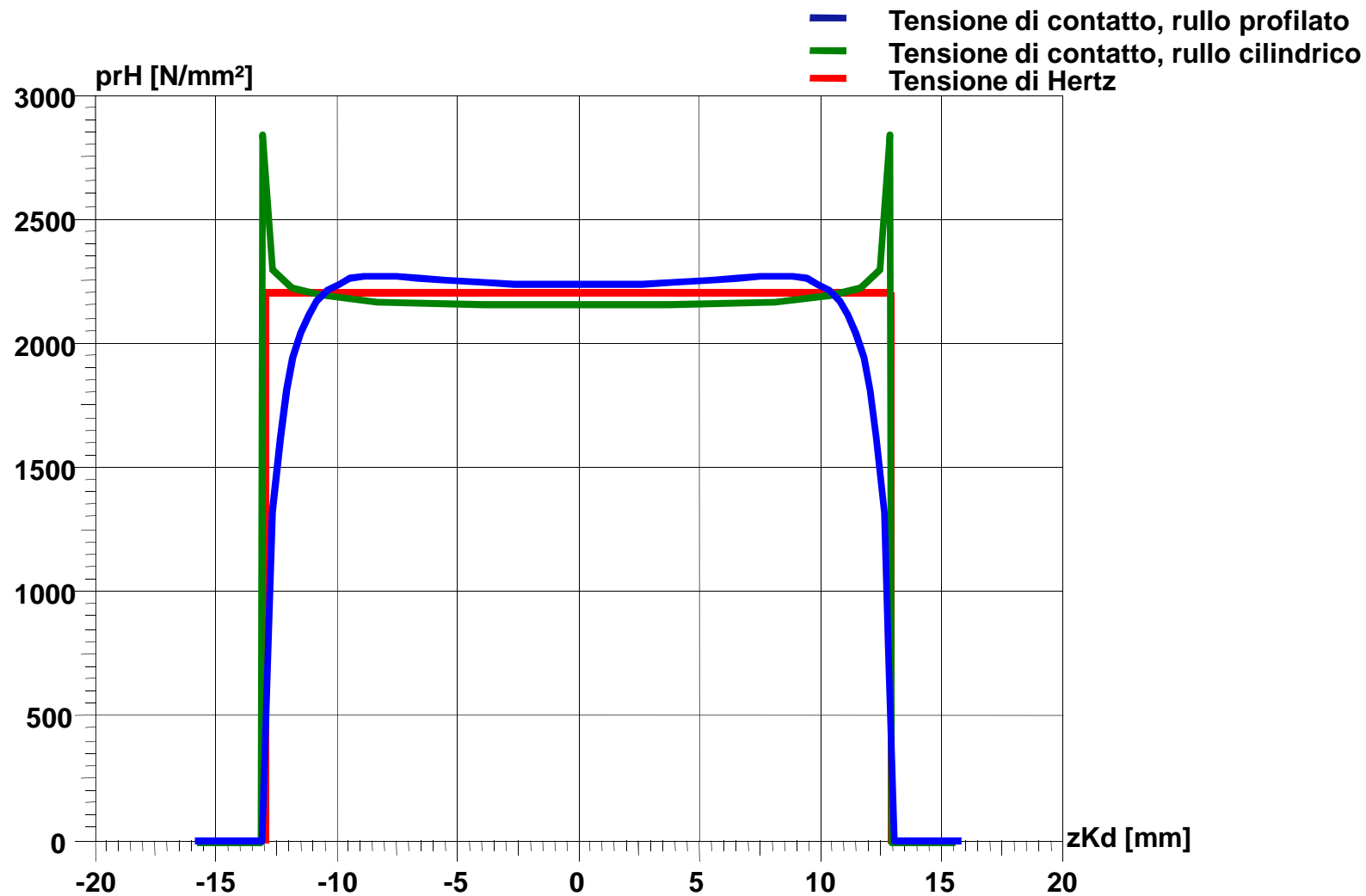
Modello discretizzato dei rulli



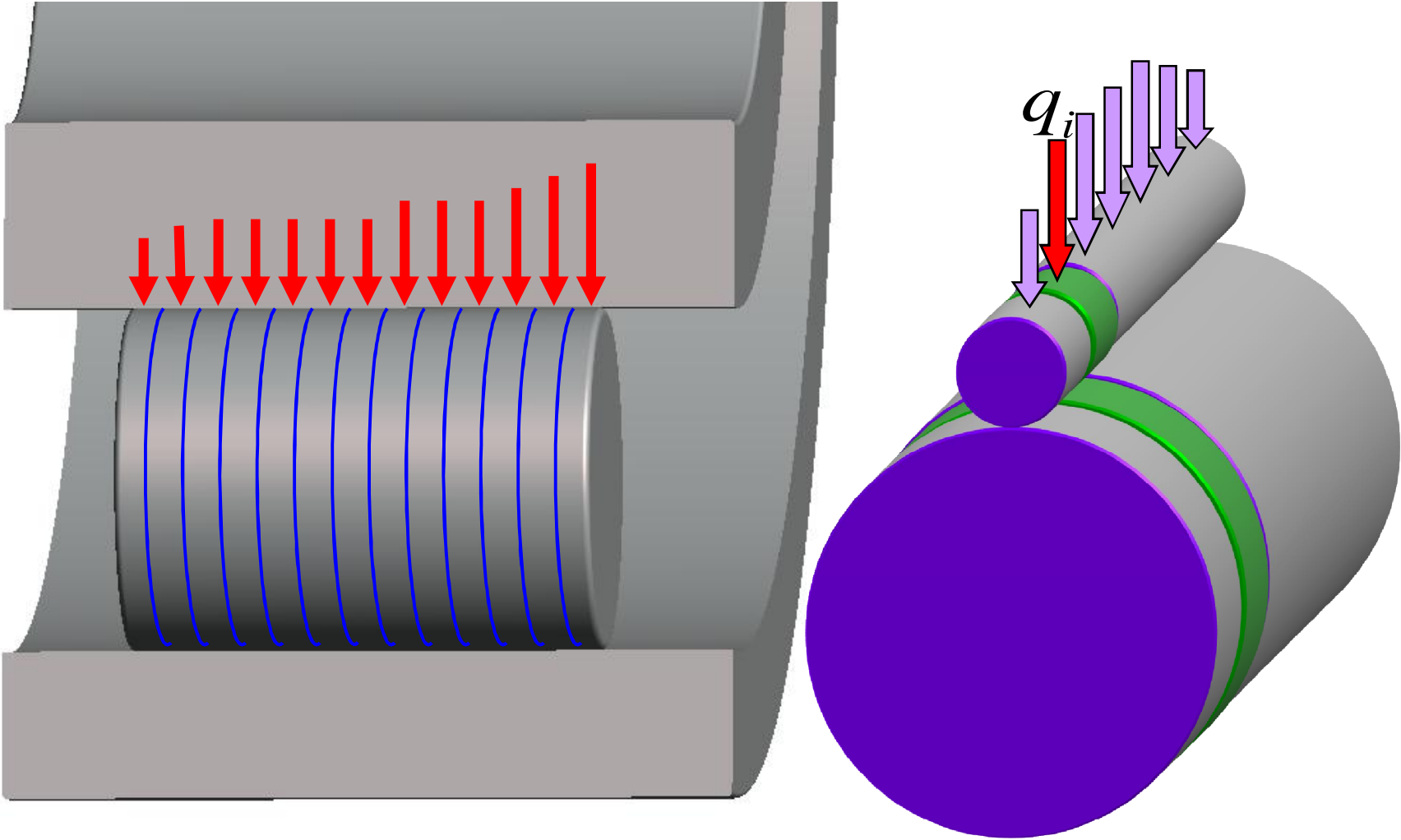
Pressione non hertziana (calcolo esatto)



Tensioni di contatto



Cuscinetti a rulli soggetti a ribaltamento



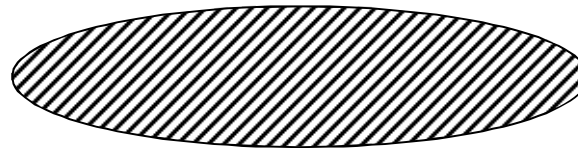
Cuscinetti a rulli: linea di contatto modificata

carichi elevati:



$$p = 4$$

carichi molto bassi:



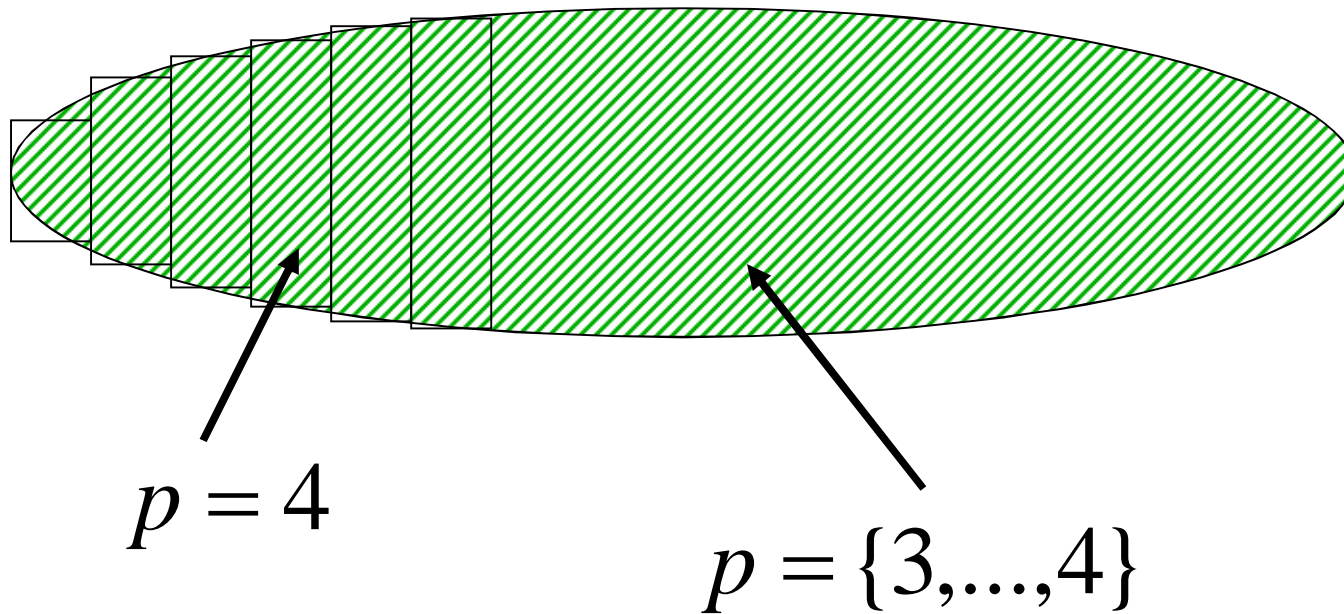
$$p = 3$$

carico normale:



$$p = \frac{10}{3}$$

Cuscinetti a rulli: contatto lineare modificato



Durata a fatica di riferimento modificata L_{10mr}

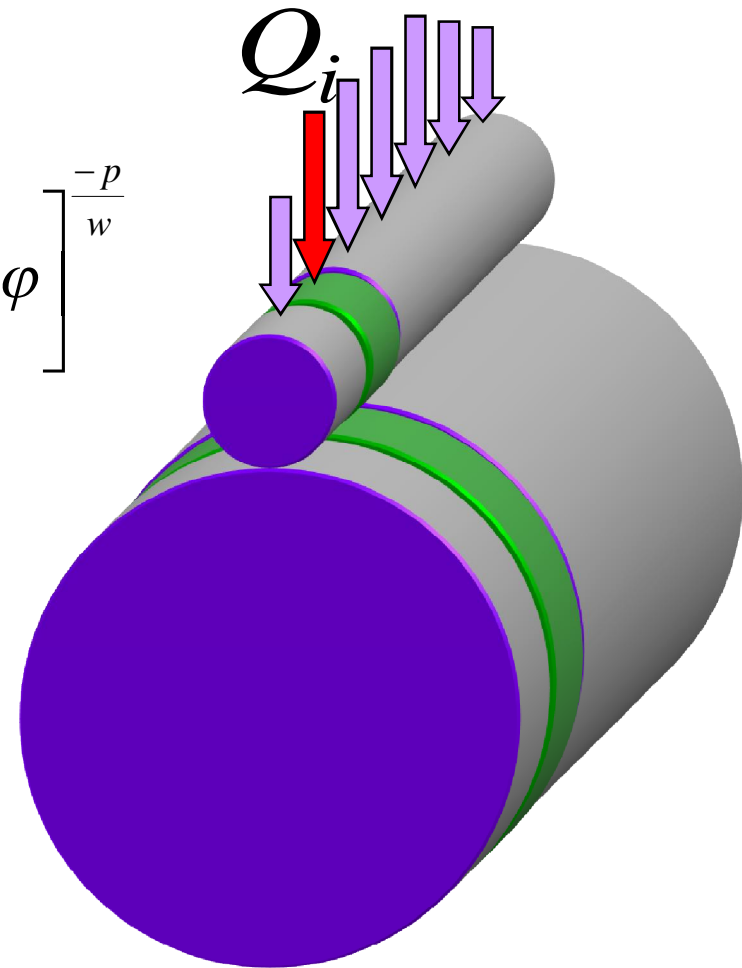


contatto singolo $L_i = \left(\frac{Q_c}{Q_i} \right)^p$

elemento parziale $L_S = a_{DIN} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} (L_i\{\varphi\})^{\frac{-w}{p}} d\varphi \right]^{\frac{-p}{w}}$

anello $L_R = \left(\sum \left(\frac{1}{L_S} \right)^e \right)^{\frac{-1}{e}}$

cuscinetto $L_{10mr} = \left(\sum \left(\frac{1}{L_R} \right)^e \right)^{\frac{-1}{e}}$



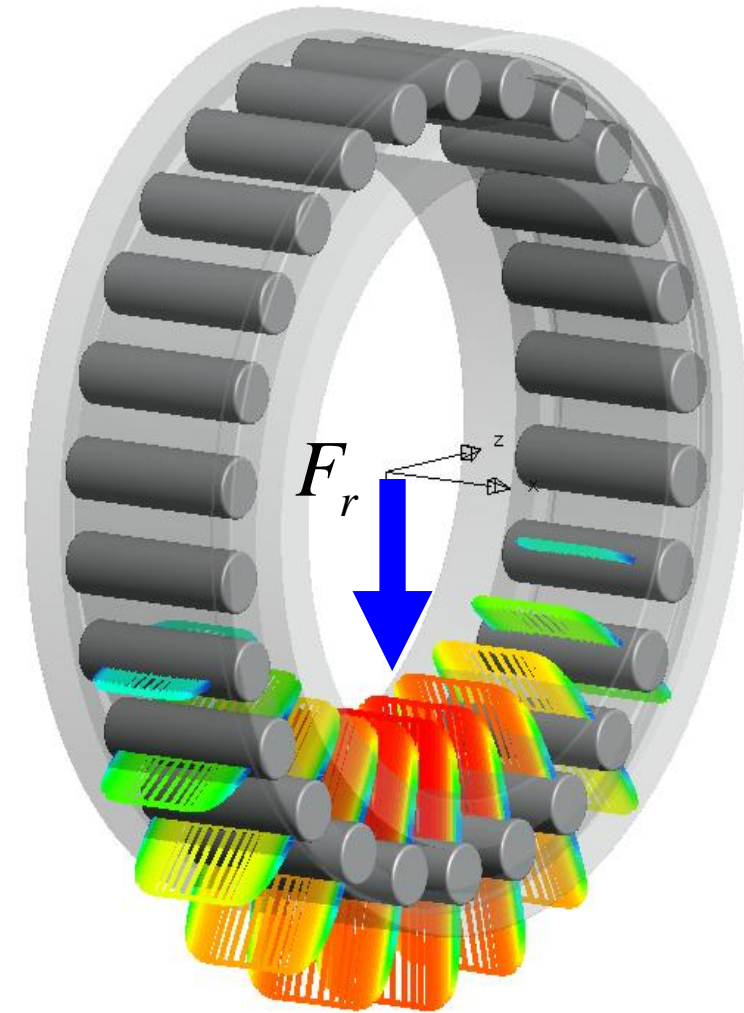
DIN ISO 281 Allegato 4

Calcolo del fattore a_{DIN}



a_{DIN} viene
singolarmente calcolato
per ogni elemento

calcolo manuale:
 a_{DIN} può essere determinato solo
per l'intero cuscinetto

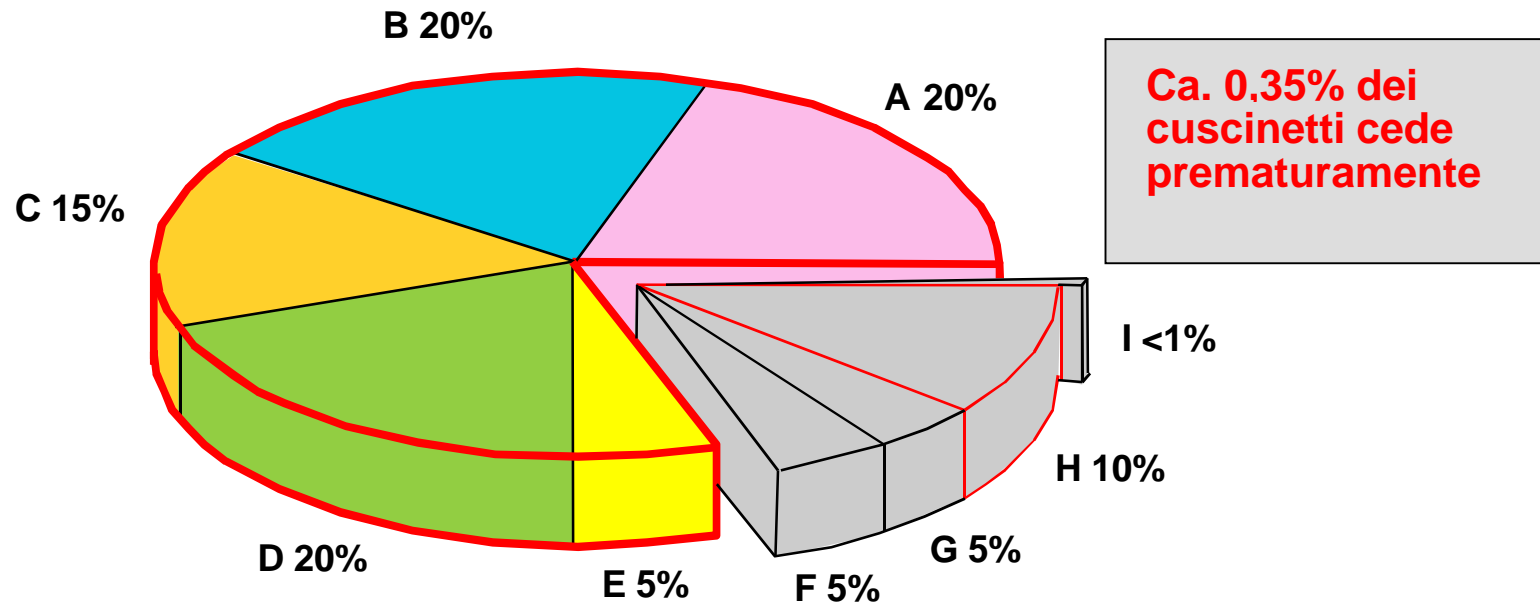


Nozioni di base

Durata di esercizio



Statistiche sui danneggiamenti



- A** Lubrificante invecchiato
- B** Lubrificante non adatto
- C** Mancanza di lubrificante
- D** Impurità solide
- E** Impurità liquide

- F** Errori di montaggio
- G** Danneggiamenti consequenziali
- H** Scelta inadatta del cuscinetto (forma costruttiva, dimensione, capacità di carico)
- I** Difetti del materiale e di produzione

Quelle: Antriebstechnik (1979)

La durata d'esercizio e la durata effettivamente raggiunta dal cuscinetto. La durata di esercizio può divergere dalla durata calcolata.

Le possibili cause sono :

- dati d'esercizio effettivi diversi da quelli di progetto
- disassamento tra albero e alloggiamento
- gioco d'esercizio troppo piccolo o troppo grande
- contaminazione effettiva
- lubrificazione effettiva
- temperatura d'esercizio troppo elevata
- movimenti oscillanti del cuscinetto con angoli di oscillazione molto piccoli
- vibrazioni e formazione di ondulazioni
- carichi ad urto molto elevati – sovraccarico statico
- danni causati durante il montaggio

A causa della molteplicità dei possibili fattori in fase sia di esercizio che di montaggio la durata effettiva non può essere calcolata esattamente.

Il metodo di previsione più sicuro è il raffronto con casi di montaggio analoghi

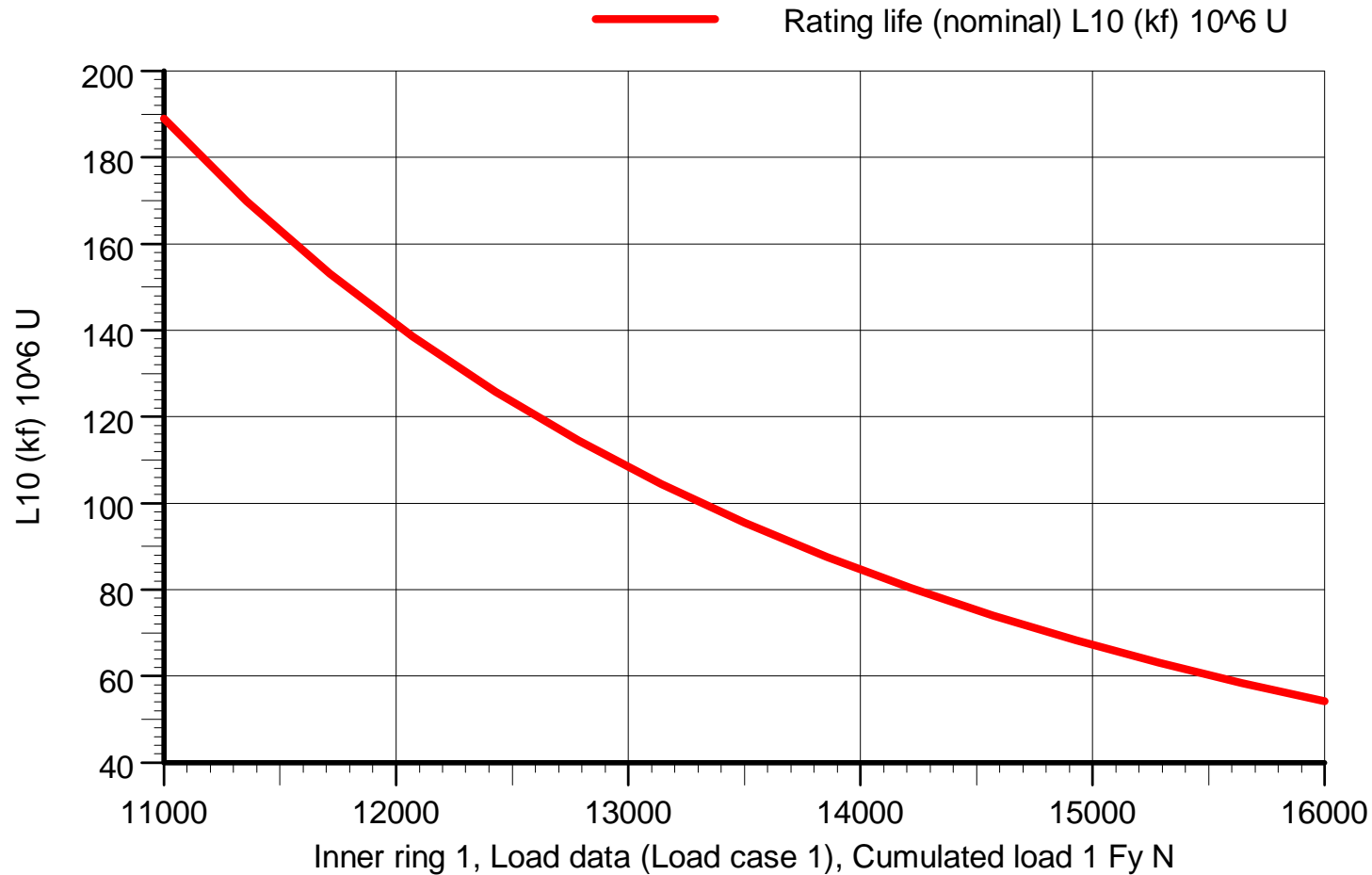
dati d'esercizio effettivi diversi da quelli di progetto



Esempio : NA 4910

Variation of the life at varying the load.

Effect of the exponent 10/3 that appears in the formula of the life



disassamento tra albero e alloggiamento

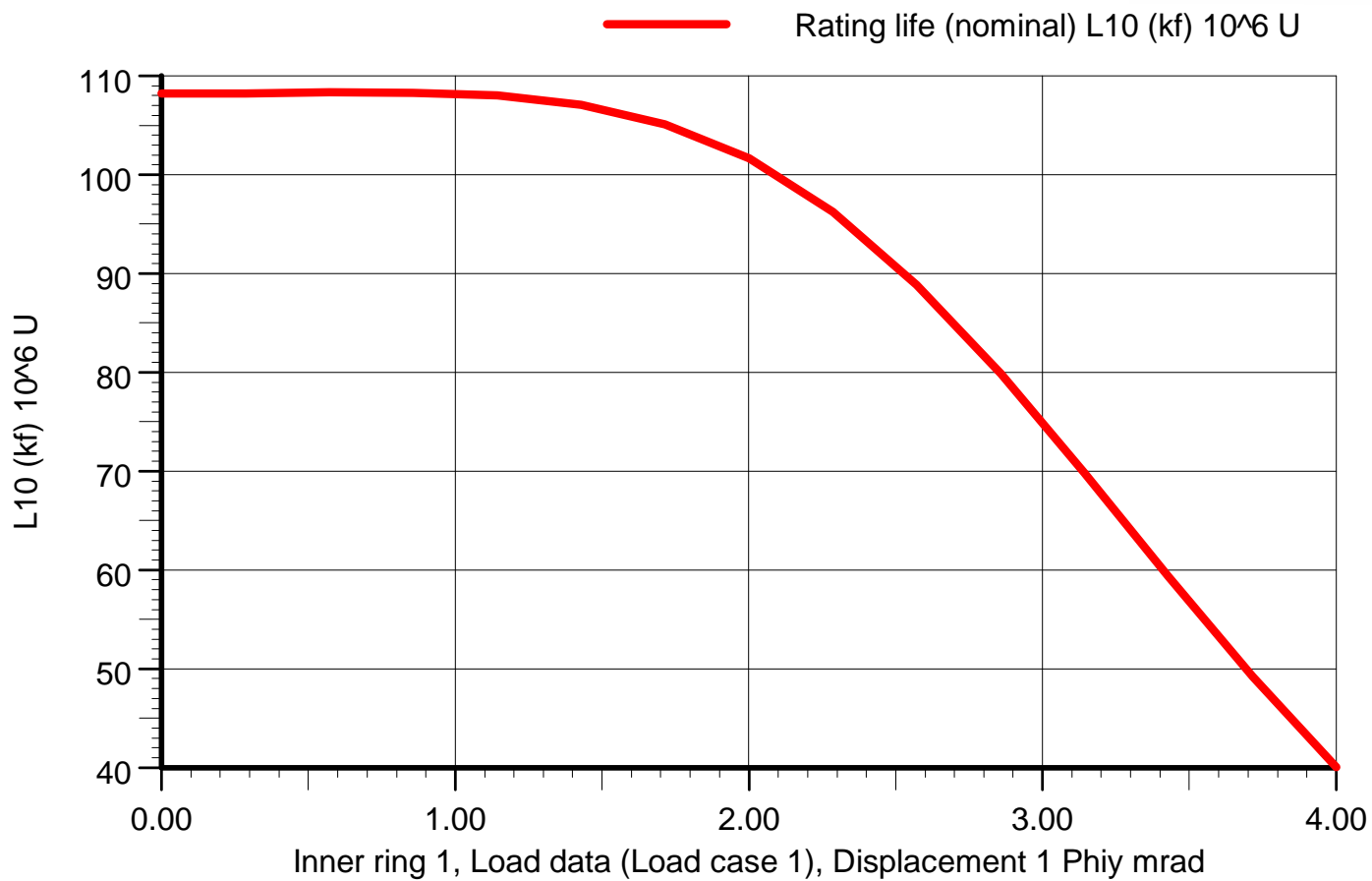
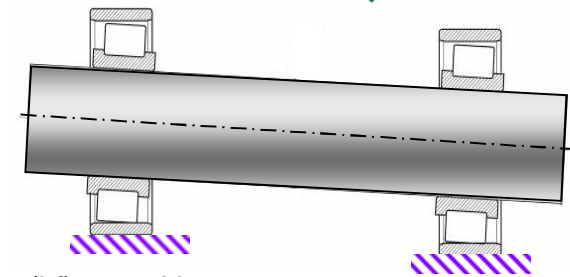


Esempio : NA 4910

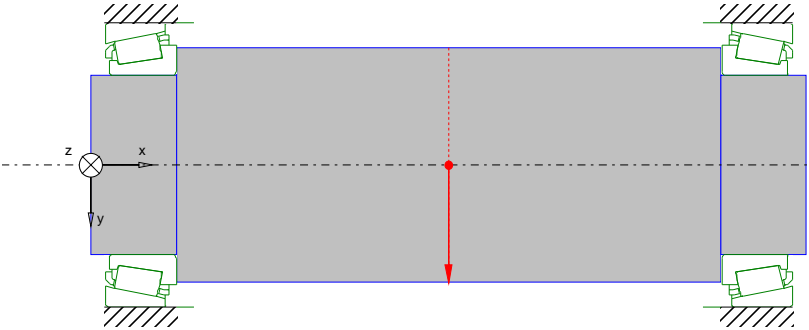
Carico radiale $F_r = 13.000 \text{ N}$

Variatione della durata al variare del disallineamento.

Effetto delle concentrazioni di tensione

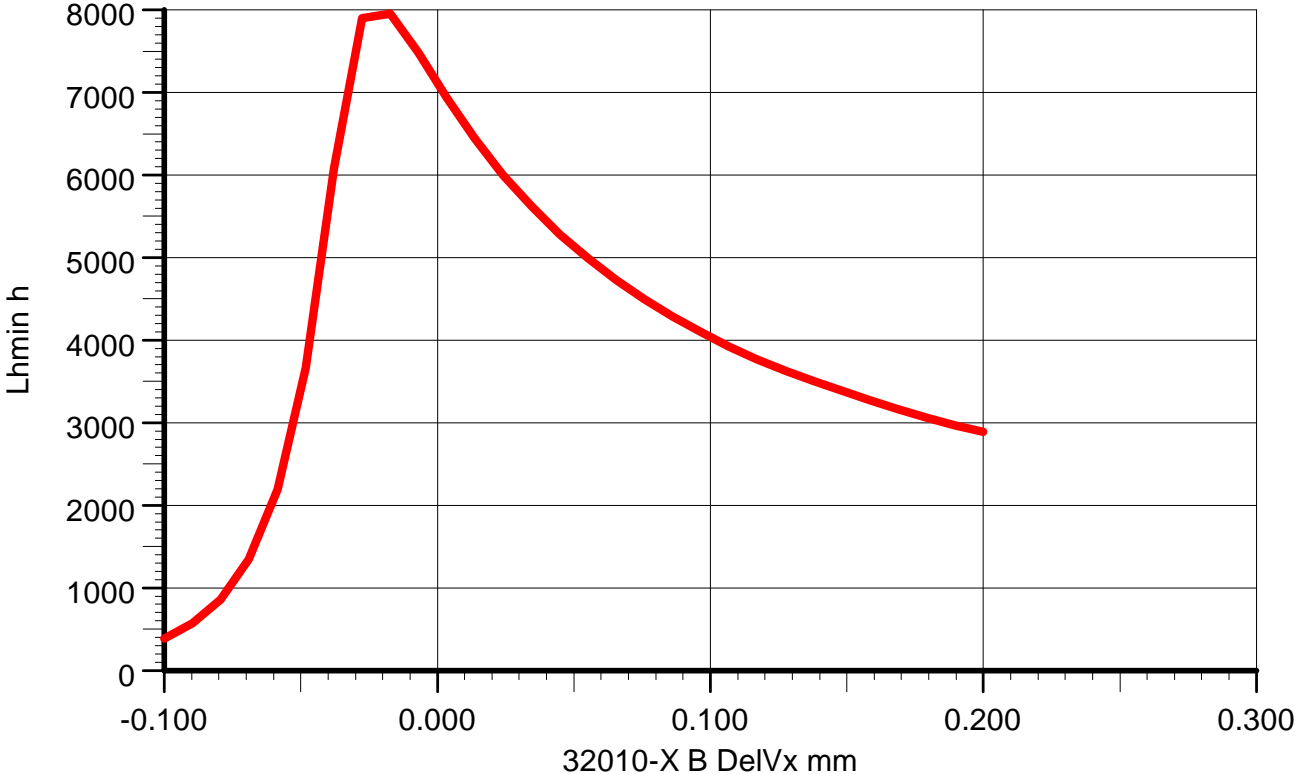


gioco d'esercizio troppo piccolo o troppo grande



Cuscinetti 32010 X
 P = 20.000 N
 n = 1.000 rpm
 Spostamento iniziale da -0,1 (precarico) a 0,2 (gioco)

Minimum rating life [h] Lhmin h



contaminazione effettiva



Esempio : NA 4910

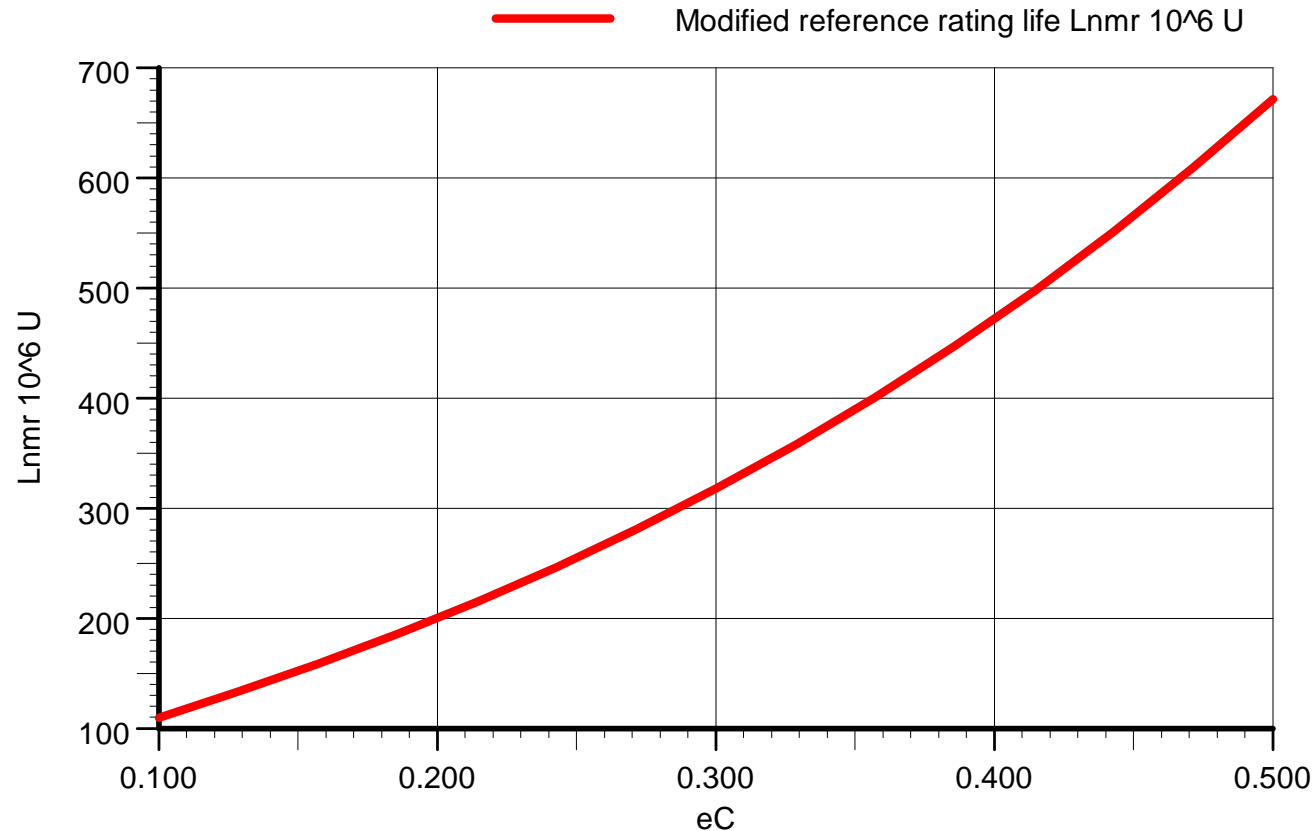
Variazione della durata al variare del fattore di contaminazione.

Carico radiale 13.000 N

Disassamento zero

Gioco radiale 0,020 mm

Olio ISOVG 150, temperatura di esercizio 70 °C



temperatura d'esercizio troppo elevata



Esempio : NA 4910

Variazione della durata al variare della temperatura.

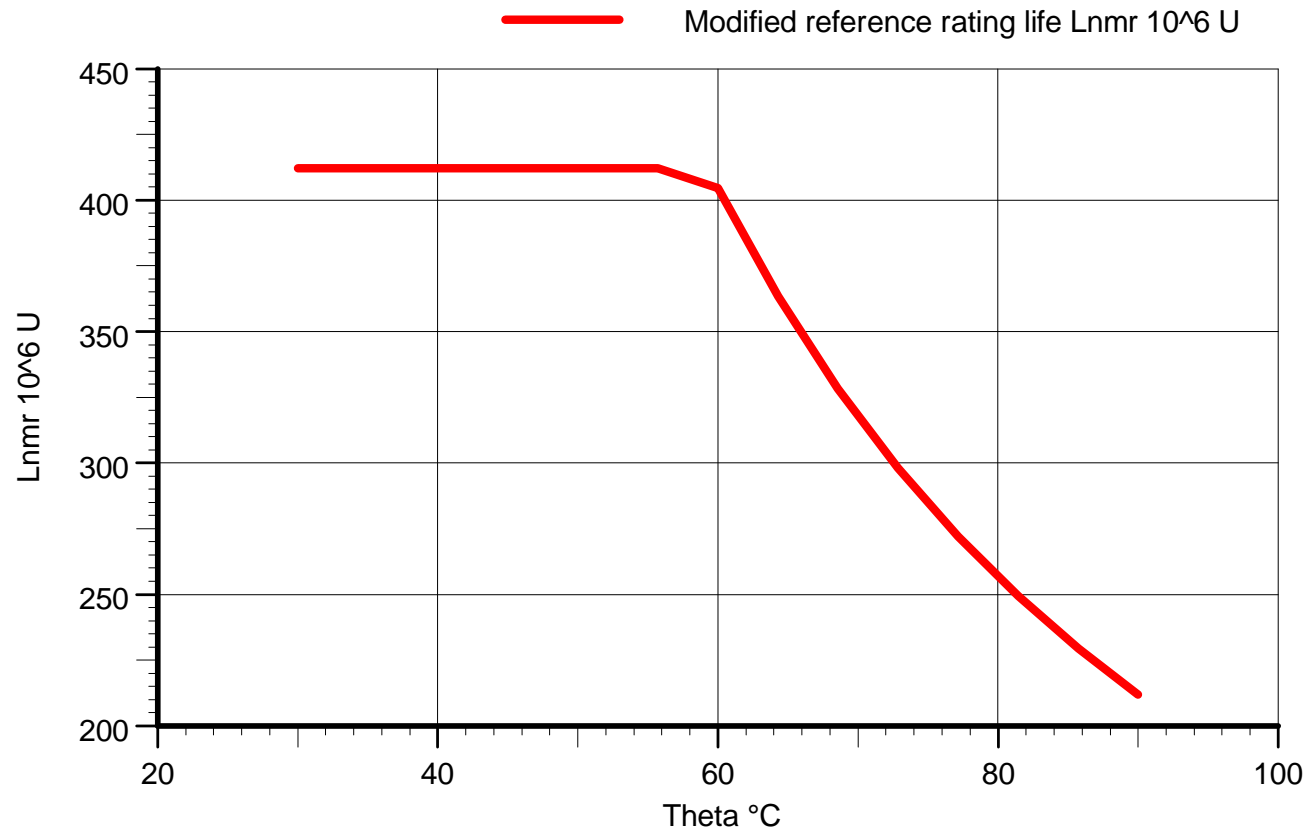
Carico radiale 13.000 N

Disassamento zero

Gioco radiale 0,020 mm

Olio ISOVG 150

Fattore di contaminazione $ec = 0,30$



movimenti oscillanti del cuscinetto con angoli di oscillazione molto piccoli



Catalogo HR1

Movimento oscillante

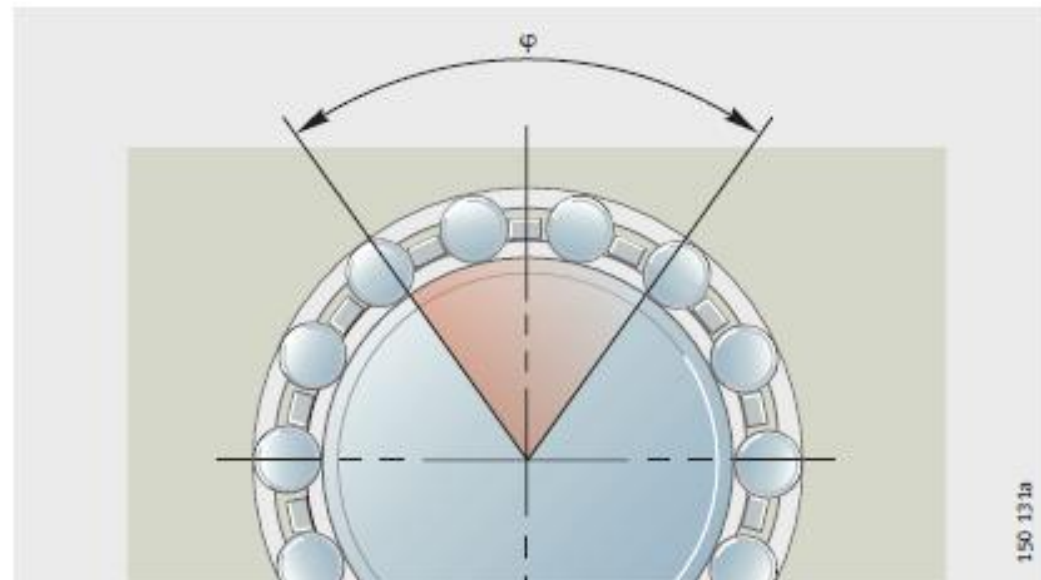
La velocità di rotazione equivalente in caso di movimento oscillante viene calcolata da:

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

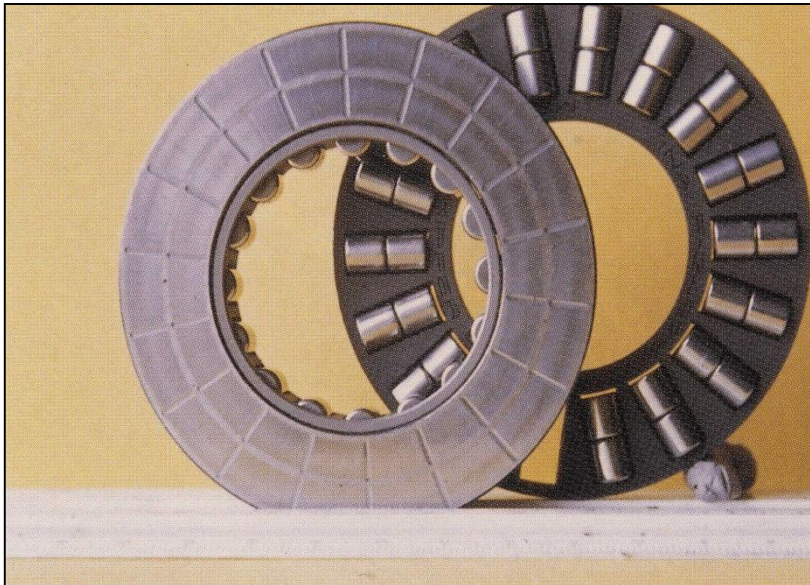
Attenzione!

L'equazione vale solo, se l'angolo di oscillazione è maggiore al doppio del passo dei corpi volventi!

Se l'angolo di oscillazione è troppo piccolo sussiste il pericolo della falsa brinellatura !



Danneggiamenti da corrosione Falsa brinellatura



Aspetto del danneggiamento:

Corrosione delle piste di rotolamento da fermo, formazione di incisioni simili ad effetti di usura.

Causa del danneggiamento:

Ossidazione delle superfici in acciaio provocata da oscillazioni e micromovimenti.

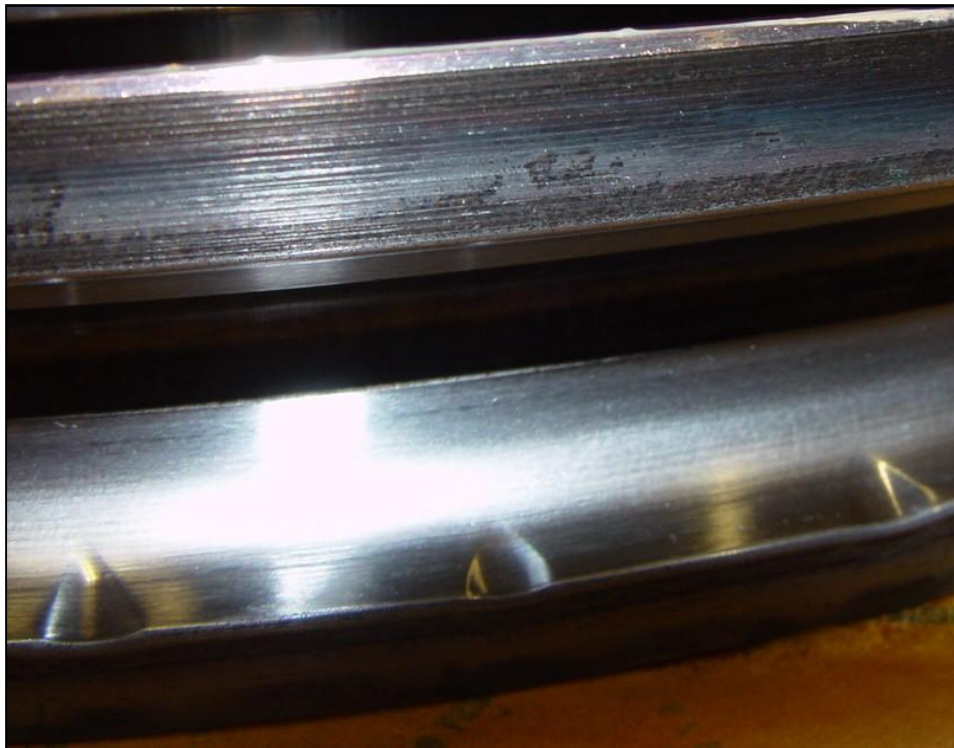
Annotazione:

Da non confondere con deformazioni plastiche da sovraccarico!

carichi ad urto molto elevati – sovraccarico statico



*Danneggiamenti da deformazioni plastiche
Effetto del carico troppo elevato*



Aspetto del danneggiamento:

Deformazioni plastiche delle piste.

Cause del danneggiamento:

Sovraccarico del cuscinetto e superamento delle massime pressioni hertziane ammissibili.

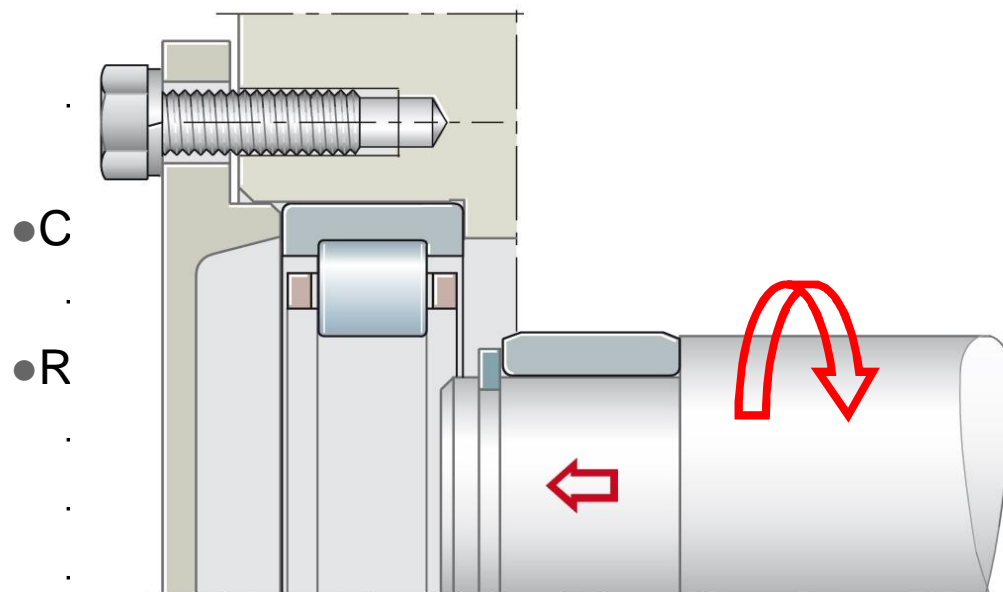
V 1.0 AS 19

danni causati durante il montaggio



Danneggiamenti da deformazioni plastiche Errori di montaggio

- Sintomi



Corpi



***Danneggiamenti da deformazioni plastiche
Errori di montaggio***



Forze di montaggio applicate tramite i corpi volventi



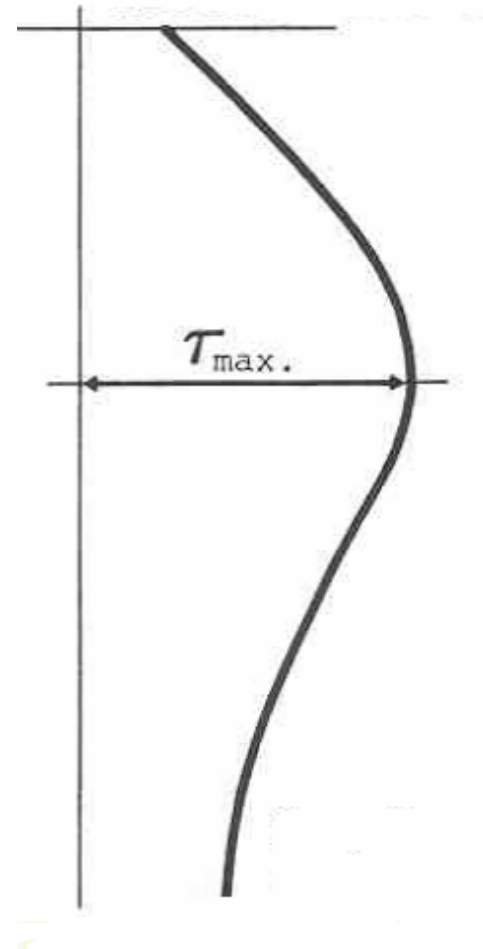
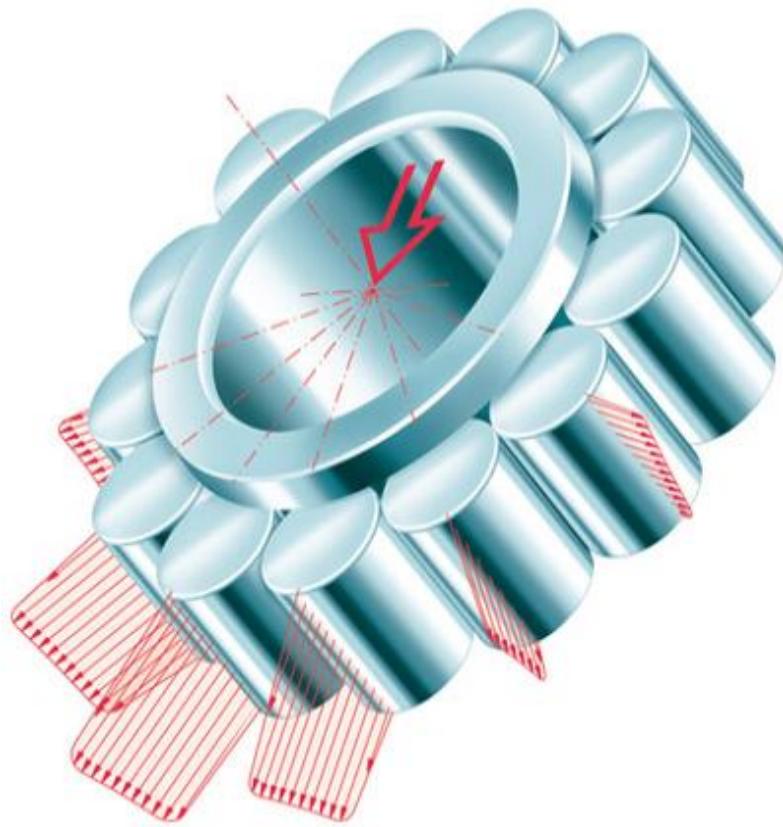
Altri effetti

Slittamenti

Errori sulle sedi – tolleranze di forma e posizione o rigidezza

Corrosione

Passaggio di corrente

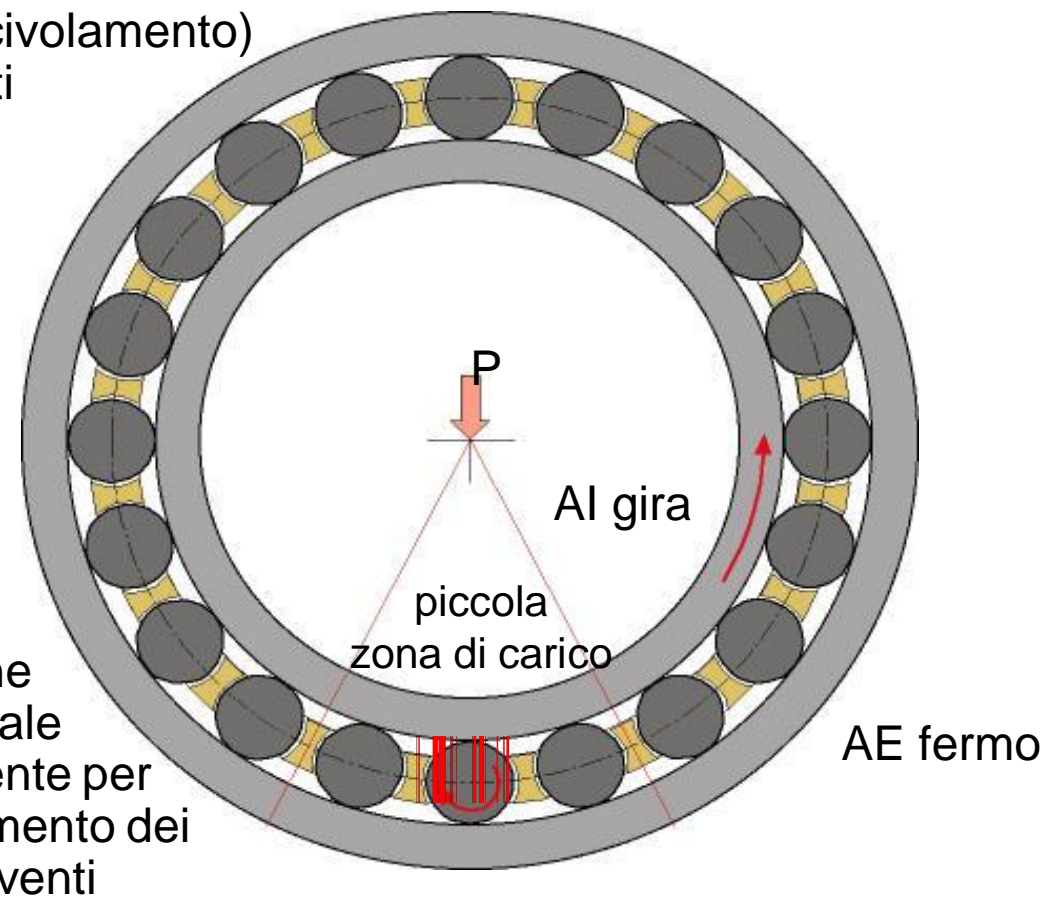


Slittamento per effetto dei bassi carichi



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 $P/C > 0,02$

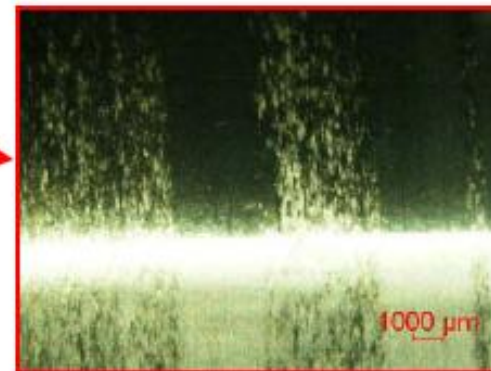


Pressione superficiale insufficiente per l'azionamento dei corpi volventi

Danneggiamenti da slittamento



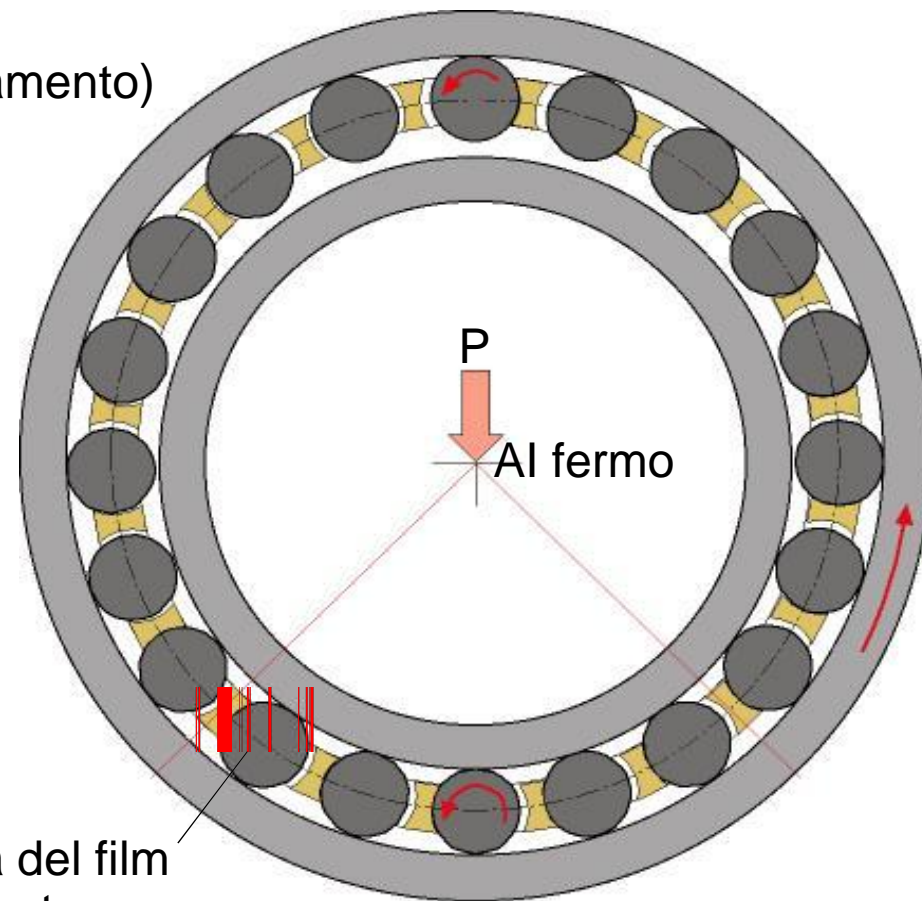
slippage markings



Slittamento per effetto dell'accelerazione

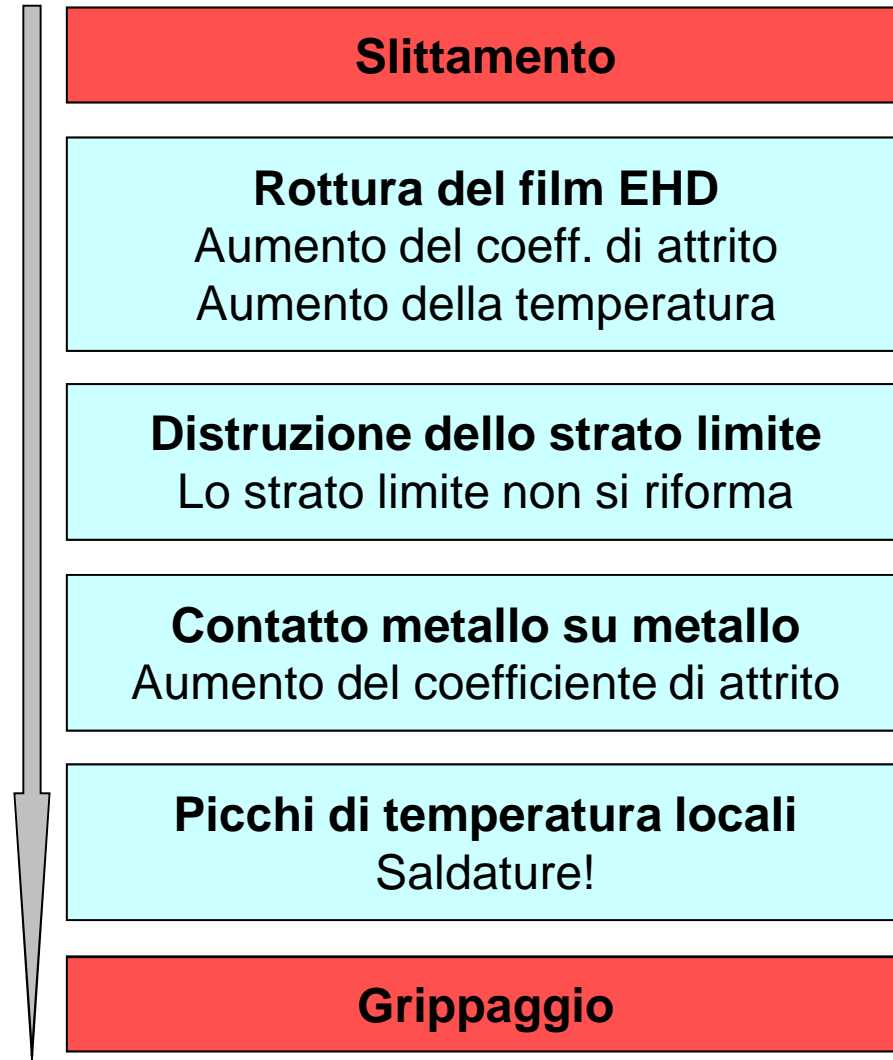


Lo slittamento è lo scorrimento (scivolamento) dei corpi volventi all'ingresso nella zona di carico



Rottura del film lubrificante

Danneggiamenti da slittamento



Errori sulle sedi *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



Corrosione



Ruggine su un cuscinetto nuovo, mai utilizzato, causato da immagazzinamento non appropriato.

Immagazzinare i cuscinetti in ambienti asciutti, a temperatura costante. Rimuovere l'imballaggio solo appena prima del montaggio.



Impronte digitali. Effetto del contatto tra sudore e acciaio standard per cuscinetti.

Formazione di crateri per effetto del passaggio di corrente



Ondulazioni causate dal passaggio costante di corrente
- *Fluting*



Nozioni di base

Carico statico



Capacità di carico e durata

Carico statico – nozioni generali



Si ha un carico statico in caso di

- inattività
- lenti movimenti oscillanti

- velocità pari fino a $n \cdot d_m = 4000 \left[\frac{mm}{min} \right]$

(n=velocità al minuto, dm=diametro medio del cuscinetto)

Commenti:

l'aggettivo "statico" si riferisce alle condizioni d'esercizio del cuscinetto volvente in regime di carico costante o variabile.

I carichi che comportano deformazioni plastiche permanenti sulle piste di rotolamento costituiscono il limite massimo del carico statico.

I solchi o le aree appiattite risultanti non devono compromettere la scorrevolezza e la silenziosità del cuscinetto.

Capacità di carico e durata

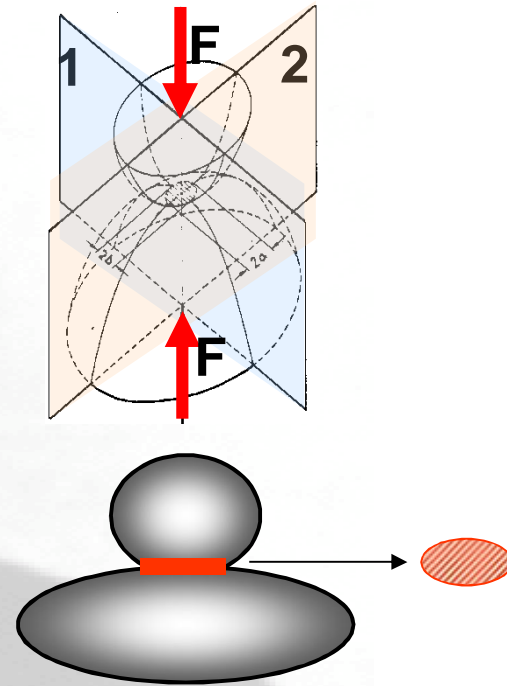
Carico statico – nozioni generali



Test e teoria mostrano l'interazione tra

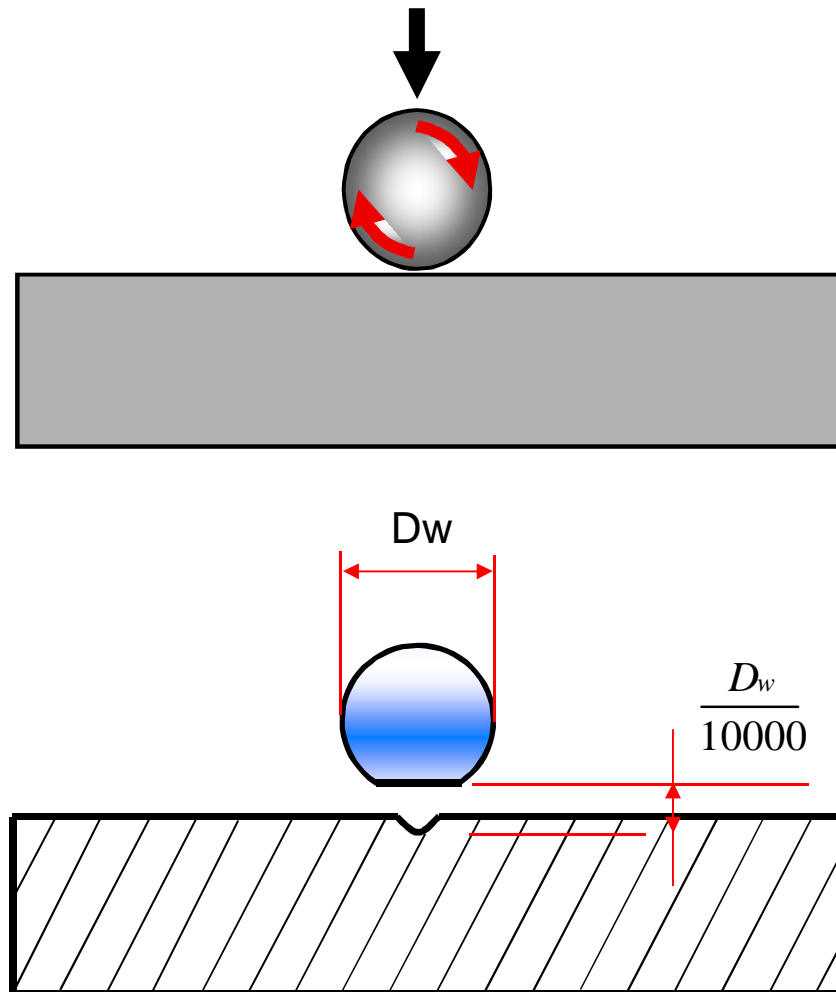
- carico
- rapporti di curvatura
- deformazione plastica

Alla base della verifica statica del cuscinetto, vale la teoria di hertz



Carico statico ammissibile sui corpi volventi

Definizione



La deformazione (plastica) permanente dei corpi volventi e della pista di rotolamento non deve superare lo 0,01% del diametro dei corpi volventi al punto di contatto sottoposto al massimo carico.

- Nessun impatto sulla scorrevolezza
- Nessun impatto sulla durata a fatica.

Per una sfera del diametro di 10 mm, ciò equivale a una deformazione plastica pari a $1\mu\text{m}$ per entrambi i corpi.

Carico statico ammissibile sui corpi volventi

Deformazione totale e pressione di contatto



La deformazione ammissibile totale, pari a 0,01% D_w , equivale all'incirca alle pressioni di contatto ammissibili p_{0per}

$$p_{0per} = 4600 \frac{N}{mm^2} \quad \text{per cuscinetti orientabili a sfere}$$

$$p_{0per} = 4200 \frac{N}{mm^2} \quad \text{per altri cuscinetti a sfere}$$

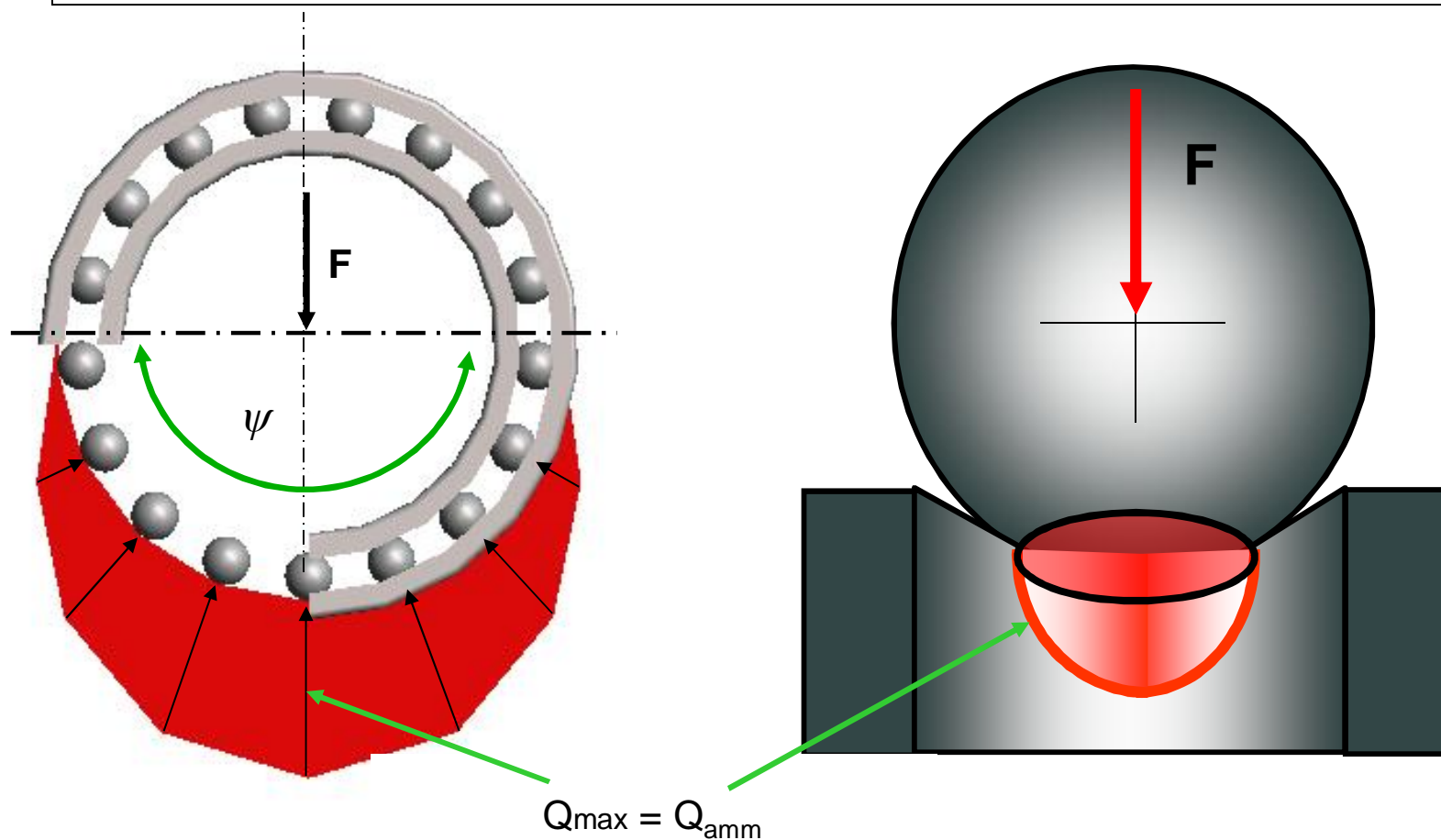
$$p_{0per} = 4000 \frac{N}{mm^2} \quad \text{per tutti i cuscinetti a rulli}$$

Coefficiente di carico statico C_0

Definizione

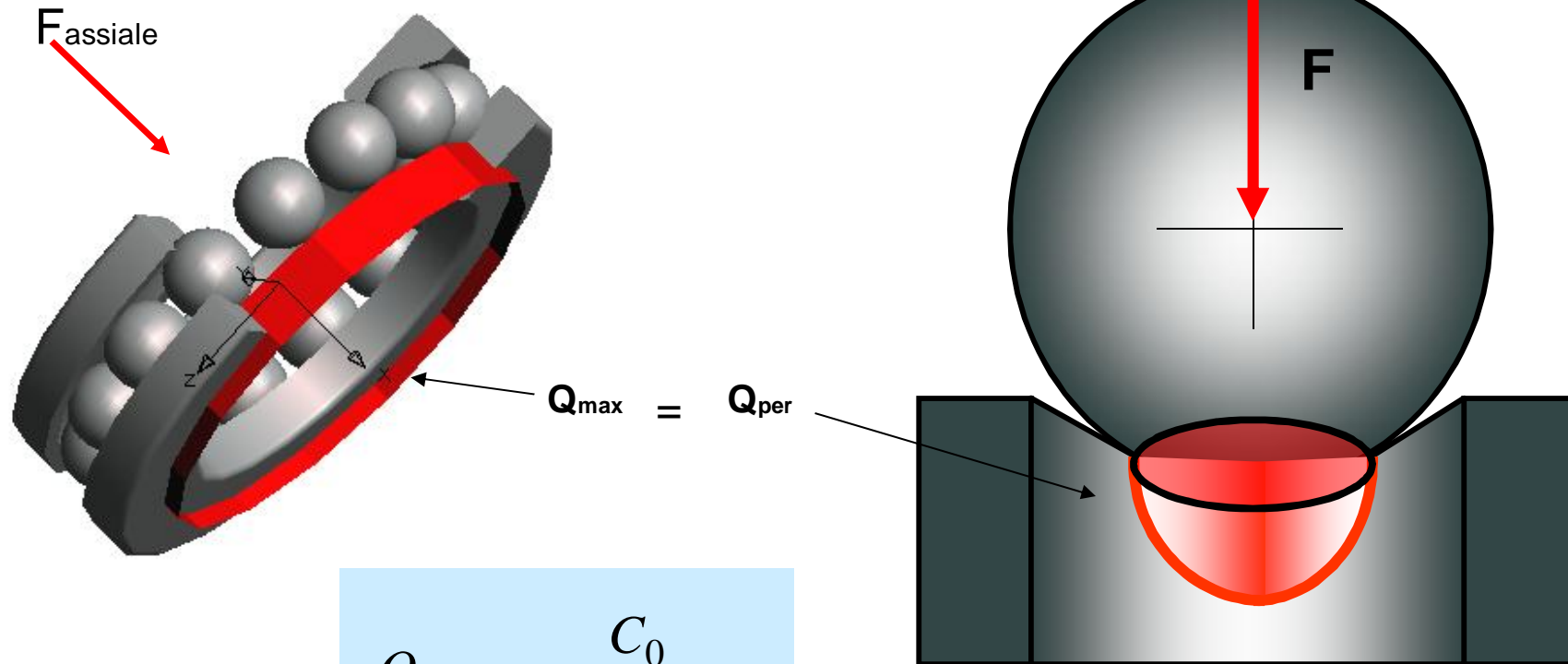


Il coefficiente di carico statico C_0 è il carico in corrispondenza al quale il corpo volvente maggiormente sollecitato è sottoposto alla pressione hertziana massima ammissibile.



Coefficiente di carico statico C_{0a}

Cuscinetti assiali



$$Q_{\max} = \frac{C_0}{z \cdot \sin \alpha_0}$$

Nozioni di base

Attrito e riscaldamento

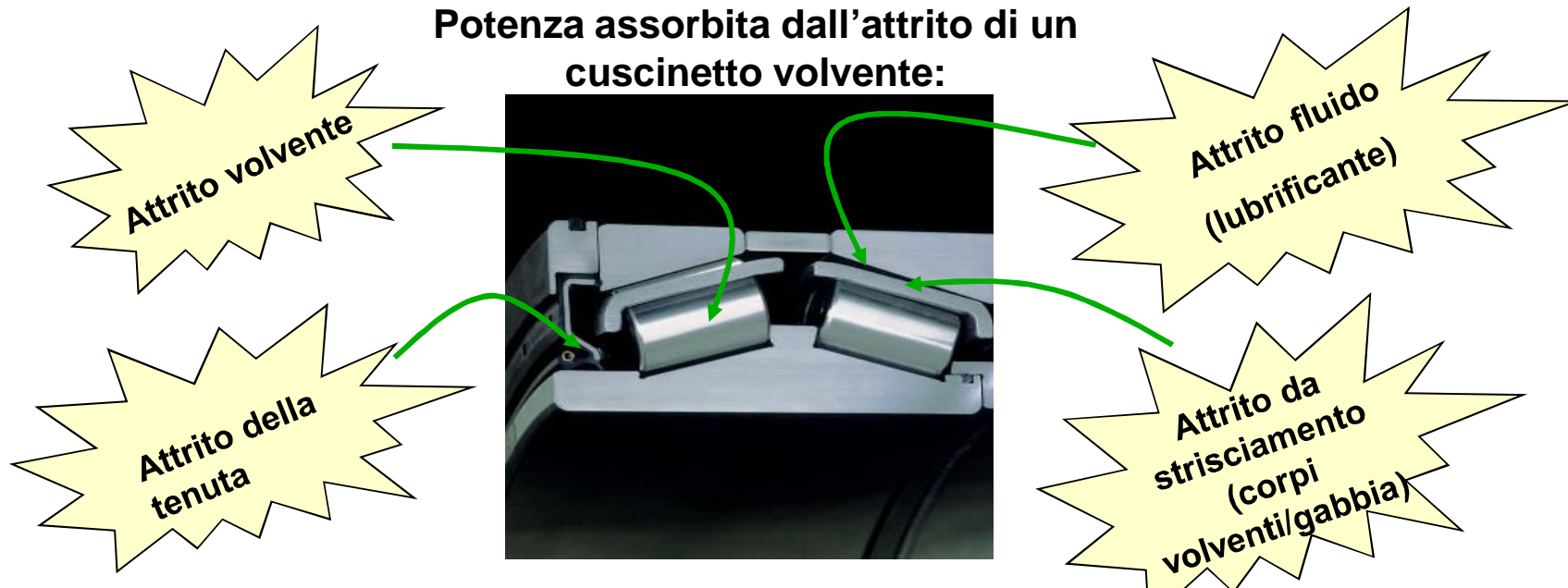


Attrito e riscaldamento

Fattori determinanti



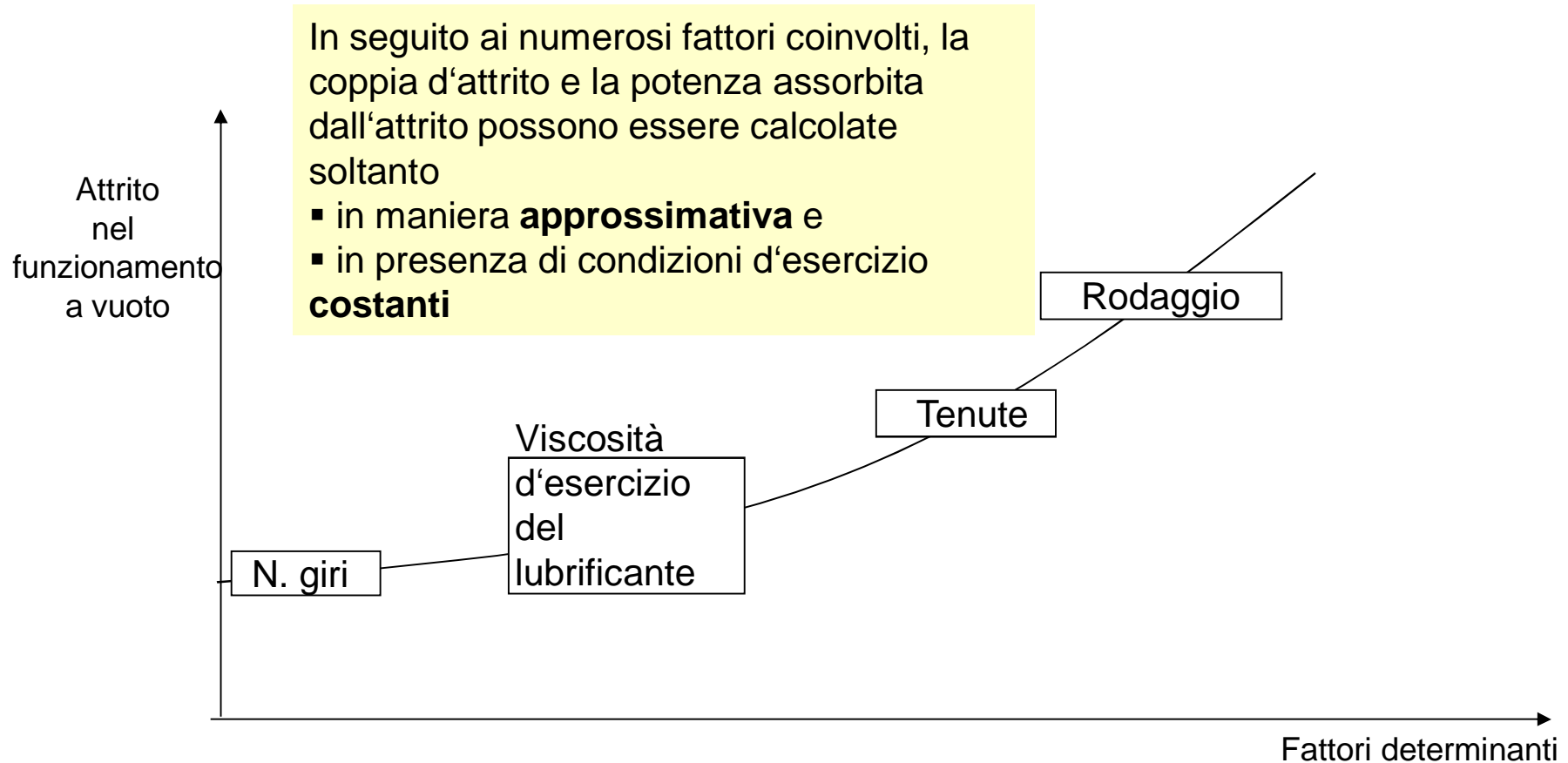
Potenza assorbita dall'attrito di un cuscinetto volvente:



Tipo di attrito	Fattore determinante
Attrito volvente	Entità del carico
Attrito da strisciamento dei corpi volventi Attrito da strisciamento della gabbia	Entità e direzione del carico Numero di giri Stato di lubrificazione Rodaggio
Attrito fluido - Resistenze di flusso -	Tipo e numero di giri Tipo, quantità e viscosità d'esercizio del lubrificante
Attrito della tenuta	Tipo e precarico della tenuta

Attrito e riscaldamento

Attrito durante il funzionamento a vuoto – fattori determinanti



Le condizioni d'esercizio ottimali sono garantite dalla quantità di lubrificante, che comporta una produzione di calore soltanto minima all'interno del cuscinetto.

Attrito e riscaldamento

Smaltimento di calore

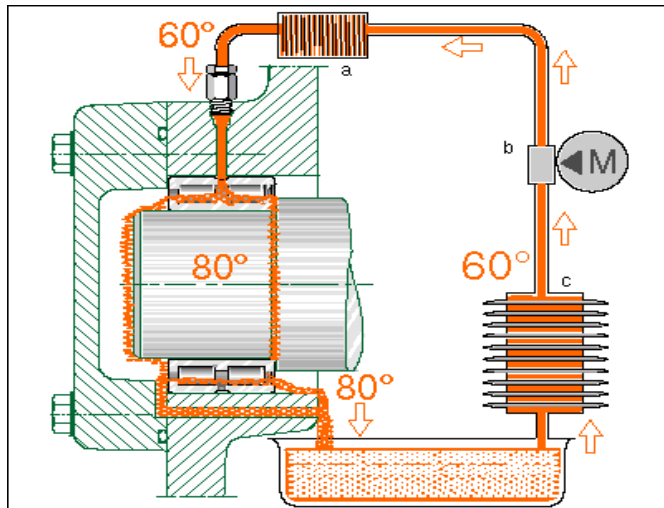


La potenza assorbita dall'attrito si trasforma in calore

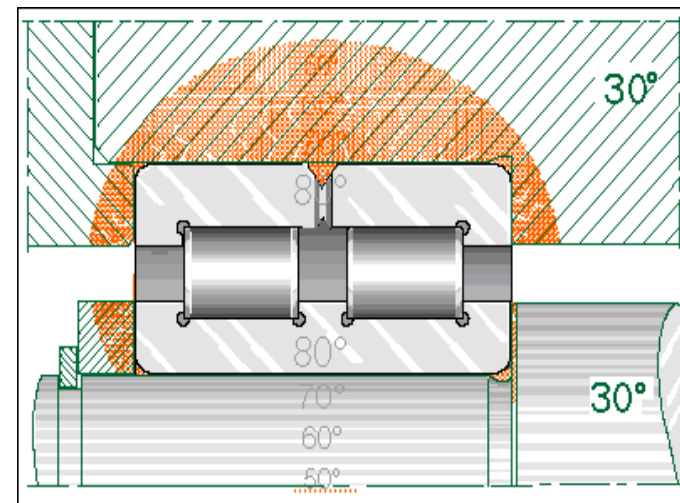


Smaltimento di calore nella sede d'installazione tramite:

Lubrificante



Sedi dei cuscinetti



- In caso di lubrificazione a olio, parte del calore viene smaltito dall'olio stesso.
- E' efficace soprattutto la lubrificazione a ricircolazione con raffreddamento
- Il grasso non sottrae calore!

- Albero
- Alloggiamento
- In funzione della differenza di temperatura tra il cuscinetto e la struttura circostante

Va considerata qualsiasi ulteriore fonte di calore o irraggiamento termico vicina!

Attrito e riscaldamento

Calcolo della potenza assorbita dall'attrito – catalogo HR1



Momento totale d'attrito M_R

$$M_R = M_0 + M_1$$

Potenza assorbita dall'attrito N_R :

$$N_R = M_R \cdot \frac{n}{9550}$$

Momento d'attrito in base alla velocità di rotazione per $v \cdot n \geq 2000$:

$$M_0 = f_0 \cdot (v \cdot n)^{\frac{2}{3}} \cdot d_M^3 \cdot 10^{-7}$$

Momento d'attrito in base alla velocità di rotazione per $v \cdot n < 2000$:

$$M_0 = f_0 \cdot 160 \cdot d_M^3 \cdot 10^{-7}$$

Momento d'attrito in base al carico per cuscinetti a rullini e per cuscinetti a rulli cilindrici:

$$M_1 = f_1 \cdot F \cdot d_M$$

Momento d'attrito in base al carico per cuscinetti a sfere, cuscinetti a rulli conici e cuscinetti orientabili a rulli:

$$M_1 = f_1 \cdot P_1 \cdot d_M$$

M_R	Nmm
Momento totale d'attrito	
M_0	Nmm
Momento d'attrito in base alla velocità di rotazione	
M_1	Nmm
Momento d'attrito in base al carico	
N_R	W
Potenza assorbita dall'attrito	
n	min^{-1}
Velocità di rotazione d'esercizio	
f_0	-
Fattore del cuscinetto per momento d'attrito in base alla velocità di rotazione, vedere <i>Figura 2</i> e tabelle da pagina 57 fino a pagina 59	
f_1	-
Fattore del cuscinetto per momento d'attrito in base al carico, tabelle da pagina 57 fino a pagina 59	
ν	mm^2s^{-1}
Viscosità cinematica del lubrificante alla temperatura d'esercizio. Per il grasso vale la viscosità dell'olio base alla temperatura d'esercizio del cuscinetto	
$F (F_r, F_a)$	N
Carico radiale per i cuscinetti radiali, carico assiale per i cuscinetti assiali	
P_1	N
Carico decisivo per il momento d'attrito, tabella Cuscinetti a sfere, cuscinetti a rulli conici e cuscinetti orientabili a rulli, pagina 60	
d_M	mm
Diametro medio del cuscinetto.	

Attrito e riscaldamento

Fattori f_0 ed f_1

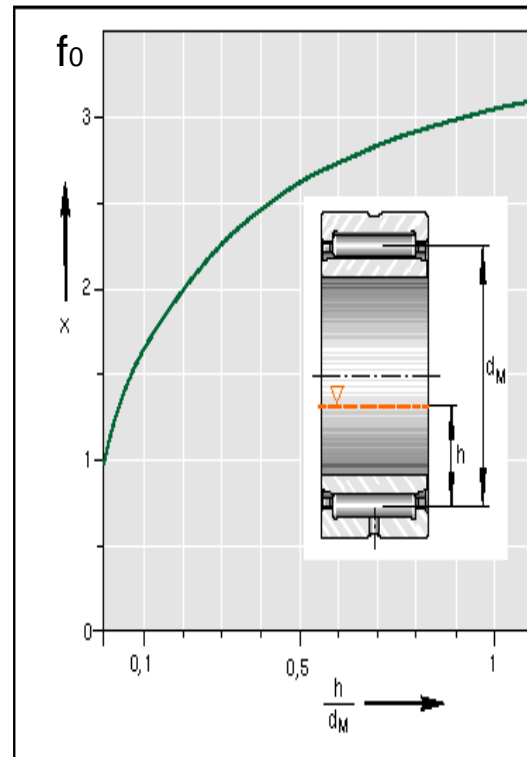


Fattori del cuscinetto f_0 e f_1

Sono valori medi calcolati in base a serie di test conformi a DIN 732-2.

Sono validi per:

- Lubrificazione a grasso per cuscinetti rodati. Se appena ingrassati, il fattore del cuscinetto f_0 potrebbe essere superiore da 2 a 5 volte.
- In caso di lubrificazione a nebbia d'olio, si presuppone uno scarso flusso di lubrificante.



In caso di lubrificazione a bagno d'olio, il livello dell'olio deve arrivare fino alla metà del corpo volvente inferiore. Se il livello dell'olio è maggiore, f_0 potrebbe superare di ben 3 volte il valore indicato nelle tabelle di catalogo.

Attrito e riscaldamento

Calcolo della potenza assorbita dall'attrito – catalogo HR1



Carico determinante per cuscinetti a sfere, cuscinetti a rulli conici e cuscinetti orientabili a rulli

Tipo di cuscinetto	Cuscinetto singolo P_1	Cuscinetti accoppiati P_1
Cuscinetti a sfere	$3,3 \cdot F_a - 0,1 \cdot F_r$	–
Cuscinetti ad una corona di sfere a contatto obliquo	$F_a - 0,1 \cdot F_r$	$1,4 \cdot F_a - 0,1 \cdot F_r$
Cuscinetti a due corone di sfere a contatto obliquo	$1,4 \cdot F_a - 0,1 \cdot F_r$	–
Cuscinetti a quattro punti di contatto	$1,5 \cdot F_a + 3,6 \cdot F_r$	–
Cuscinetti a rulli conici	$2 \cdot Y \cdot F_a$ oppure F_r applicare il valore maggiore	$1,21 \cdot Y \cdot F_a$ oppure F_r applicare il valore maggiore
Cuscinetti orientabili a rulli	$1,6 \cdot F_a/e$ se $F_a/F_r > e$ $F_r \{1 + 0,6 \cdot [F_a/(e \cdot F_r)]^3\}$ se $F_a/F_r \leq e$. Per cuscinetti a rulli cilindrici con carico assiale supplementare aggiungere M_2 al momento d'attrito M_1 : $M = M_0 + M_1 + M_2$	

Attenzione! Per $P_1 \leq F_r$ vale $P_1 = F_r$!

Attrito e riscaldamento

Calcolo della potenza assorbita dall'attrito – catalogo HR1



Cuscinetti a rulli cilindrici caricati assialmente

Per cuscinetti radiali a rulli cilindrici con carico assiale l'attrito di strisciamento causa tra le superfici frontali dei corpi volventi ed i bordi degli anelli un momento d'attrito supplementare M_2 .

Il momento d'attrito complessivo sarà quindi:

$$M_R = M_0 + M_1 + M_2$$

$$M_2 = f_2 \cdot F_a \cdot d_M$$

$$A = k_B \cdot 10^{-3} \cdot d_M^{2,1}$$

Serie costruttive	k_B
SL1818, SL0148	4,5
SL1829, SL0149	11
SL1830, SL1850	17
SL1822	20
LSL1923, ZSL1923	28
SL1923	30
NJ2..-E, NJ22..-E, NUP2..-E, NUP22..-E	18
NJ3..-E, NJ23..-E, NUP3..-E, NUP23..-E	23

- M_R Nmm
Momento totale d'attrito
- M_0 Nmm
Momento d'attrito in base alla velocità di rotazione
- M_1 Nmm
Momento d'attrito in base al carico radiale
- M_2 Nmm
Momento d'attrito in base al carico assiale
- f_2 -
Fattore in base alla serie costruttiva del cuscinetto
- A -
Parametro del cuscinetto, secondo la formula sopra riportata
- F_a N
Carico assiale dinamico del cuscinetto
- k_B -
Fattore in base alla serie costruttiva del cuscinetto
- d_M mm
Diametro medio del cuscinetto $(d + D)/2$.

- f_2 = Fattore del cuscinetto
- F_a = Carico assiale dinamico sul cuscinetto
- A = Parametro del cuscinetto
- ν = Viscosità d'esercizio
- n = Velocità di rotazione d'esercizio
- d_M = Diametro medio del cuscinetto

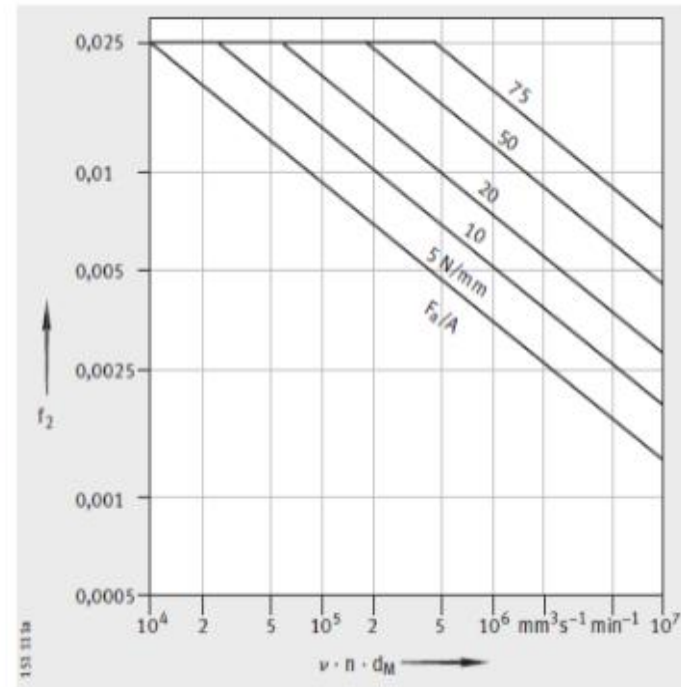
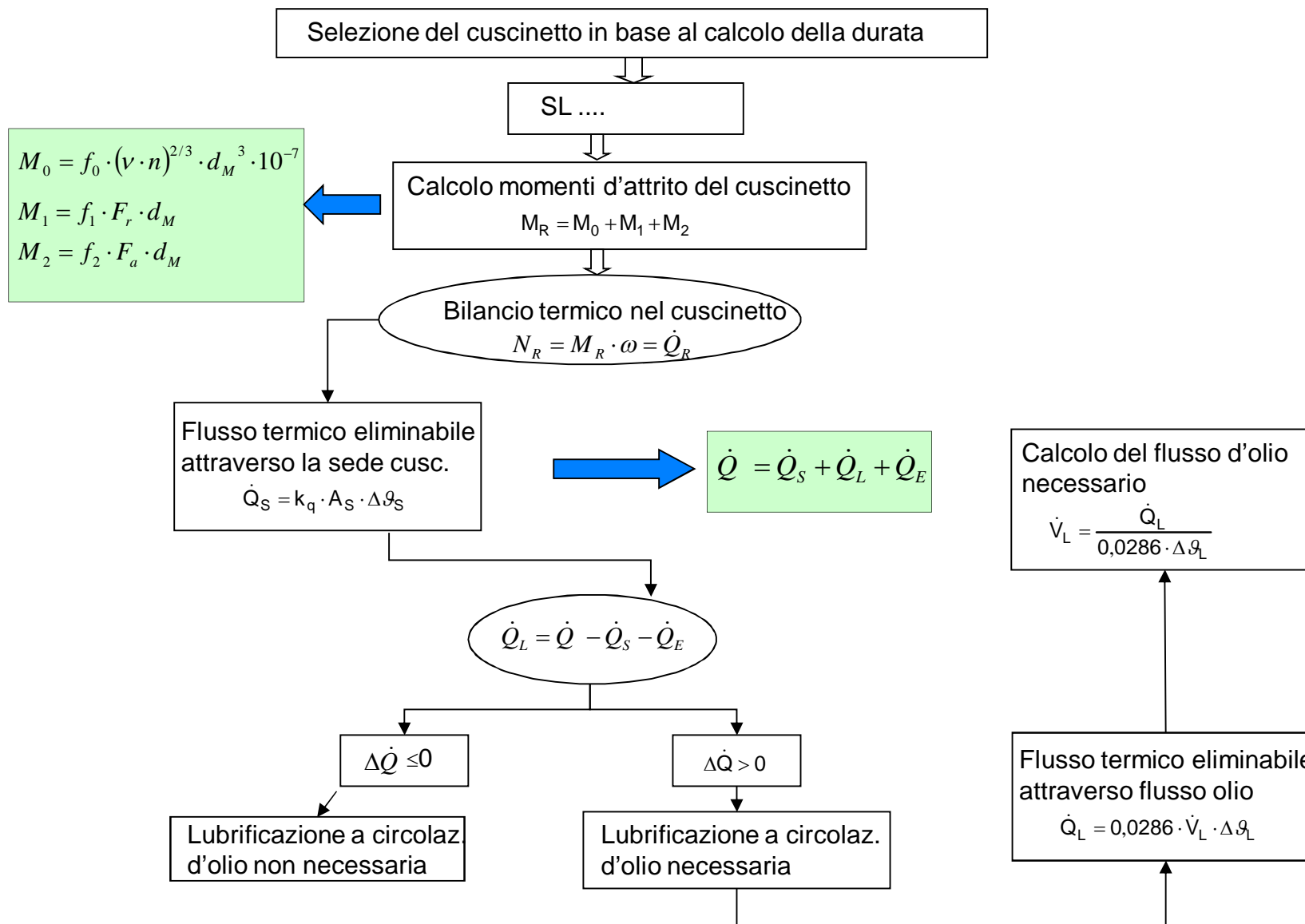


Figura 3
Fattore del cuscinetto f_2 in base al parametro d'esercizio $\nu \cdot n \cdot d_M$

Bilancio termico

Flow-chart



Sottrazione di calore tramite olio lubrificante – catalogo HR1



L'olio lubrificante sottrae calore per attrito dal cuscinetto.

Si possono calcolare:

- il flusso termico \dot{Q}_L , che viene sottratto attraverso il lubrificante,
- la portata di lubrificante necessaria \dot{V}_L .

$$\dot{Q} = 10^{-6} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n \cdot (M_0 + M_1) + \dot{Q}_E$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q} - \dot{Q}_S$$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{Q}_L}{0,0286 \cdot \Delta\vartheta_L}$$

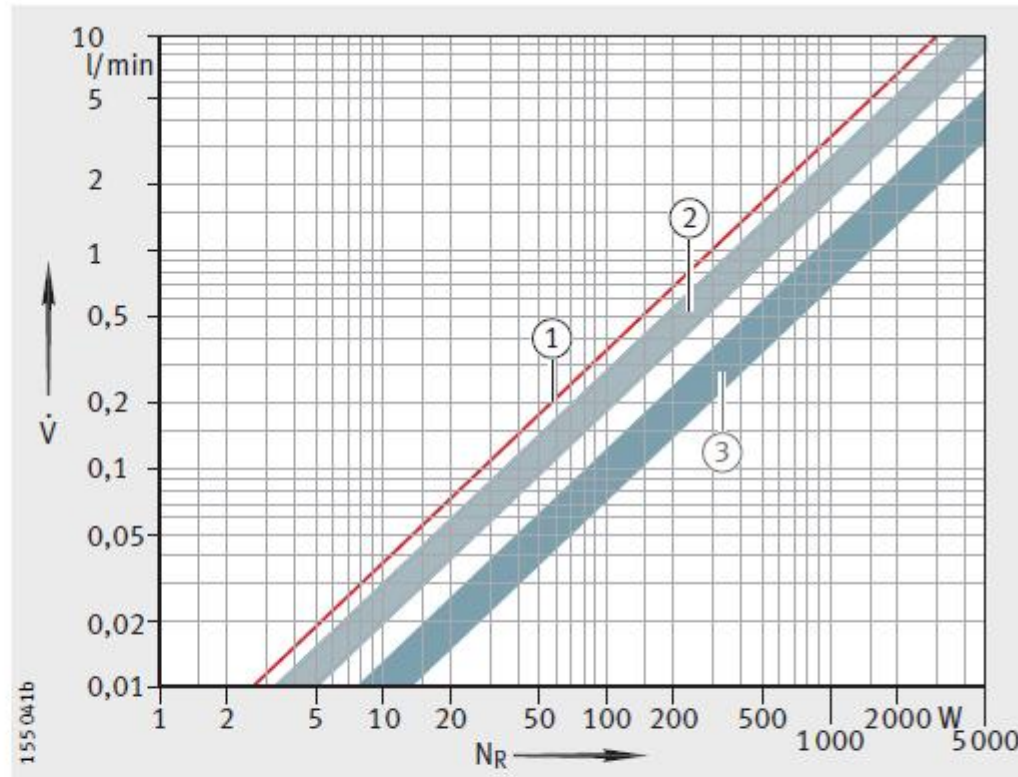
\dot{Q}_L	kW
Flusso termico sottratto dal lubrificante	
\dot{Q}	kW
Flusso termico asportato complessivo	
\dot{Q}_S	kW
Flusso termico sottratto attraverso le superfici delle sedi del cuscinetto	
\dot{Q}_E	kW
Flusso termico per un eventuale riscaldamento esterno	
n	min ⁻¹
Velocità di rotazione d'esercizio o meglio velocità di rotazione equivalente	
M_0	Nmm
Momento d'attrito in base alla velocità di rotazione	
M_1	Nmm
Momento d'attrito in base al carico	
\dot{V}_L	l/min
Portata di lubrificante	
$\Delta\vartheta_L$	K
Differenza della temperatura dell'olio tra entrata ed uscita.	

Sottrazione di calore tramite olio lubrificante – catalogo HR1



- \dot{V} = Portata d'olio
 N_R = Potenza assorbita per attrito
- ① Senza considerare il calore per conduzione, convezione o irraggiamento
 - ② Valori empirici per normali condizioni di raffreddamento
 - ③ Valori empirici per condizioni molto buone di raffreddamento

Valori indicativi per la quantità d'olio di raffreddamento e lubrificazione



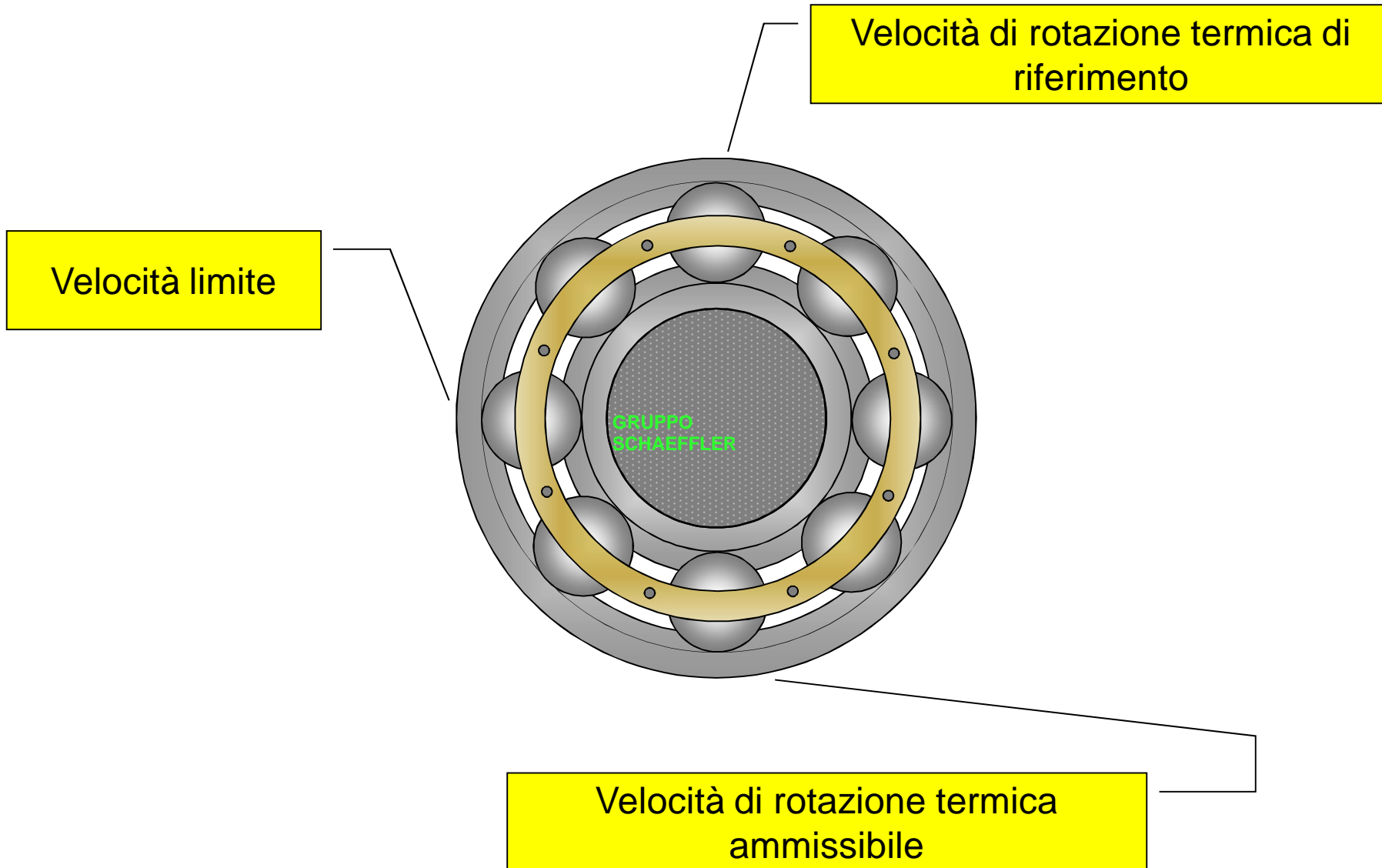
Nozioni di base

Velocità di rotazione



Velocità di rotazione

Velocità di rotazione termica di riferimento e velocità ammissibile, velocità limite



Velocità di rotazione

Velocità di rotazione limite



La velocità limite n_G si basa su dati empirici!
Essa tiene conto di ulteriori criteri quali:

- **scorrevolezza**
- **funzione di tenuta**
- **forze centrifughe**

Attenzione! La velocità di rotazione limite non dev'essere superata neanche in condizioni d'esercizio e di raffreddamento favorevoli!

Velocità di rotazione termica di riferimento

Calcolo secondo DIN 732-1



n_B è la velocità di rotazione termica di riferimento utilizzata come grandezza di confronto per il calcolo della velocità di rotazione termica ammissibile n_{per} .



n_B è la velocità di rotazione alla quale, a condizioni di riferimento predefinite, il cuscinetto volvente raggiunge una temperatura di 70°C (cfr. DIN 732-1 e ISO 15312)



Condizioni d'esercizio secondo DIN 732-1 e ISO 15132			
Temperatura media circostante	$\vartheta_{Ar} = +20^\circ C$	Viscosità d'esercizio	
Temperatura media sull'anello esterno del cuscinetto	$\vartheta_r = +70^\circ C$	Cuscinetti radiali	Cuscinetti assiali
Carico su cuscinetti radiali	$P_{1r} = 0,05 \cdot C_{0r}$	$12 mm^2 s^{-1}$	$24 mm^2 s^{-1}$
Carico su cuscinetti assiali	$P_{1a} = 0,02 \cdot C_{0a}$		
Smaltimento di calore attraverso le sedi del cuscinetto			
	Cuscinetti radiali q_r densità di flusso termico	Cuscinetti assiali q_r densità di flusso termico	
Sede del cuscinetto	$A_r \leq 50000 mm^2$ $q_r = 0,016 [W / mm^2]$	$q_r = 0,020 [W / mm^2]$	
Sede del cuscinetto	$A_r > 50000 mm^2$ $q_r = 0,016 \cdot \left(\frac{A_r}{50000}\right)^{-0,34} [W / mm^2]$	$q_r = 0,020 \cdot \left(\frac{A_r}{50000}\right)^{-0,16} [W / mm^2]$	

Velocità di rotazione termica ammissibile

Bilancio termico – calcoli



Esecuzione – schema di calcolo			
+	\dot{Q}_R	$N_R = M_R \cdot \frac{n}{9550}$	$M_R = M_0 + M_1 + M_2$
			$M_0 = f_0 \cdot (v \cdot n)^{\frac{2}{3}} \cdot d_M^3 \cdot 10^{-7}$ für $v \cdot n \geq 2000$
			$M_0 = f_0 \cdot 160 \cdot d_M^3 \cdot 10^{-7}$ für $v \cdot n < 2000$
			$M_1 = f_1 \cdot F \cdot d_M$
			$M_2 = f_2 \cdot F_a \cdot d_M$
			$A = k_B \cdot 10^{-3} \cdot d_M^{2,1}$
+	\dot{Q}_E	Calore da fonte esterna, es. temperature ambiente elevate	
-	\dot{Q}_S	$\dot{Q}_S = k_q \cdot A_r \cdot \Delta \vartheta_A$	$\dot{Q} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L + \dot{Q}_E$
-	\dot{Q}_L	$\dot{Q}_L = 0,0286 \cdot V_L \cdot \Delta \vartheta_L$	
		$k_L \cdot f_n^{\frac{5}{3}} + k_p \cdot f_n = 1$	$k_L = 10^{-6} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_B \cdot \frac{10^{-7} \cdot f_0 \cdot (v \cdot n_B)^{\frac{2}{3}} \cdot d_M^3}{\dot{Q}}$
			$k_p = 10^{-6} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_B \cdot \frac{f_1 \cdot P_1 \cdot d_M}{\dot{Q}}$
		$n_{zul} = n_B \cdot f_n$	

Questo metodo di calcolo **non vale** per

- Cuscinetti schermati con tenute striscianti, dato che la velocità massima di rotazione viene limitata dalla velocità di strisciamento ammissibile del labbro di tenuta.
- Rotelle e perni folli.
- Cuscinetti rigidi assiali e cuscinetti assiali a sfere a contatto obliquo.
- I cuscinetti con gabbie speciali TBH e T9H consentono di raggiungere velocità più elevate rispetto a quelle calcolate secondo DIN 732-2.

Calcolo della velocità di rotazione termica ammissibile

Attenzione!

La velocità di rotazione termica ammissibile n_{amm} risulta dalla velocità di rotazione di riferimento n_B e dal rapporto di velocità f_n :

$$n_{amm} = n_B \cdot f_n$$

Rispettare la velocità di rotazione limite!

Il rapporto delle velocità di rotazione è dato da *Figura 1*, pagina 64:

$$k_L \cdot f_n^{5/3} + k_p \cdot f_n = 1$$

Nella pratica abituale da $0,01 < k_L < 10$ e $0,01 < k_p < 10$ è possibile calcolare f_n con un calcolo approssimativo:

$$f_n = \frac{490,77}{1 + 498,78 \cdot k_L^{0,599} + 852,88 \cdot k_p^{0,963} - 504,5 \cdot k_L^{0,055} \cdot k_p^{0,832}}$$

Sottrazione di calore attraverso le superfici di contatto del cuscinetto \dot{Q}_S , *Figura 2*, pagina 64:

$$\dot{Q}_S = k_q \cdot A_r \cdot \Delta\theta_A$$

Sottrazione di calore tramite il lubrificante \dot{Q}_L :

$$\dot{Q}_L = 0,0286 \frac{\text{kW}}{\text{l/min} \cdot \text{K}} \cdot \dot{V}_L \cdot \Delta\theta_L$$

Flusso termico complessivo \dot{Q} :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L + \dot{Q}_E$$

Parametro di lubrificazione k_L :

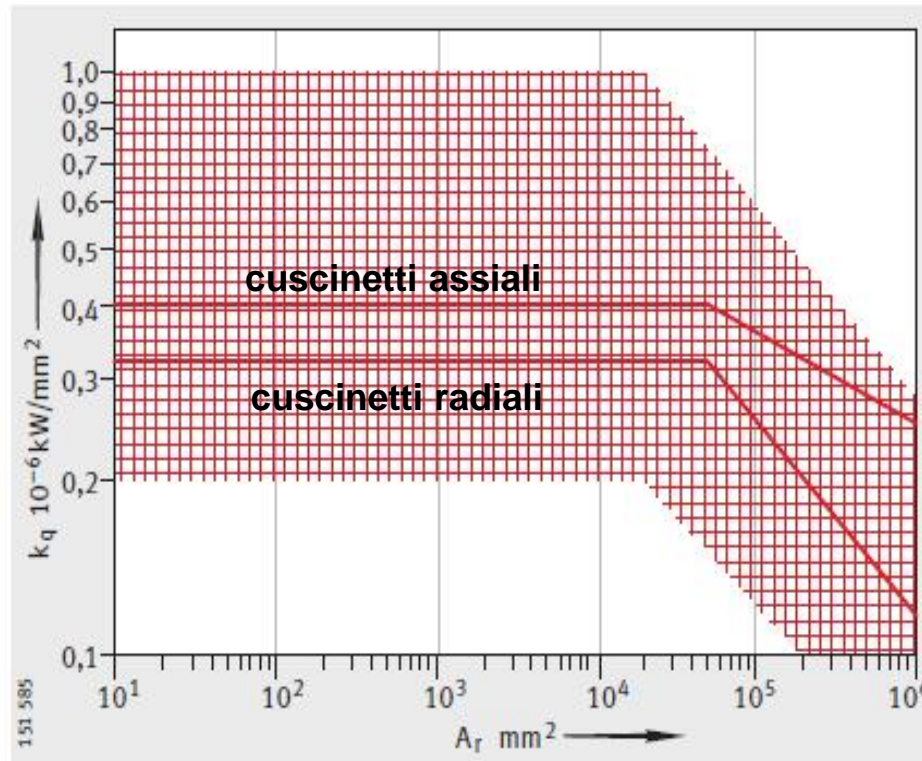
$$k_L = 10^{-6} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_B \cdot \frac{10^{-7} \cdot f_0 \cdot (v \cdot n_B)^2 \cdot d_M^3}{\dot{Q}}$$

Parametro di carico k_p :

$$k_p = 10^{-6} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_B \cdot \frac{f_1 \cdot P_1 \cdot d_M}{\dot{Q}}$$

Velocità di rotazione termica ammissibile

Bilancio termico – Nomogrammi di calcolo



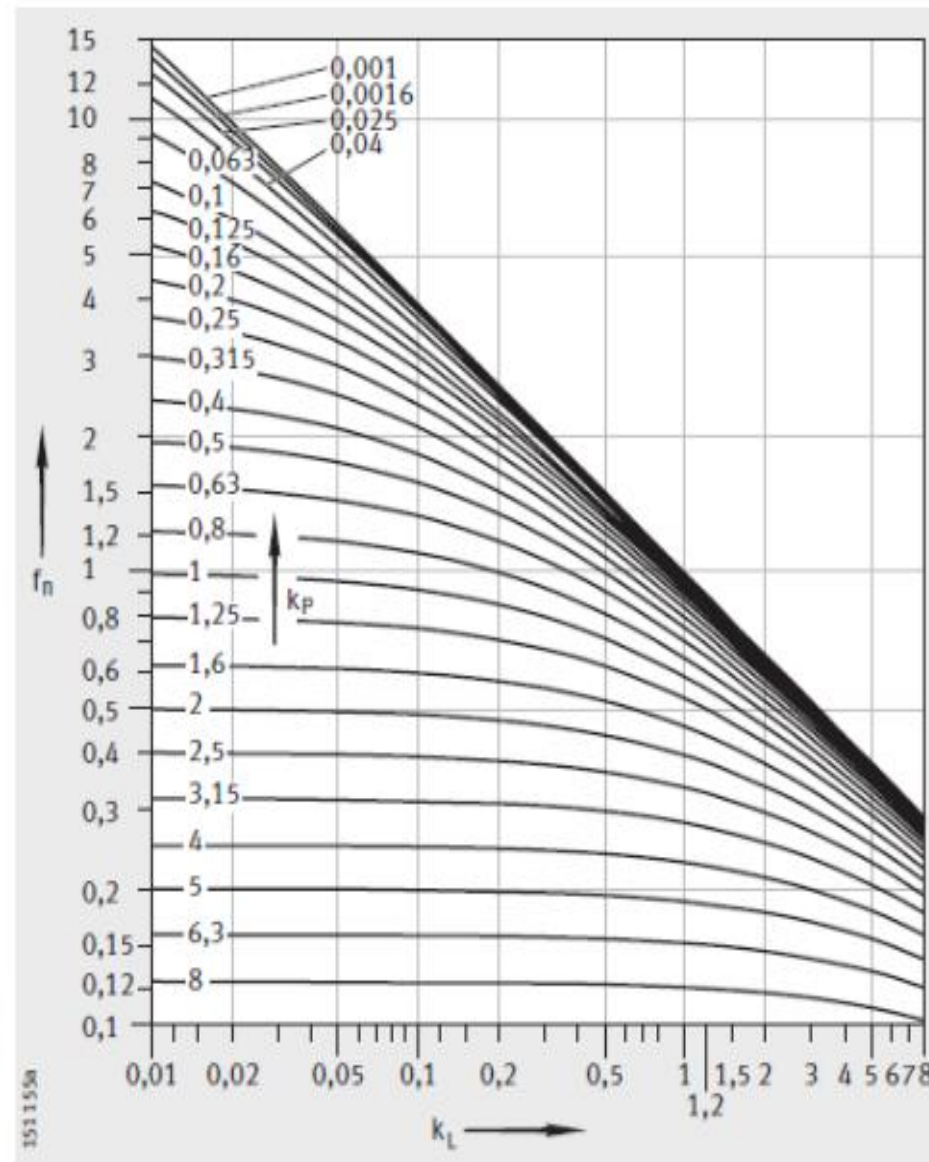
k_q = Coefficiente di conduzione termica
 A_r = Sede del cuscinetto

**Sigle,
 unità di misura e significati**

A_r mm^2
 Sede del cuscinetto per:
 cuscinetti radiali $A_r = \pi \times B \times (D + d)$
 cuscinetti assiali $A_r = \pi/2 \times (D^2 - d^2)$
 cuscinetti a rulli conici $A_r = \pi \times T \times (D + d)$
 cuscinetti assiali orientabili a rulli $A_r = \pi/4 \times (D^2 + d_1^2 - D_1^2 - d^2)$

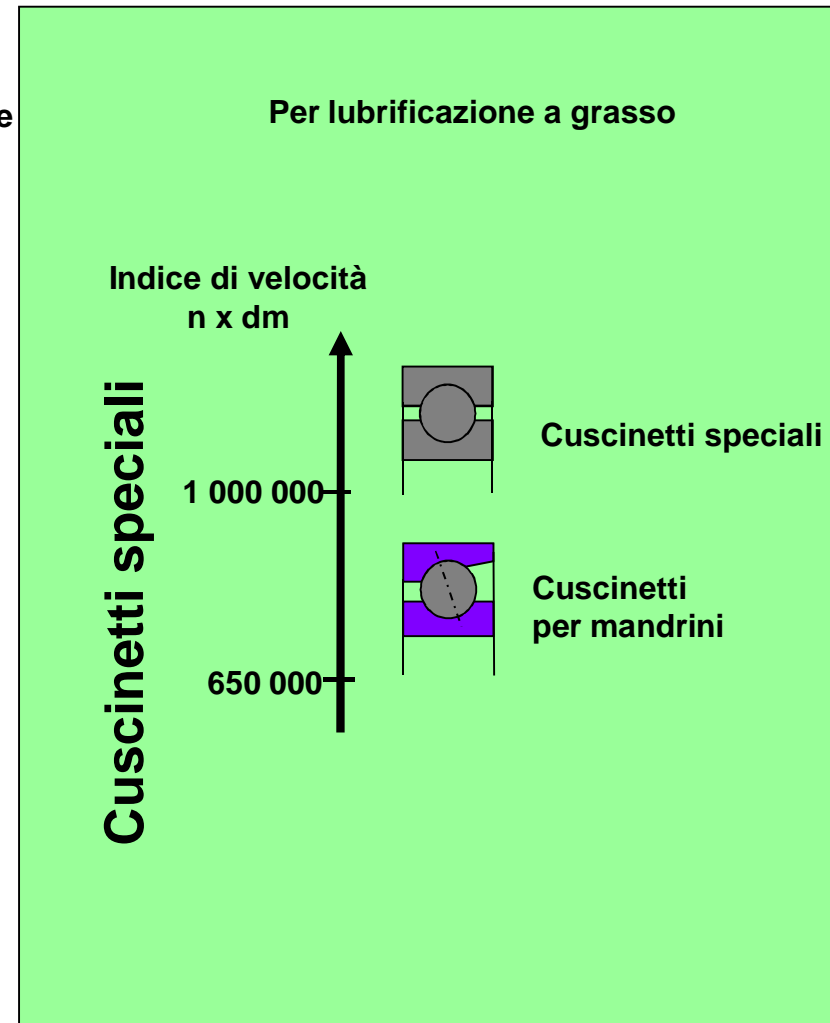
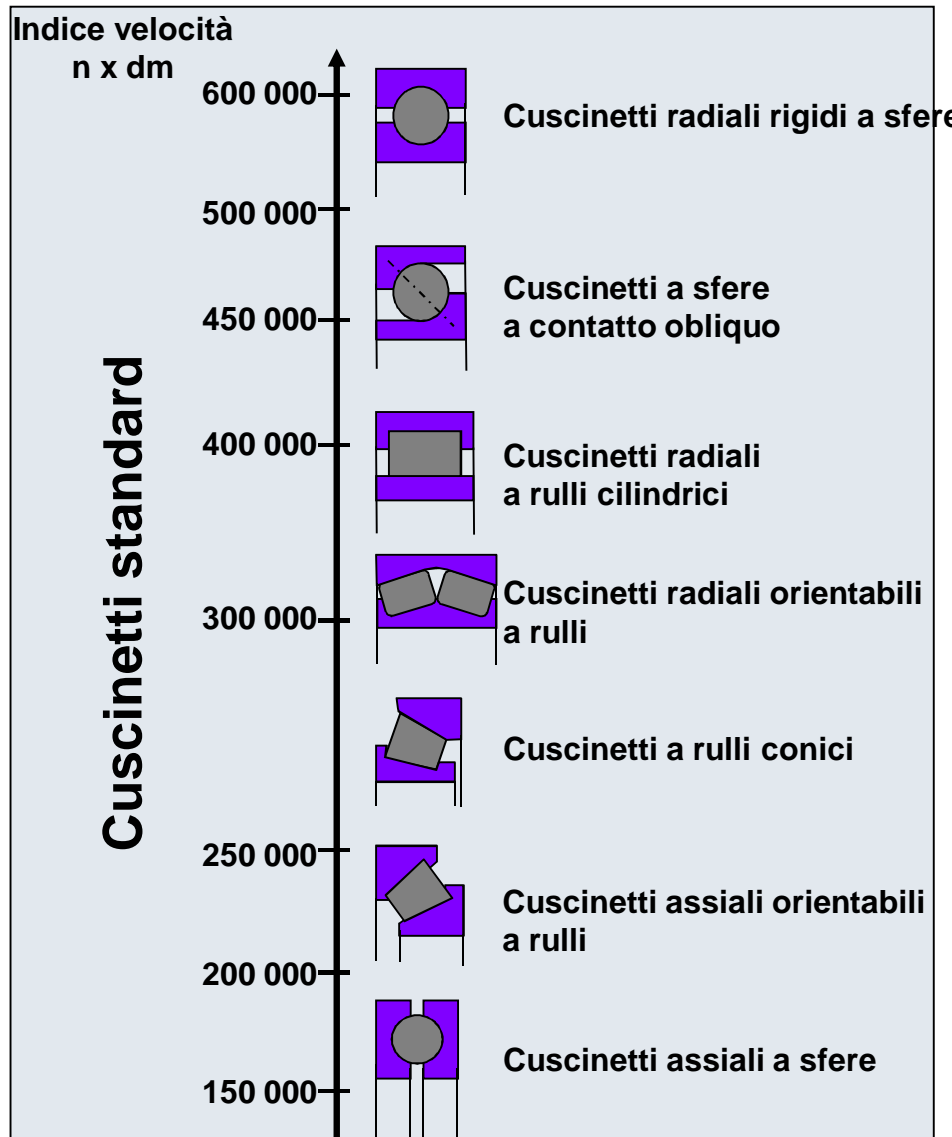
Velocità di rotazione termica ammissibile

Bilancio termico – Nomogrammi di calcolo

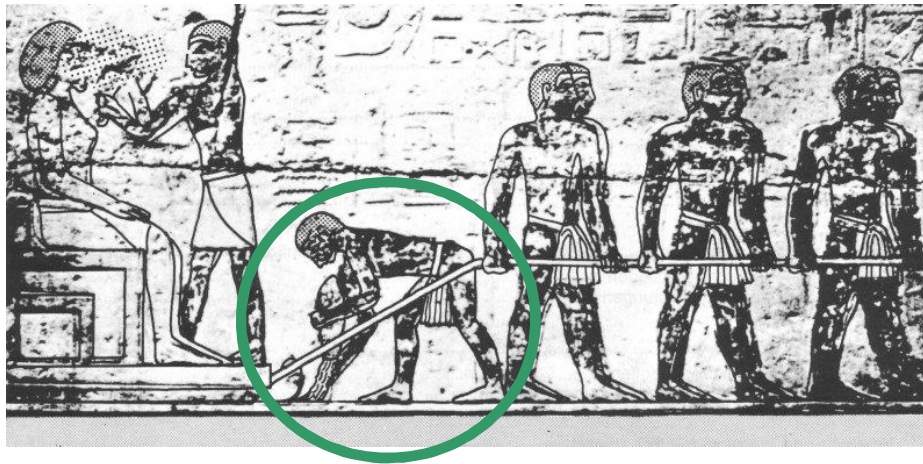


f_n = Rapporto della velocità di rotazione
 k_l = Parametro di lubrificazione
 k_p = Parametro di carico

Indice di velocità

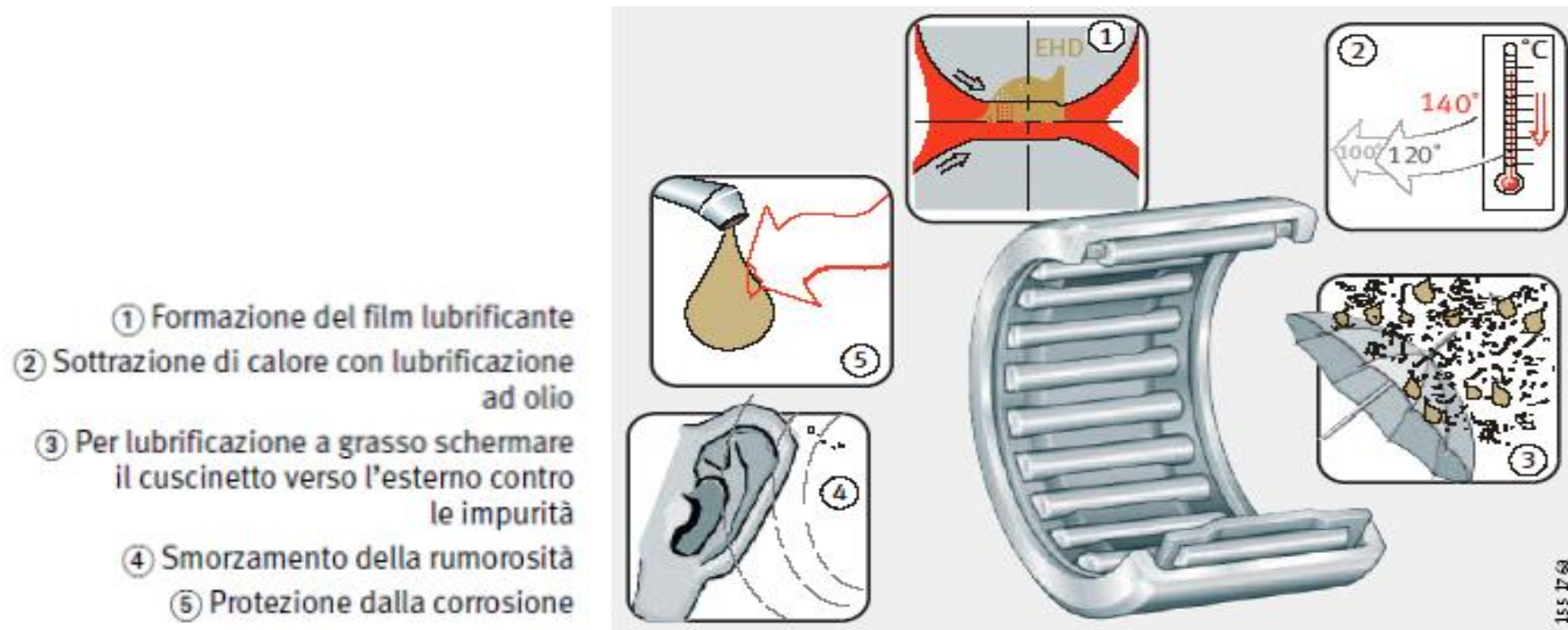


Nozioni base di tribologia

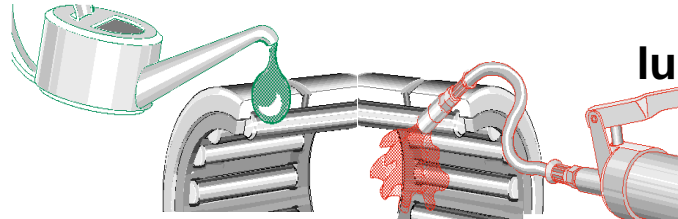


A cosa serve la lubrificazione

- Formare nelle zone di contatto tra due corpi una pellicola di una sostanza (lubrificante) che contrasti attrito ed usura
- Proteggere dalla corrosione
- Ridurre la rumorosità (attutire urti e vibrazioni)



lubrificazione ad olio



lubrificazione a grasso

- ↻ possibilità di smaltimento di calore dal cuscinetto
- ↻ asportazione di particelle causate dall'usura o di impurità
- ⊗ sistema di tenuta più costoso
- ⊗ sistema di adduzione più costoso

Vantaggi

- ↻ effetto deposito
- ↻ azione di tenuta

Svantaggi

- ⊗ nessun smaltimento di calore tramite il lubrificante
- ⊗ nessuna asportazione di particelle generate dall'usura o di impurità

Scelta del tipo lubrificante

Valutare:

le condizioni di esercizio

-temperatura, carico, velocità di rotazione

la forma costruttiva e la dimensione del cuscinetto

-contatto lineare, contatto puntuale, materiale degli elementi rotanti e delle gabbie, geometria sfavorevole al continuo rifornimento di lubrificante

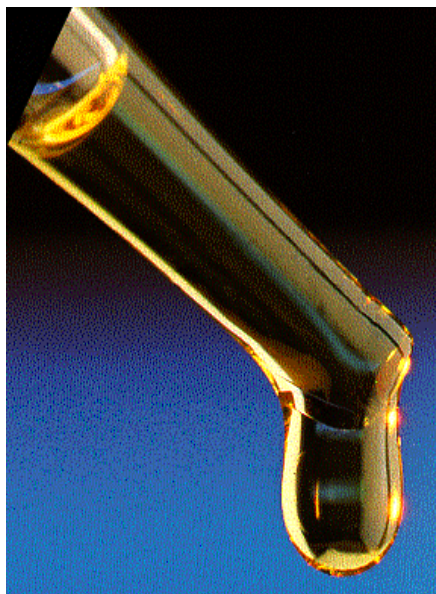
la costruzione circostante

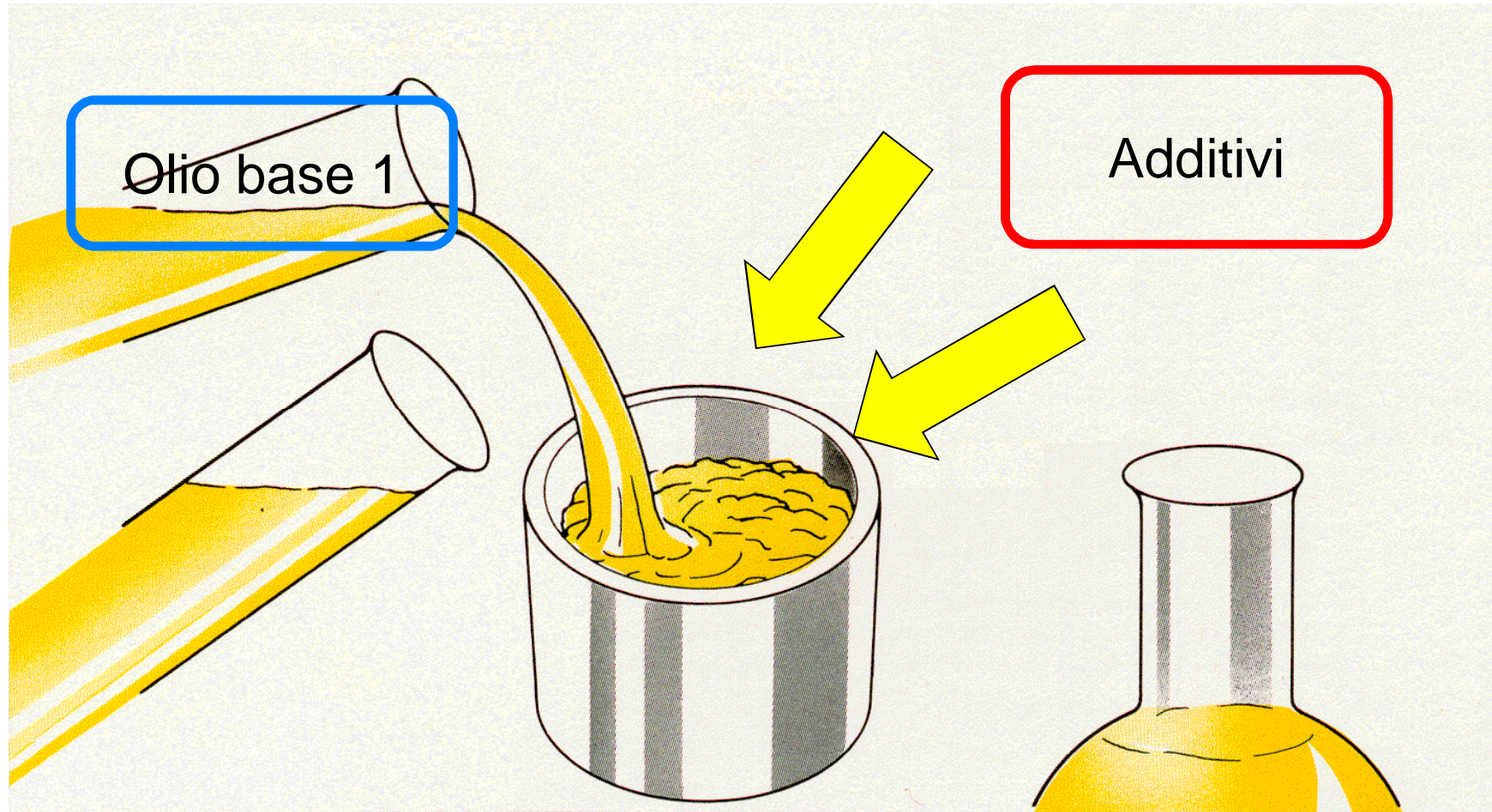
-aperto all'ambiente, compatibilità con materiale anelli di tenuta e con eventuali liquidi di esercizio, situazioni climatiche (umidità, acqua salata, estremo freddo o estremo caldo), oscillazioni/vibrazioni, urti

i condotti di lubrificazione

-lunghezza e geometria dei condotti, compatibilità con materiale, pompe

Oli lubrificanti



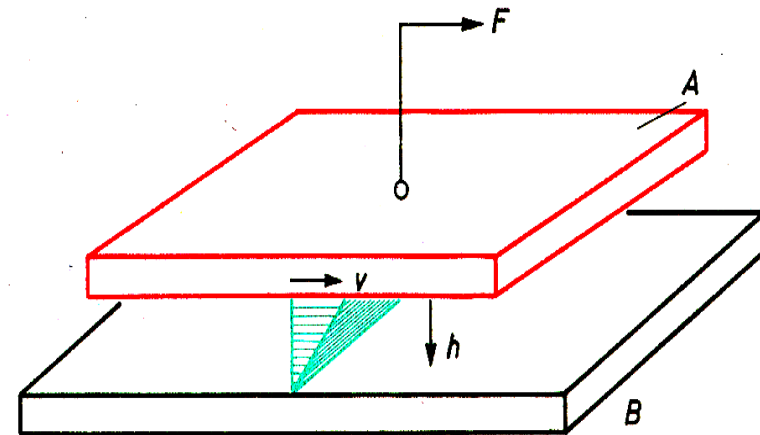


Quelle: SKF

Resistenza per attrito NEWTONIANA:

$$F_R = \eta \times A \times \frac{dv}{dh}$$

viscosità dinamica [mPa x s]



Viscosità cinematica:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

[mm²/s]

ρ - densità

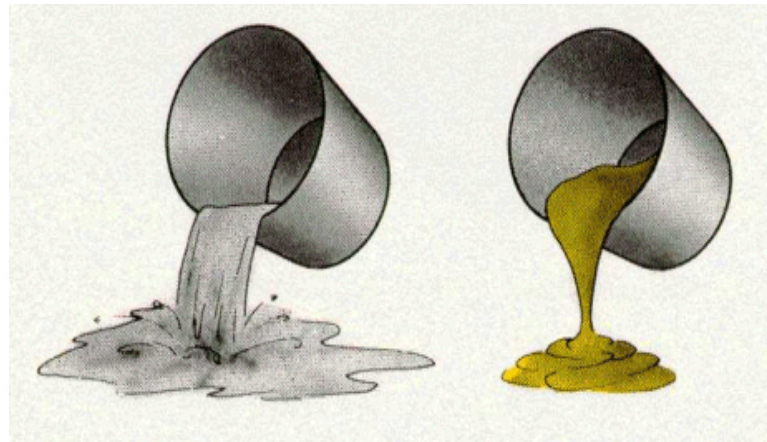
Nozioni base - Viscosità



La viscosità viene normalmente misurata ricorrendo a viscosimetri nei quali il lubrificante viene fatto scendere, per effetto del proprio peso, attraverso un tubo capillare. La viscosità è intuitivamente collegabile al tempo impiegato da una certa quantità di liquido per passare attraverso il capillare.

Unità pratiche di viscosità :
gradi Saybold (USA), Redwood (GB) ed Engler (Europa continentale)

Bassa
viscosità



Alta
viscosità



acqua

melassa



Per la maggior parte dei liquidi, la viscosità è inversamente proporzionale alla temperatura.

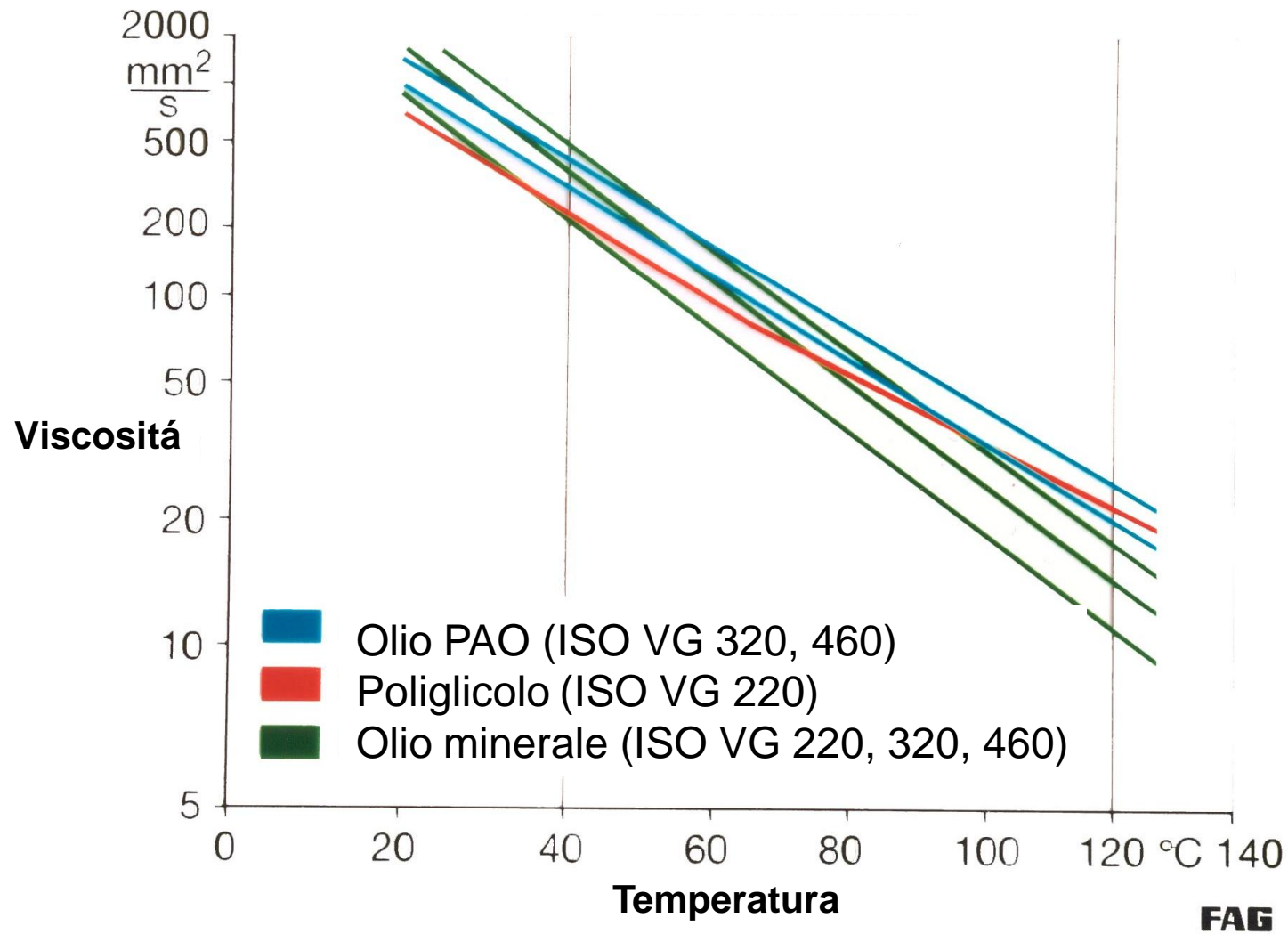
Oli lubrificanti – Viscosità ISO



Viscosity grade ISO	Kinematic viscosity at 40°C mm ² /s	Limits of the kinematic viscosity at 40°C mm ² /s	
		min.	max.
2	2.2	1.98	2.42
3	3.3	2.97	3.63
5	4.6	4.14	5.06
7	6.8	6.12	7.48
10	10	9.0	11.0
15	15	13.5	16.5
22	22	19.8	24.2
32	32	28.8	35.2
46	46	41.4	50.6
68	68	61.2	74.8
100	100	90.0	110.0
150	150	135.0	165.0
220	220	198.0	242.0
320	320	288.0	352.0
460	460	414.0	506.0
680	680	612.0	748.0
1000	1000	900.0	1100.0
1500	1500	1350.0	1650.0

ISOVG (DIN 51 519)	approx. correlation to the previous DIN 51502	kinematic viscosity at					approx. correlation to	
		20°C	40°C	50°C	Engler °E	100°C	engine oil	gear oil
		mm ² /s	mm ² /s	mm ² /s		mm ² /s	SAE	SAE
5	2	8 (1,7 E)	5	4	1,3	1,5		
7	4	12 (2E)	7	5	1,4	2		
10	9	21 (3E)	10	8	1,7	2,5		
15	-	34	15	11	1,9	3,5	5W	
22		55	22	15	2,3	4,5		
32	16	88	32	21	3	5,5	10W	70W 75W
46	25	137	46	30	4	6,5	15W	
	36						20W	
68	49	219	68	43	6	8,5	20	80W
100	68	345	100	61	8	11	30	
150	92	550	150	90	12	15	40	85W
220	114							
	144	865	220	125	16	19	50	90
320	169	1 340	320	180	24	24		
460	225	2 060	460	250	33	30		140
680	324	3 270	680	360	47	40		
1 000		5 170	1 000	510	67	50		
1 500		8 400	1 500	740	98	65		250

Andamento V – T di diversi oli



La viscosità dell'olio lubrificante cambia in funzione della pressione nell'area di contatto volvente

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha p}$$

η = viscosità dinamica [mPas] alla pressione p

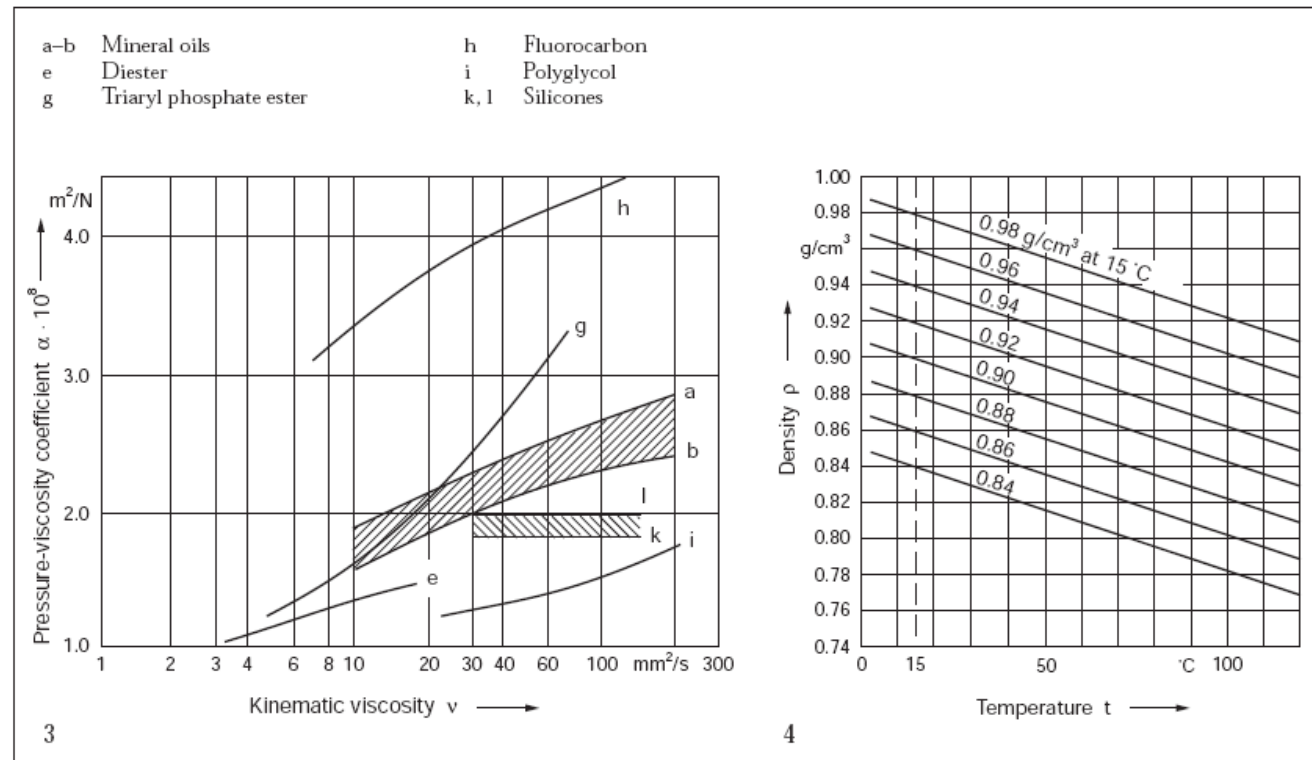
η_0 = viscosità dinamica [mPas] alla pressione atmosferica

$e = 2,71828$

α = coefficiente viscosità pressione [mm²/N]
normalmente 0,01- 0,02 [mm²/N]

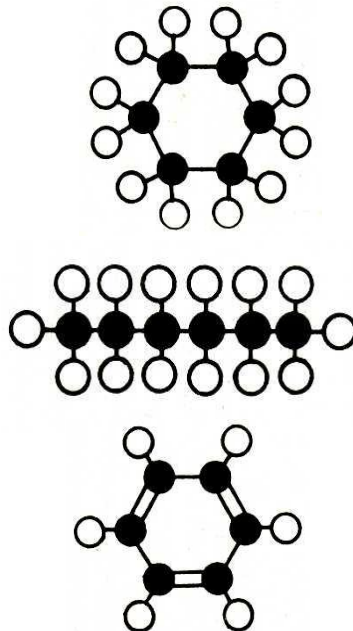
p = pressione [N/mm²]

- 3: Pressure-viscosity coefficient α as a function of kinematic viscosity ν , for pressures from 0 to 2000 bar
4: Density ρ of mineral oils as a function of temperature t



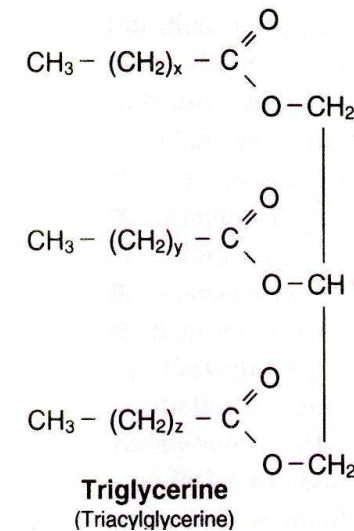
Oli minerali

- naphthenic based
- paraffin-based
- aromatic



Oli sintetici

- synthetic hydrocarbon (SHC)
- ester oil (E)
- polyglycol oil (PG)
- silicone oil (SI)
- alkoxyfluoroether oil (PFAE)



Oli animali e vegetali

- rape oil
- olive oil etc

Compatibilità

Attenzione!

Prima dell'applicazione degli oli lubrificanti controllare la compatibilità del lubrificante con le materie plastiche, con i materiali delle tenute (elastomeri) e con i metalli leggeri e non ferrosi!

Eseguire le prove in condizioni dinamiche e alla temperatura d'esercizio!

Verificare sempre la compatibilità degli oli e chiedere informazioni al produttore di lubrificante!

Miscibilità

Evitare possibilmente di mescolare diversi oli. I diversi additivi possono causare interazioni indesiderate.

Nella norma si possono mescolare diversi oli a base minerale della stessa classificazione, ad esempio HLP e HLP.

Le viscosità non devono differenziarsi per più di una classe ISO-VG.

Principali additivi

EP (pressioni estreme)

Riduzione attrito

Antiusura

Anticorrosione

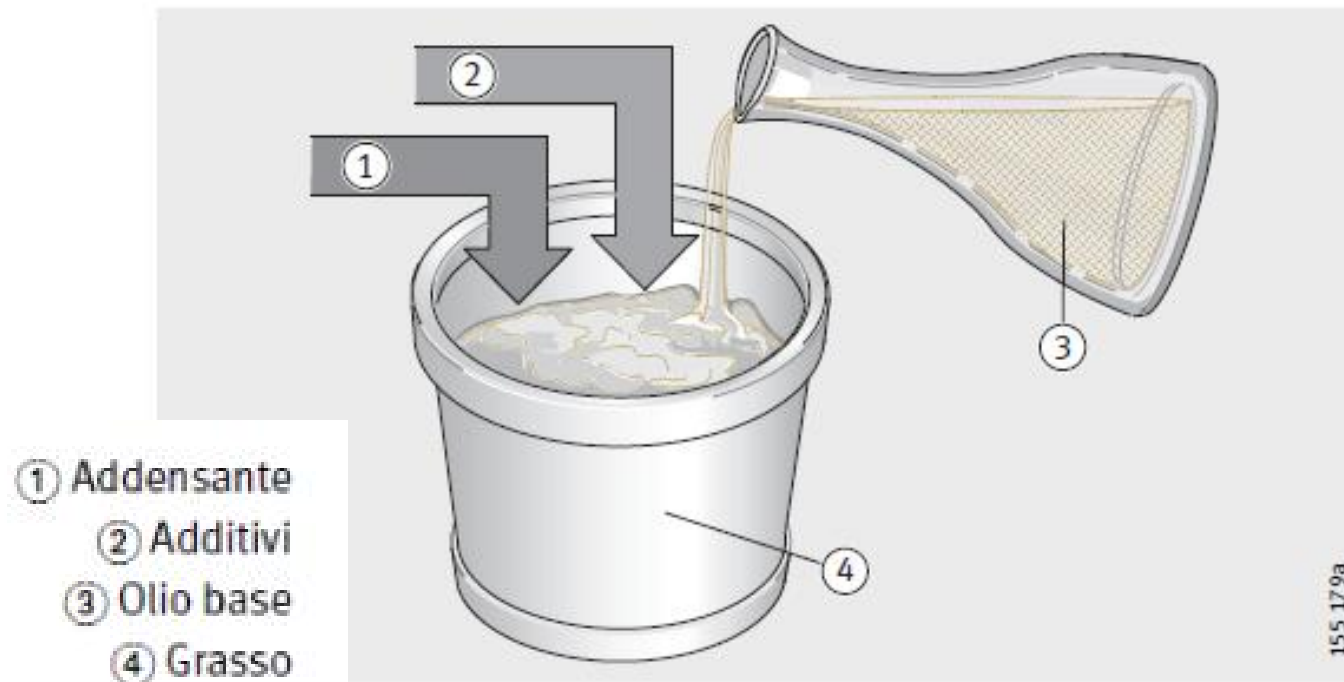
Inibitore di invecchiamento

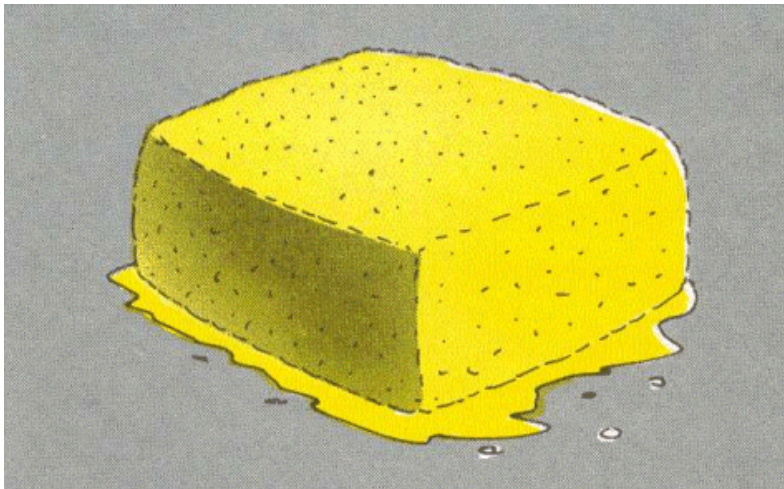
Adesività



Grassi lubrificanti





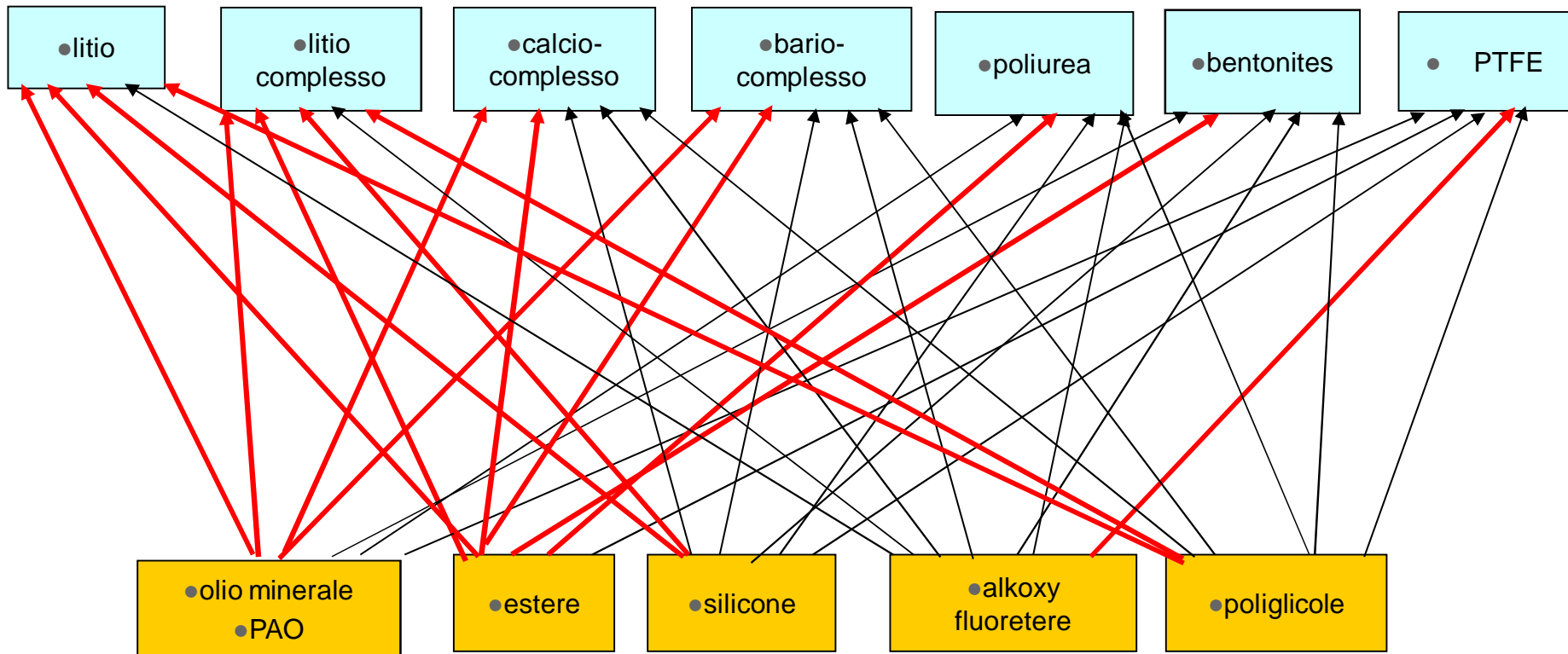


L'addensante trattiene l'olio base
come una spugna



L'olio è rilasciato per effetto
della pressione o della gravità

Tipi di addensante



Tipi di olio base

Lubrificazione a grasso – criteri per la selezione del grasso

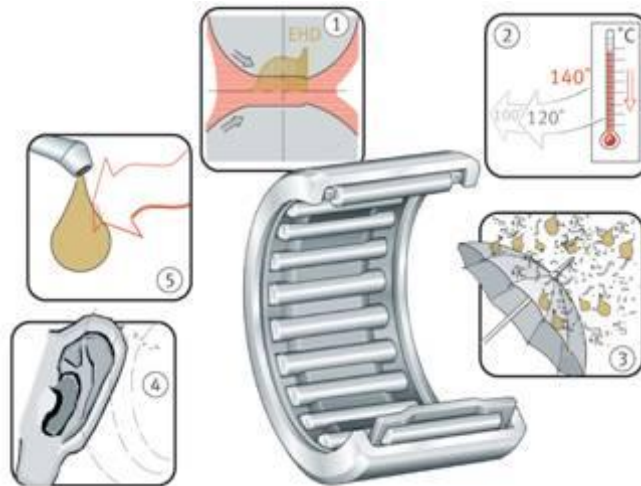


La scelta del tipo di grasso avviene in funzione di

- tipo di cuscinetto
- velocità di rotazione
- temperatura
- carico
- costi

e delle condizioni ambientali

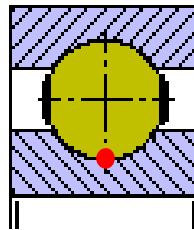
nel rispetto delle normative di legge e dei parametri applicativi.



Lubrificazione a grasso – criterio: tipo di cuscinetto



Contatto puntiforme

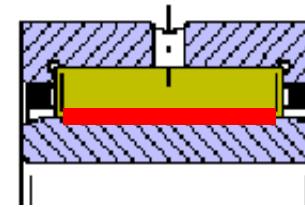


Sollecitazione grasso:



basso consumo
di grasso

Contatto lineare



consumo elevato e
costante di grasso

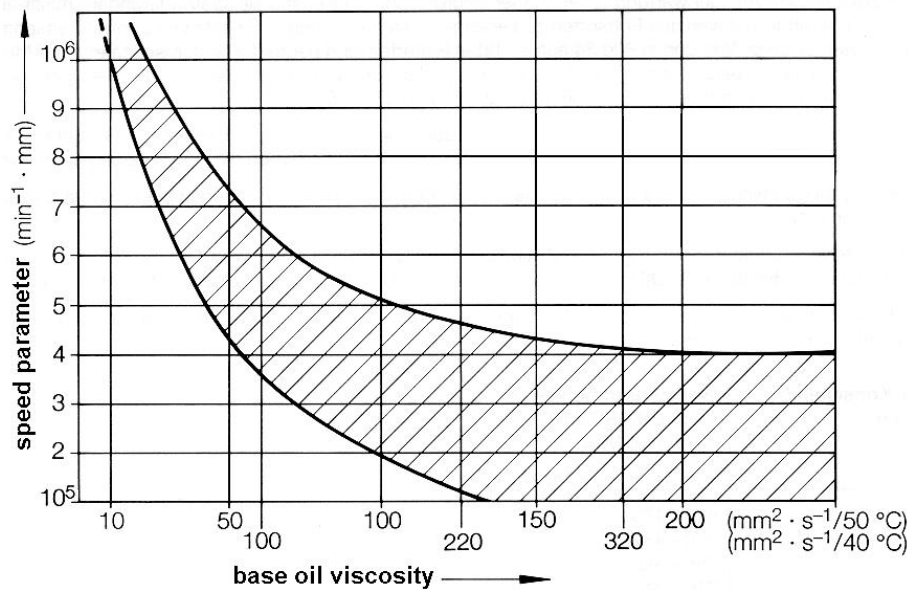
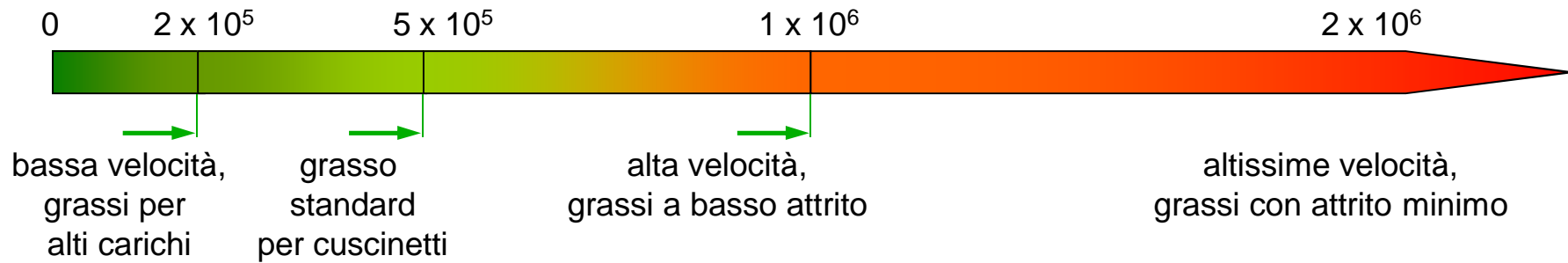
Parametri tipici dei grassi lubrificanti:

Viscosità olio base	ISO VG 68 - ISO VG 100	ISO VG 150 - ISO VG 220 (460)
Additivi	Antinvecchiamento (AO)	Additivi ad alta pressione (EP), antinvecchiamento (AO)
Denominazione secondo DIN 51825	K3	KP2

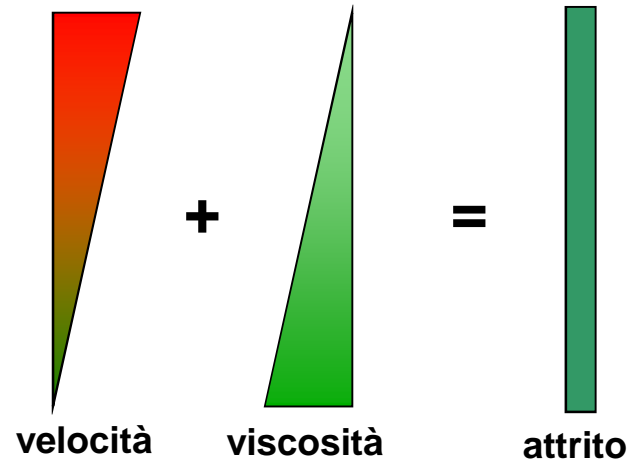
Lubrificazione a grasso – criterio: velocità di rotazione



parametro di velocità $n \times d_M$ in $\text{min}^{-1} \times \text{mm}$



attrito = f (velocità, viscosità)



Lubrificazione a grasso – criterio: temperatura

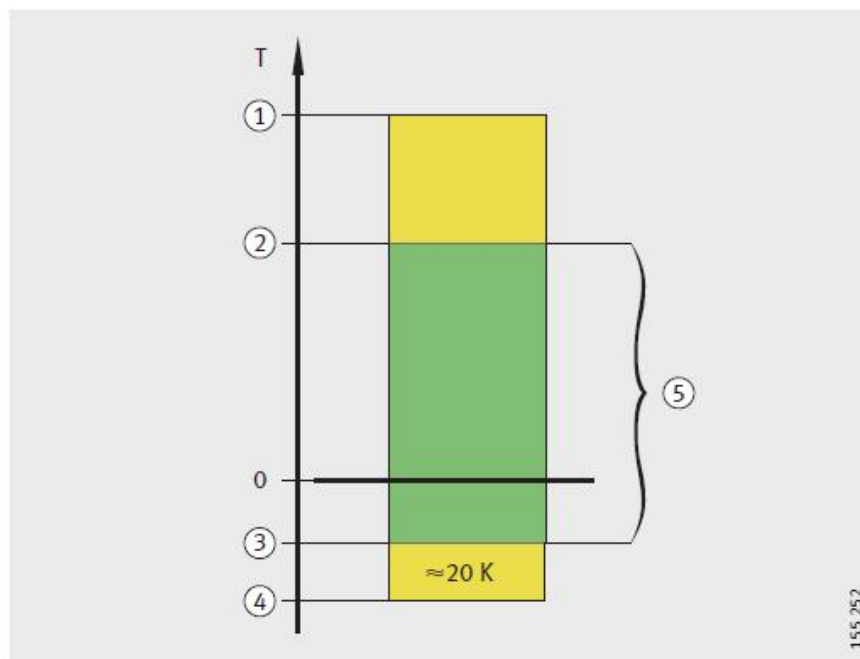


In caso di temperature basse i grassi rilasciano poco olio base.
Di conseguenza può verificarsi una mancanza di lubrificazione.

La temperatura continua limite superiore $T_{\text{limite, sup.}}$ non deve essere superata, se si vuole evitare una riduzione della durata d'utilizzo del grasso dovuto alla temperatura.

- ① Temperatura d'utilizzo superiore secondo il produttore del grasso
- ② $T_{\text{limite, sup.}}$
- ③ $T_{\text{limite, inf.}}$
- ④ Temperatura d'utilizzo inferiore secondo il produttore del grasso
- ⑤ Campo di applicazione standard

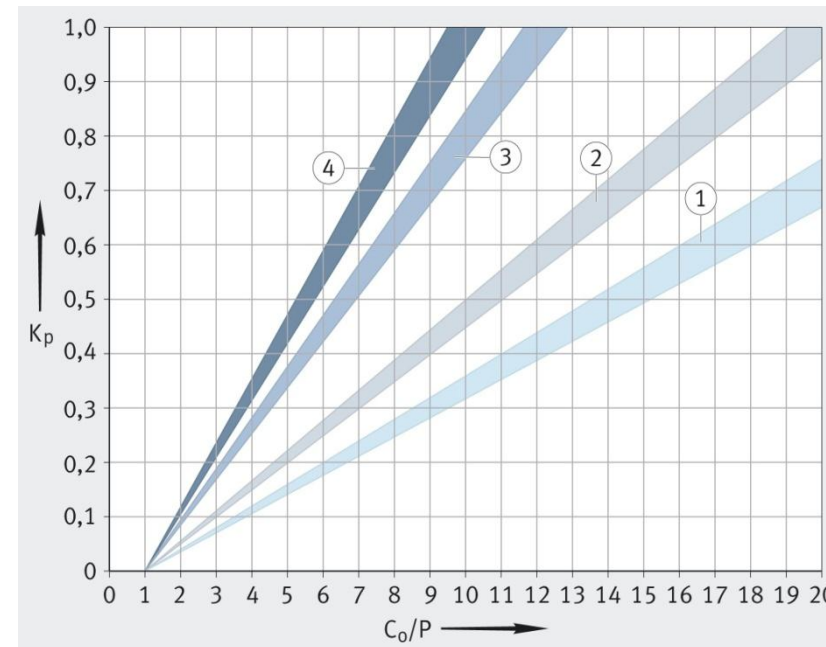
Campo della temperatura d'esercizio



Lubrificazione a grasso - criterio: carico



- In caso di carichi pari a $C/P < 10$ ($P/C > 0,1$) si consigliano lubrificanti con additivi EP
- I lubrificanti silconici possono essere utilizzati in caso di contatto acciaio/acciaio soltanto in presenza di carichi ridotti ($P \leq 3 \% C$).
- In caso di carichi combinati (radiali e assiali), si consigliano lubrificanti con additivi EP.
- L'intervallo di rilubrificazione per cuscinetti lubrificati a grasso dev'essere ridotto, in caso di carichi inferiori a $C_0/P = 20$ (in funzione del tipo di cuscinetto), di un fattore K_p .



Lubrificazione a grasso – criterio: condizioni ambientali



- ◆ **Contaminazione**
 - ⇒ Lubrificanti più consistenti ai fini di una migliore tenuta

- ◆ **Acqua**
 - ⇒ Lubrificanti più resistenti o insensibili all'acqua

- ◆ **Vibrazioni**
 - ⇒ Pericolo di tribocorrosione, impiego di lubrificanti speciali

- ◆ **Vuoto**
 - ⇒ Lubrificanti con tensione di vapore ridotta, come PFAE.
In alto vuoto, è opportuno ricorrere a una lubrificazione a secco.

Lubrificazione a grasso – criterio: situazione di montaggio



- **Come e con che cosa vengono lubrificati eventuali pezzi adiacenti?**
⇒ Compatibilità con lubrificanti presenti nell'ambiente
- **Quali elastomeri o materie plastiche si trovano nelle immediate vicinanze?**
⇒ Impiego di lubrificanti chimicamente compatibili
- **In quale posizione viene montato il cuscinetto volvente?**
⇒ In caso di lubrificazione a grasso, se il cuscinetto viene montato in posizione verticale o obliqua occorrono lubrificanti a maggiore consistenza.
- **Vi sono particolari normative in vigore per il lubrificante?**
⇒ Industria alimentare (H1 o H2);
prodotti biodegradabili;
requisiti ambientali e sostanze vietate

- Miscibilità** Mescolamenti di grassi vanno fundamentalmente evitati.
Se il mescolamento di grassi è inevitabile, tenere conto delle seguenti premesse:
- stesso tipo di olio base
 - stesso tipo di addensante
 - simili viscosità dell'olio base separate da non più di una classe ISO-VG
 - stessa consistenza, classe NLGI.

- Immagazzinamento** Normalmente i grassi utilizzati hanno una durata di immagazzinamento di 3 anni.
I presupposti sono:
- un magazzino chiuso
 - temperature tra 0 °C e +40 °C
 - un'umidità relativa dell'aria non superiore al 65%
 - nessun effetto di agenti chimici, vapore, gas, liquidi
 - che i cuscinetti volventi sono schermati.

Valore guida della durata di utilizzo del grasso t_{fG} :

$$t_{fG} = t_f \times K_T \times K_P \times K_R \times K_U \times K_S$$

t_f [h] - durata base di utilizzo del grasso

Fattori correttivi

K_T , effetto temperatura

K_P , effetto carico

K_R , effetto oscillazioni

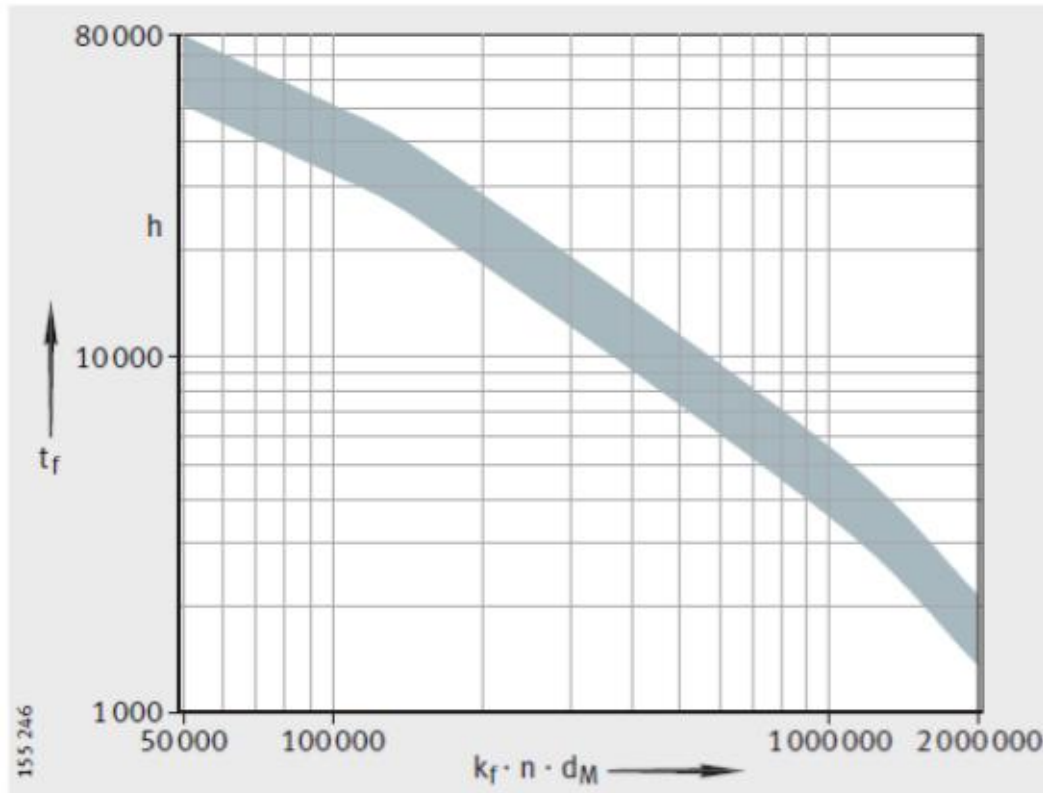
K_U , effetto ambiente

K_S , effetto posizione verticale.

Grassi lubrificanti – vita di esercizio – catalogo HR1



La durata base t_f è funzione del fattore velocità di rotazione $K_f \times n \times d_M$.



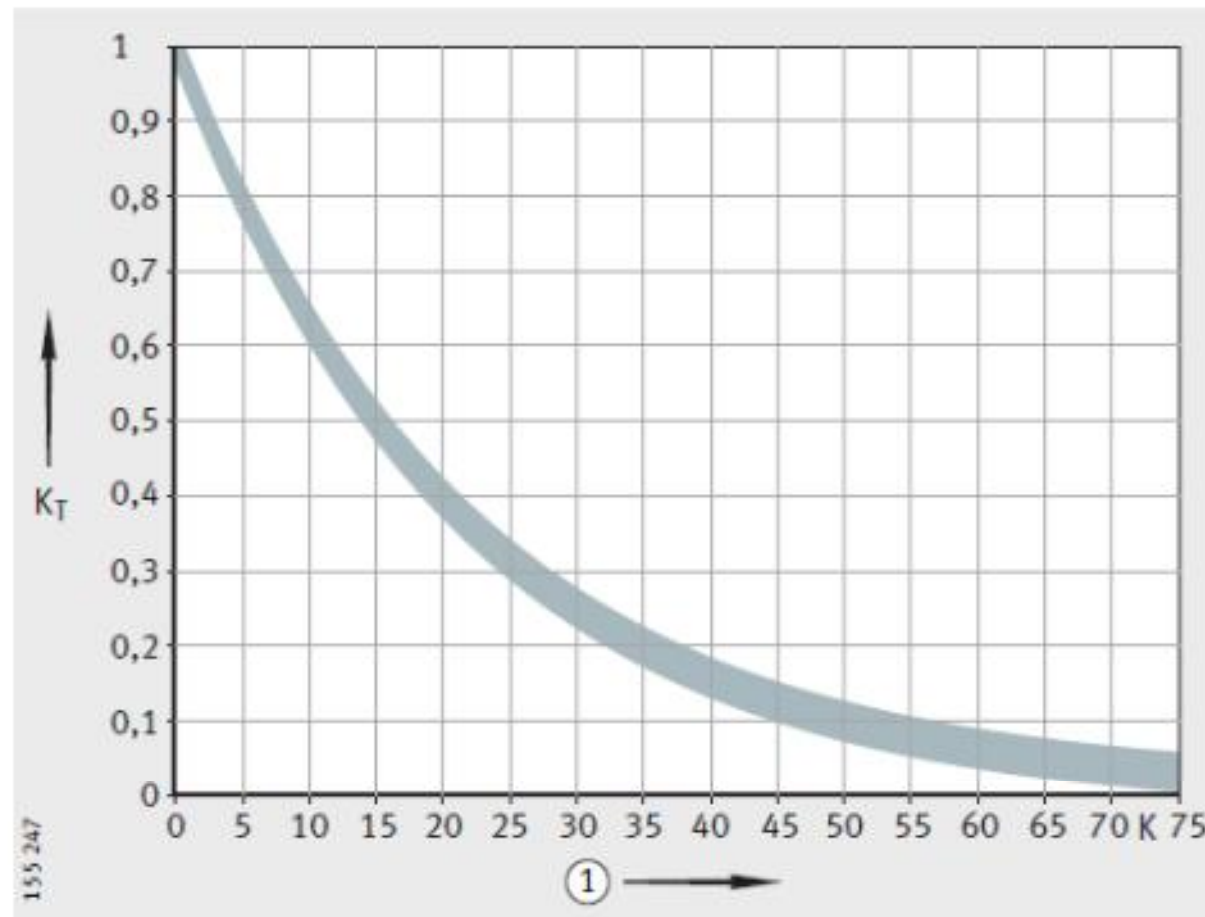
Tipo di cuscinetto	Fattore k_f
Cuscinetti a sfere ad una corona	1
Cuscinetti a sfere a due corone	1,5
Cuscinetti ad una corona di sfere a contatto obliquo	1,6
Cuscinetti a due corone di sfere a contatto obliquo	2
Cuscinetti a quattro punti di contatto	1,6
Cuscinetto orientabile a sfere	1,45
Cuscinetti assiali a sfere	5,5
Cuscinetti assiali a due corone di sfere a contatto obliquo	1,4
Cuscinetti a rulli cilindrici ad una corona con carico assiale costante	3,25
Cuscinetti a rulli cilindrici ad una corona con o senza carico variabile	2
Cuscinetti a rulli cilindrici a due corone	3,5
Cuscinetti a rulli cilindrici a pieno riempimento	5,3
Cuscinetti a rulli conici	4
Cuscinetto radiale orientabile ad una corona di rulli	10
Cuscinetti radiali orientabili a rulli senza bordino	8
Cuscinetti radiali orientabili a rulli con bordino	10,5
Gabbie a rullini/cuscinetti a rullini	3,6
Astucci a rullini senza fondello/astucci a rullini con fondello	4,2
Rotelle/perni folli con gabbia/a pieno riempimento di rulli	20
Rotelle/perni volli a pieno riempimento di rullini	40
Rotelle ad una corona	1
Rotelle a due corone	2
Rotelle PWTR/perni folli PWKR	6
Cuscinetti a rulli cilindrici LSL/ZSL	3,1
Cuscinetti a rulli incrociati	4,4
Cuscinetti assiali a rullini/cuscinetti assiali a rulli cilindrici	58
Cuscinetti con anello di bloccaggio/unità di supporto	1

Grassi lubrificanti – vita di esercizio – catalogo HR1



fattore K_T :

deve essere considerato quando si supera la temperatura $T_{\text{limite superiore}}$
(funzione del grasso utilizzato)

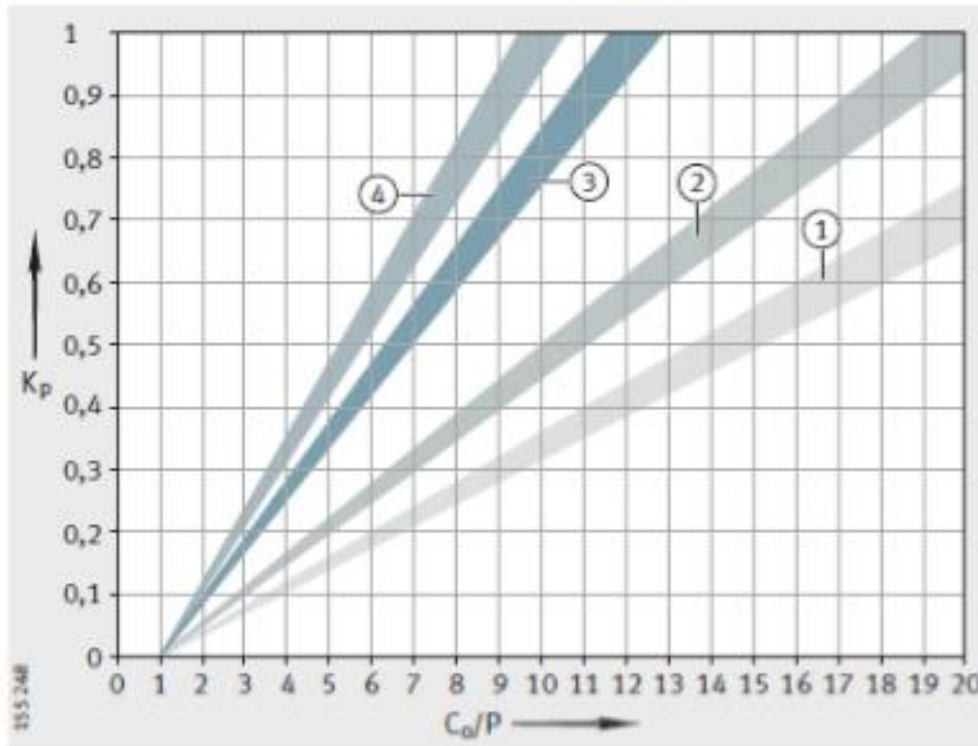


Grassi lubrificanti – vita di esercizio – catalogo HR1



fattore K_p :

deve essere considerato quando il carico sul cuscinetto eccede il rapporto $C_0/P = 20$



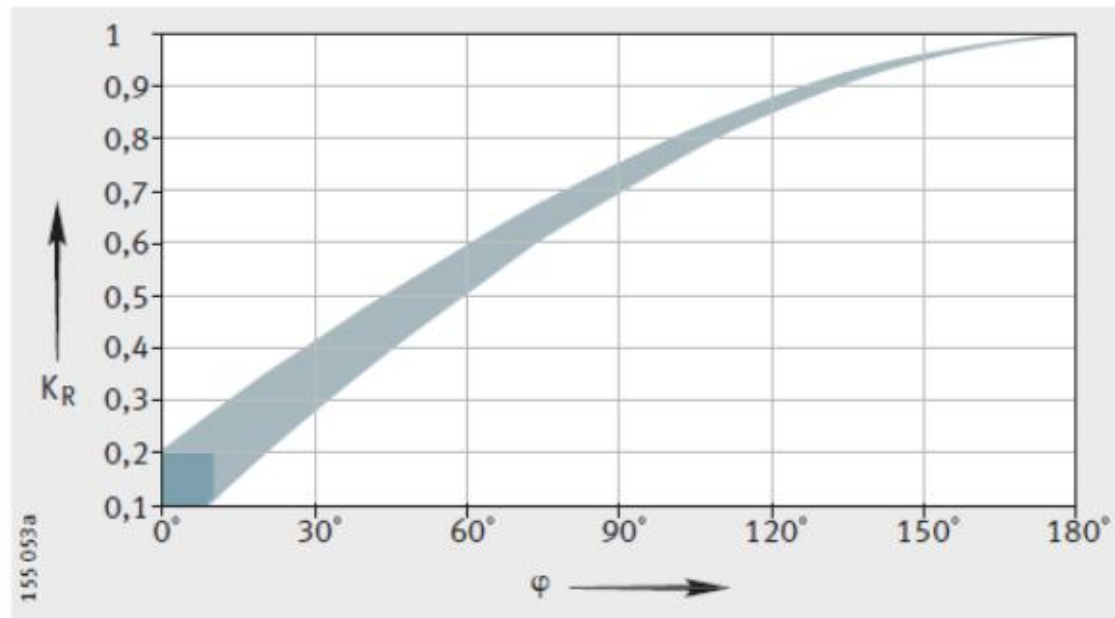
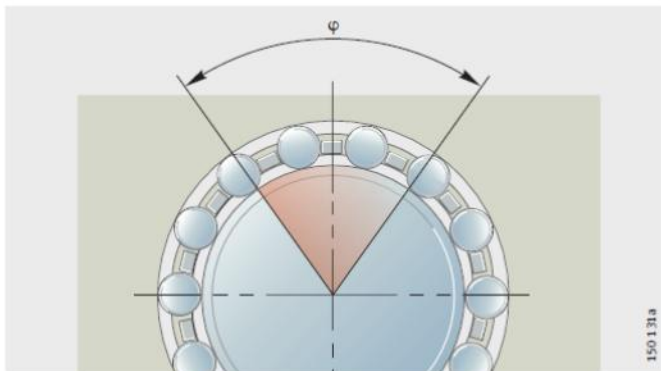
Curva ¹⁾	Tipo di cuscinetto
①	Cuscinetti assiali a due corone di sfere a contatto obliquo
	Cuscinetti assiali a sfere
	Cuscinetti assiali a rullini/cuscinetti assiali a rulli cilindrici
	Cuscinetti a rulli incrociati
②	Cuscinetti radiali orientabili a rulli con bordino
	Gabbie a rullini/cuscinetti a rullini
	Astucci a rullini senza fondello/astucci a rullini con fondello
	Cuscinetti a rulli cilindrici a due corone
	Rotelle PWTR/perni folli PWKR
	Rotelle/perni folli con gabbia/a pieno riempimento di rulli
	Rotelle/perni folli a pieno riempimento di rullini
③	Cuscinetti a rulli cilindrici LSL/ZSL
	Cuscinetti a rulli conici
	Cuscinetti radiali orientabili a rulli senza bordino (E1)
	Cuscinetto radiale orientabile ad una corona di rulli
	Cuscinetti a rulli cilindrici a pieno riempimento
	Cuscinetti a rulli cilindrici ad una corona (carico costante/alternato)
	Cuscinetti a quattro punti di contatto
④	Cuscinetti a sfere (ad una/due corone)
	Cuscinetti a sfere a contatto obliquo (ad una/due corone)
	Cuscinetti orientabili a sfere
	Rotelle (ad una/due corone)
	Cuscinetti con anello di bloccaggio/unità di supporto

Grassi lubrificanti – vita di esercizio – catalogo HR1



fattore K_R :

deve essere considerato quando il cuscinetto ha un movimento oscillante con angolo inferiore a 180°



Per angoli molto piccoli tali da non permettere una rotazione completa dei corpi volenti è necessario utilizzare lubrificanti speciali

Grassi lubrificanti – vita di esercizio – catalogo HR1



fattore K_U : deve essere considerato in presenza di umidità, vibrazioni, urti

Influeza ambientale	K_U
bassa	1,0
media	0,8
elevata	0,5

Questo fattore non permette la valutazione di condizioni ambientali estreme come acqua, agenti aggressivi, impurità radiazioni radioattive e elevate vibrazioni

Grassi lubrificanti – vita di esercizio – catalogo HR1



fattore K_s : deve essere considerato in presenza di installazioni a rischio di fuoriuscita del grasso

Albero verticale	Fattore K_s
Albero verticale (in base alla tenuta)	0,5 fino a 0,7
Altrimenti	1

Grassi lubrificanti – Quantità di rilubrificazione – catalogo HR1



A causa della forma costruttiva compatta dei cuscinetti INA e FAG consigliamo di rilubrificare con una quantità di lubrificante dal 50% al 80% della quantità di prima lubrificazione.

In caso di aria nei condotti di adduzione, aggiungere il volume di riempimento dei condotti di adduzione alla quantità di lubrificante.

Reingrassare sino alla formazione di un bordo di grasso fresco nel meato della tenuta. Il vecchio grasso lubrificante deve poter uscire liberamente dal cuscinetto.

La quantità di grasso per la prima lubrificazione corrisponde dal 30% al 100% dello spazio libero interno del cuscinetto, in base al tipo di cuscinetto ed alle condizioni d'esercizio.

Relubrication quantity m_1 , for weekly to yearly relubrication

$$m_1 = D \cdot B \cdot x \text{ [g]}$$

Relubrication	x
weekly	0.002
monthly	0.003
yearly	0.004

Quantity m_2 for extremely short relubrication intervals

$$m_2 = (0.5...20) \cdot V \text{ [kg/h]}$$

Relubrication quantity m_3 prior to restarting after several years of standstill

$$m_3 = D \cdot B \cdot 0.01 \text{ [g]} = D \cdot B \cdot 0.01/28.35 \text{ [oz]}$$

$$V = \text{free space in the bearing}$$

$$\approx \pi/4 \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - G/7800 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\approx \pi/4 \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - G' \cdot 0.4536/7800 \text{ [m}^3\text{]}$$

- d = bearing bore diameter [mm]
- D = bearing outside diameter [mm]
- B = bearing width [mm]
- G = bearing mass [kg]
- G' = bearing mass [lb]

Sistemi di lubrificazione

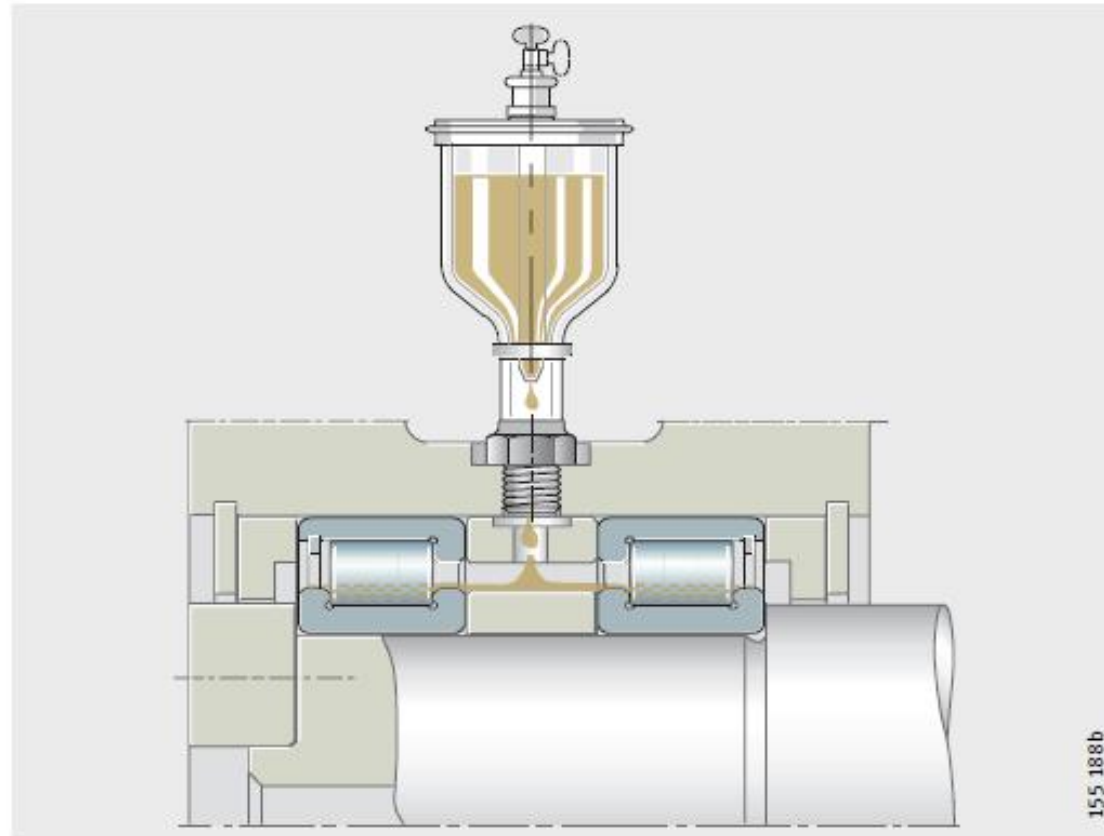


Sistemi di lubrificazione

Fondamentalmente si distinguono i seguenti sistemi:

- lubrificazione a goccia d'olio
- lubrificazione aria-olio
 - per esigenze di protezione ambientale anche in sostituzione della lubrificazione a nebbia d'olio
- lubrificazione a bagno d'olio
 - lubrificazione a sbattimento o a coppa d'olio
- lubrificazione a ricircolazione d'olio.

Lubrificazione a goccia d'olio



La quantità di olio necessaria dipende dalla dimensione del cuscinetto, dal tipo di cuscinetto, dalla velocità di rotazione d'esercizio e dal carico.

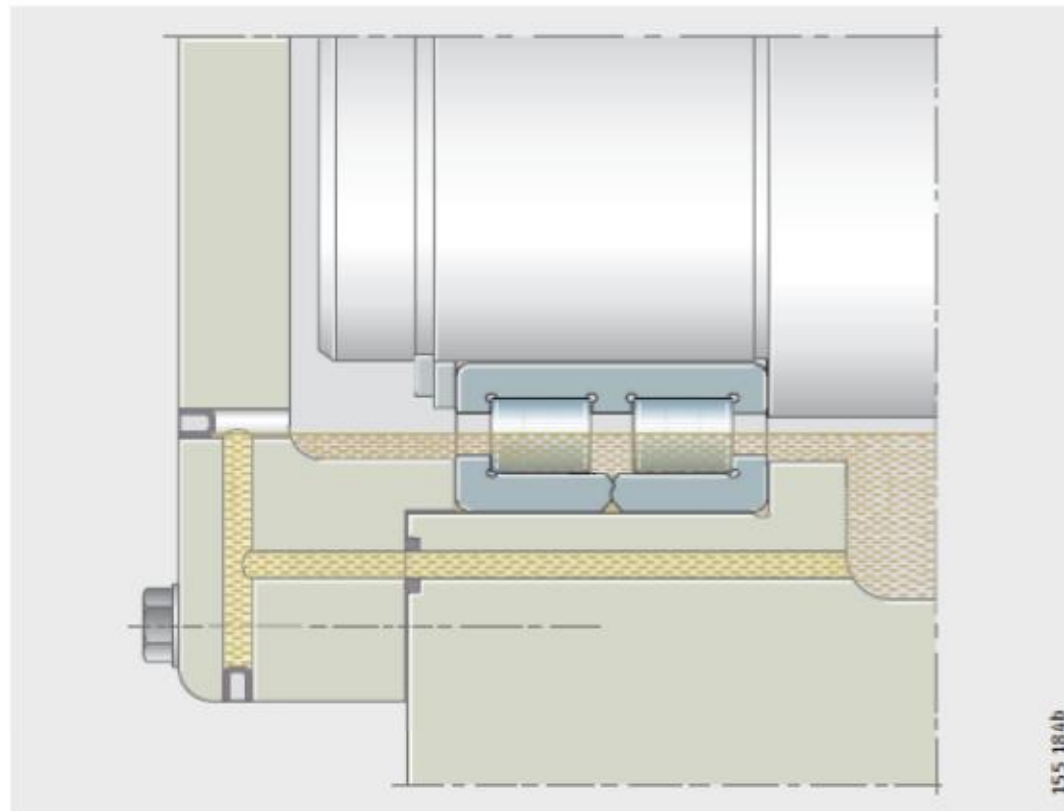
Il valore indicativo è tra 3 Gocce/min e 50 Gocce/min per ogni pista di rotolamento dei corpi volventi (una goccia pesa circa 0,025 g).

L'olio in eccesso deve poter uscire dal supporto!

Lubrificazione a bagno d'olio



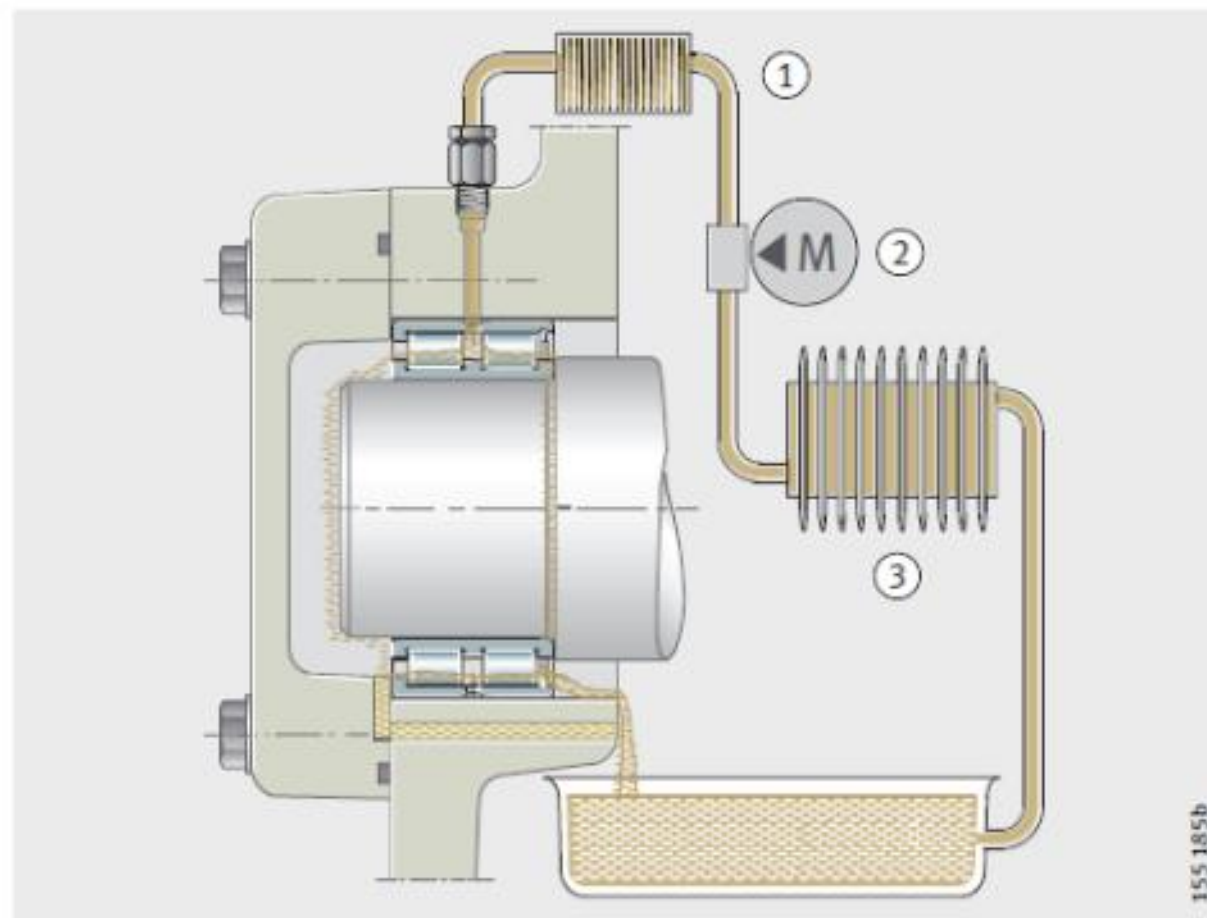
Il livello dell'olio deve raggiungere la metà del corpo volvente più in basso. Se il livello dell'olio lo supera, con elevate velocità è possibile un aumento di temperatura nel cuscinetto da cui derivano perdite per sbattimento. Inoltre, in tali condizioni, gli oli tendono alla formazione di schiuma.



Lubrificazione a circolazione d'olio



- ① Filtro
- ② Pompa
- ③ Raffreddamento

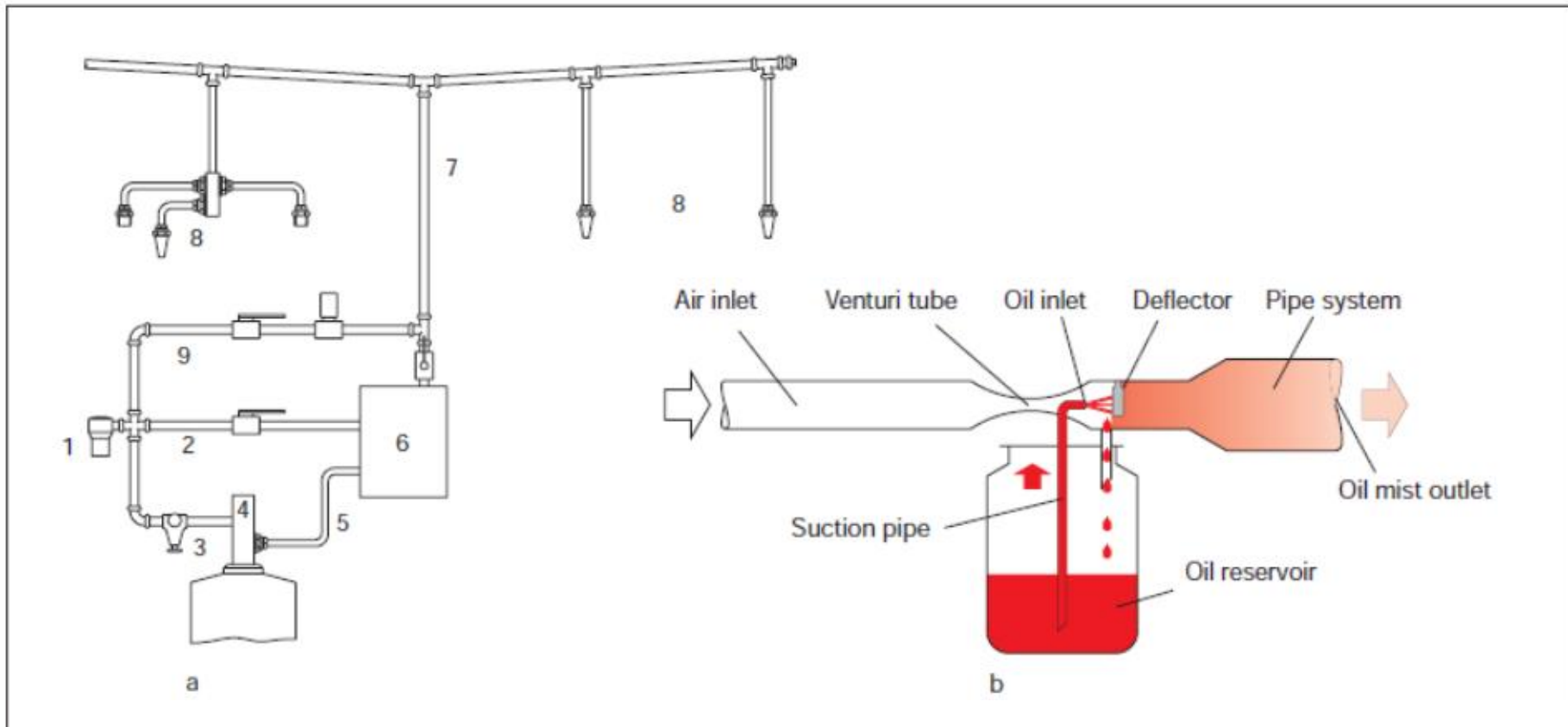


Lubrificazione a nebbia d'olio



23a: Schematic drawing of an oil mist lubrication system. 1 = air filter, 2 = air supply pipe, 3 = pressure control, 4 = pump, 5 = main pipe, 6 = atomizer, 7 = oil mist pipe, 8 = nozzles at point of lubrication, 9 = air pipe.

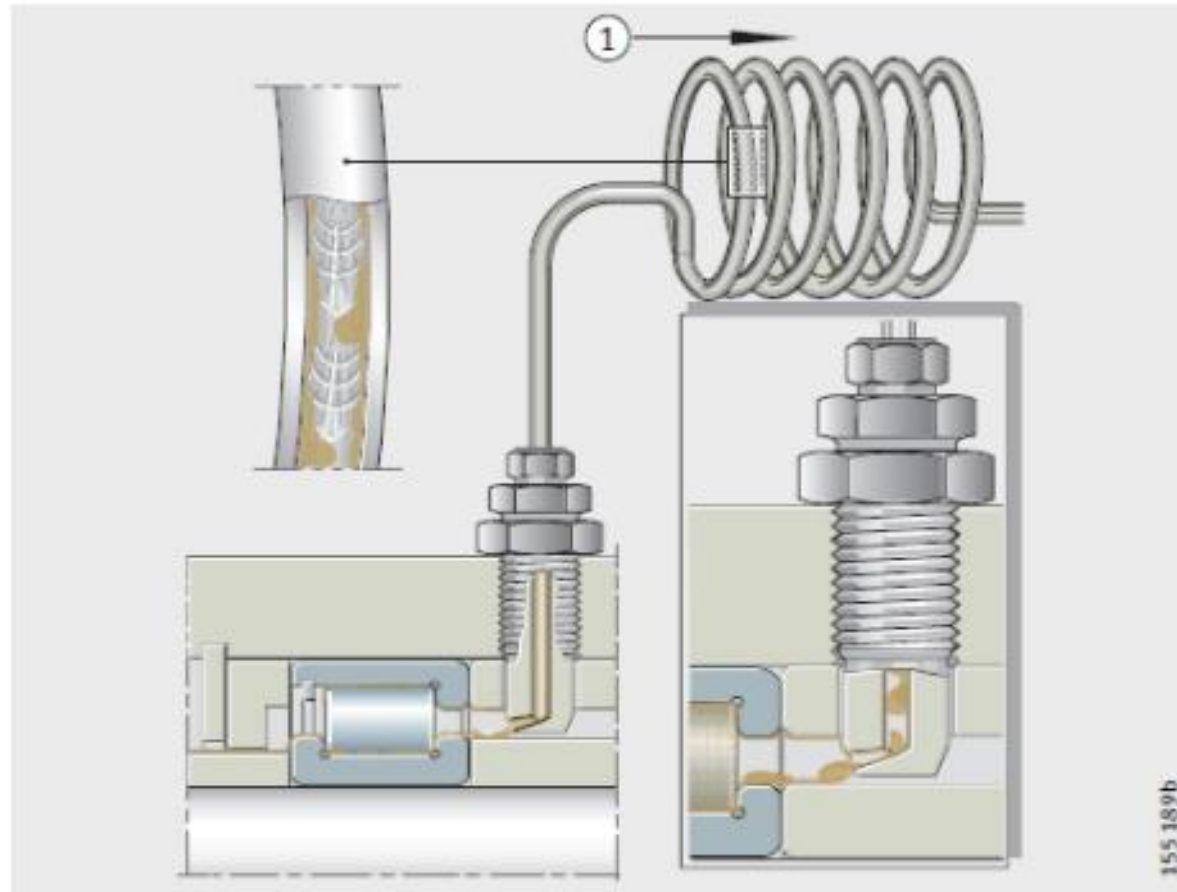
23b: Atomizer (Venturi tube)



Lubrificazione aria-olio



Particolarmente idonea per cuscinetti radiali con elevata velocità di rotazione e ridotto carico ($n \cdot d_M = 800\,000$ fino a $3\,000\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$).



① Per l'aggregato aria-olio

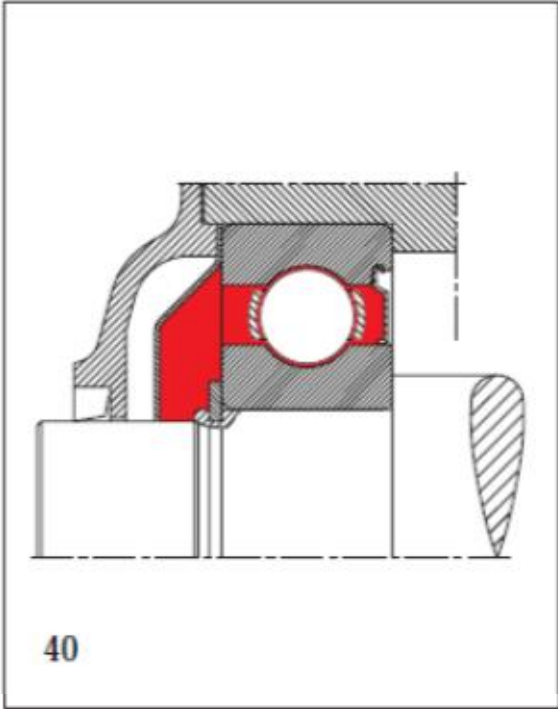
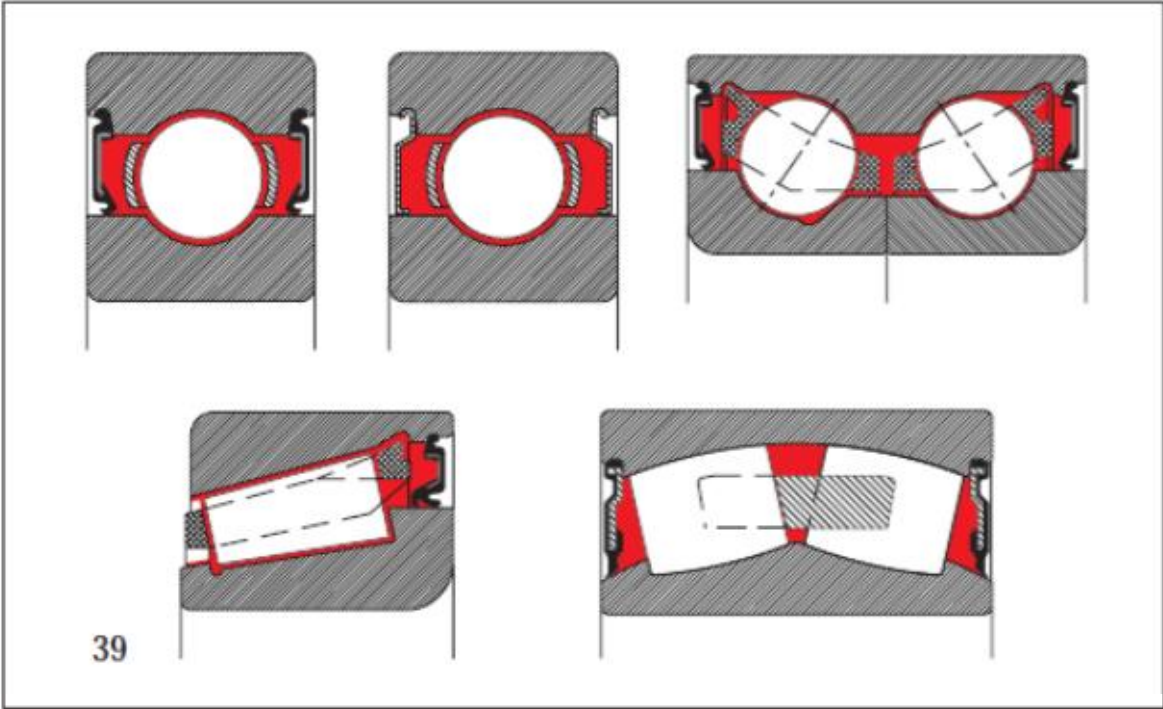
Alimentazione del lubrificante al cuscinetto



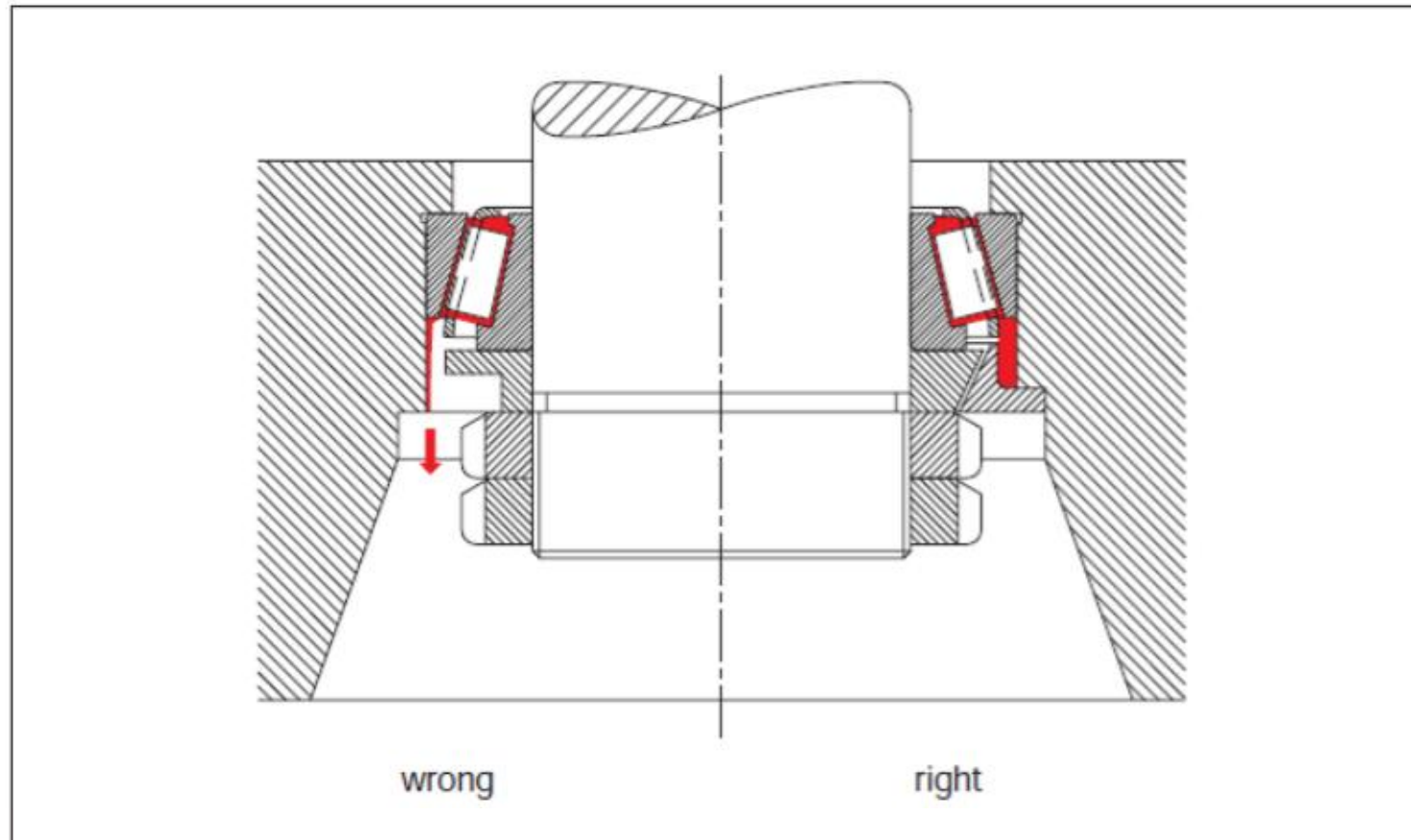
Alimentazione del grasso



39: Sealed bearings greased by the rolling bearing manufacturer
40: A grease deposit can form between the baffle plate and the bearing.

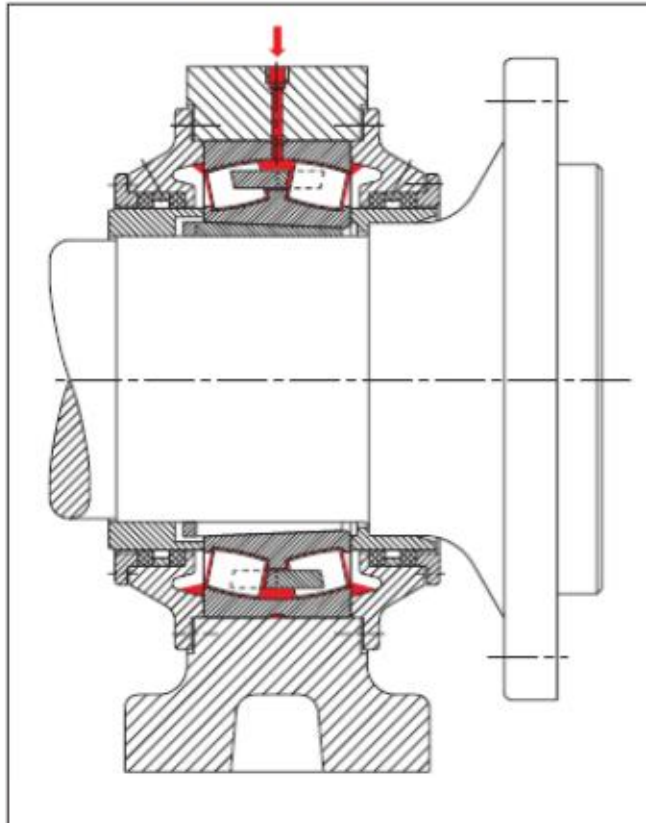


41: A baffle plate retains the grease inside and near the bearing.

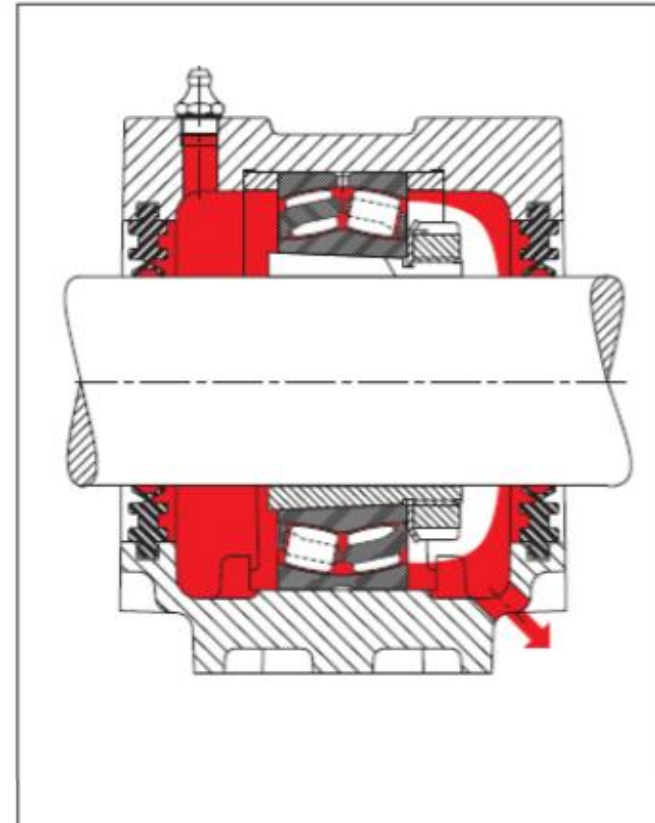


Nei cuscinetti a sezione asimmetrica e nei cuscinetti ad asse verticale, il disco paragrasso impedisce al grasso di staccarsi e di abbandonare troppo rapidamente il cuscinetto

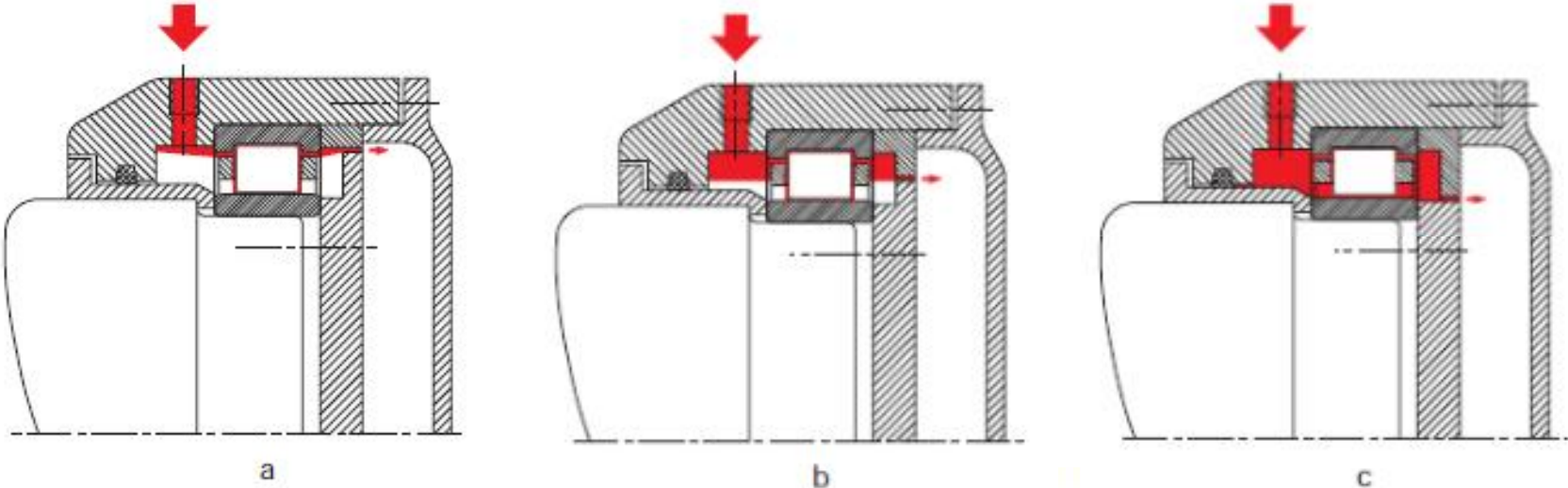
42: The grease is fed through the bearing outer ring.



43: Relubrication. Overlubricating is prevented by the escape bore.

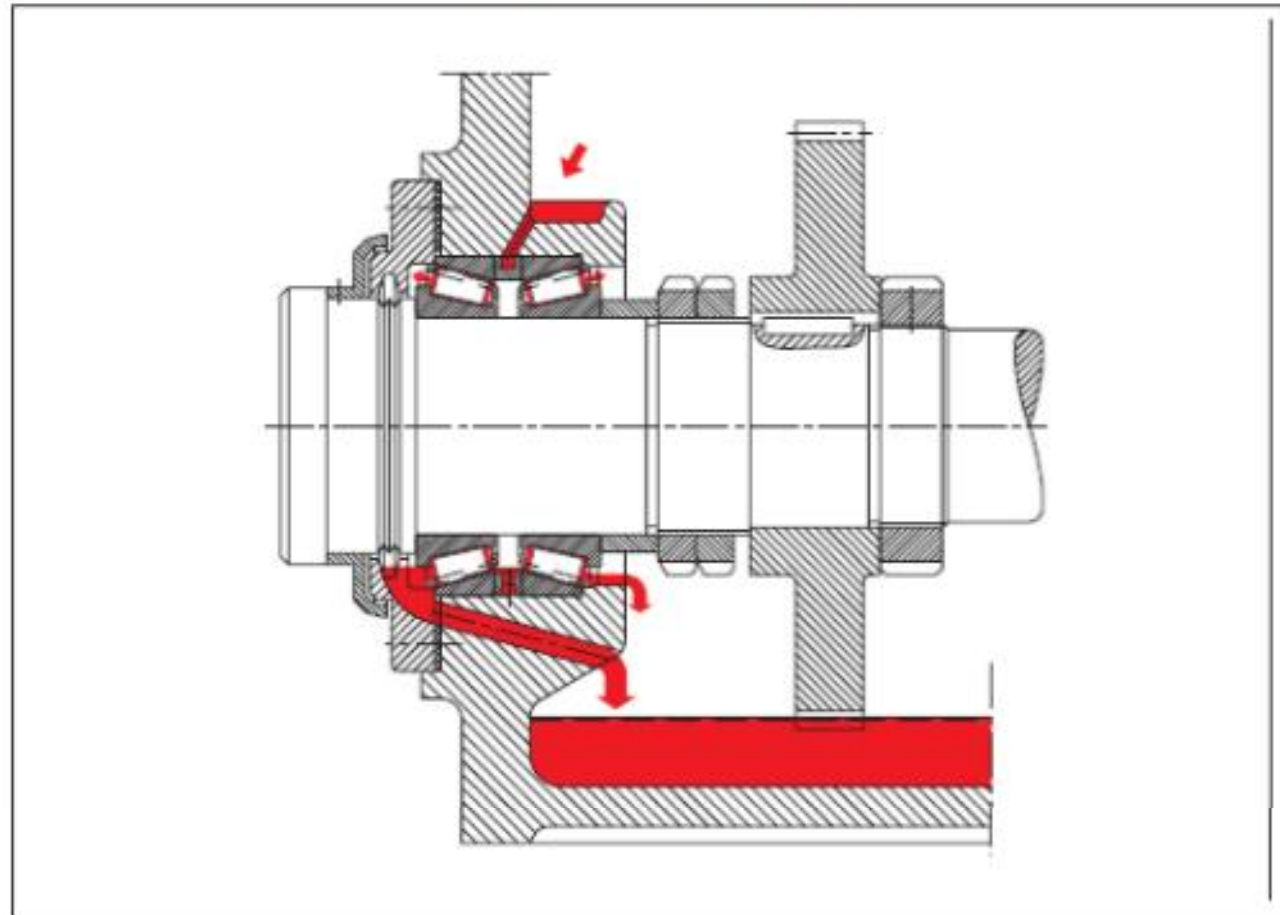


Con un'adduzione diretta e simmetrica si alimenta in ugual modo ciascuna corona di rulli. Per asportare il grasso esausto prevedere camere di raccolta oppure aperture per la fuoriuscita.

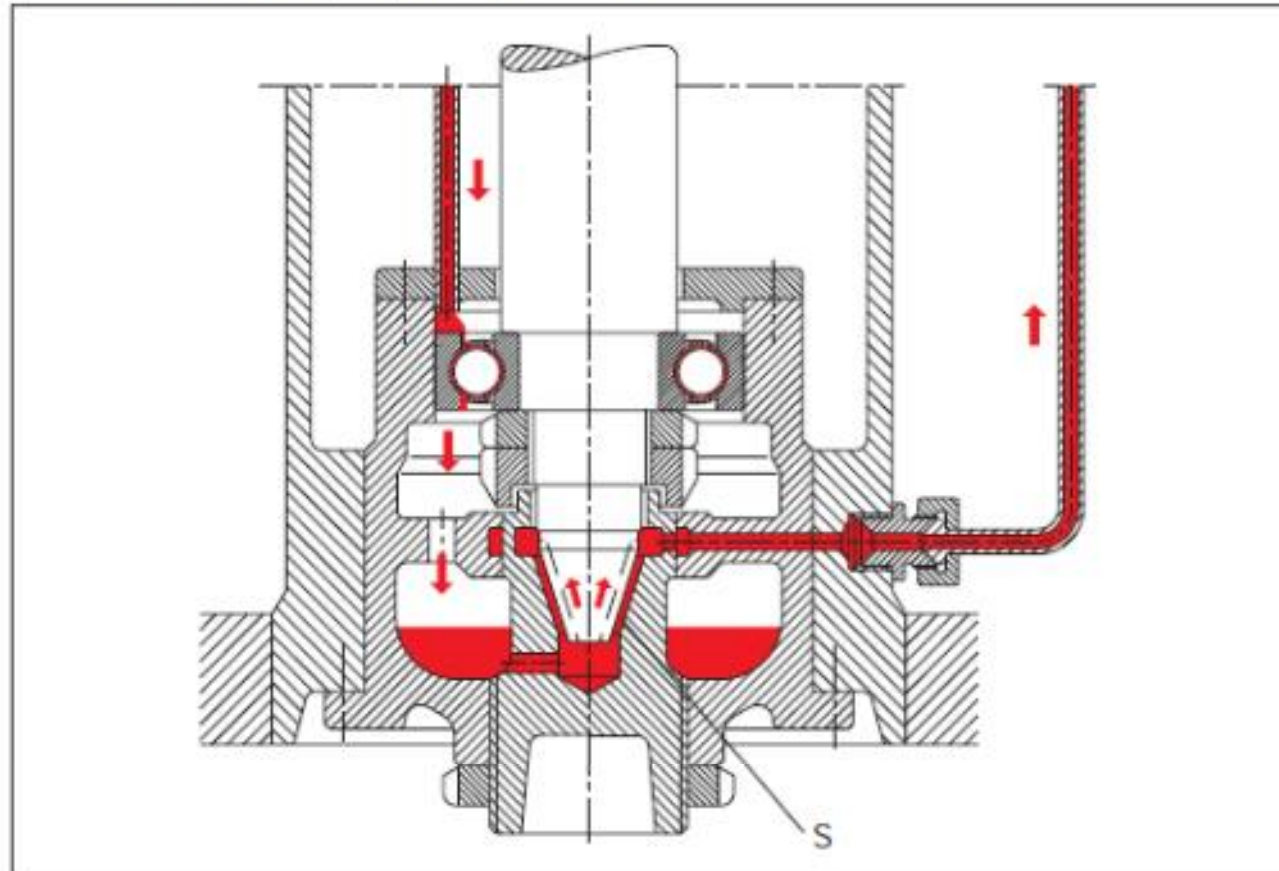


44: The pumping effect of the grease valve depends on the washer diameter.

59: Oil circulation in bearings with conveying or pumping effect



60: Oil circulation by tapered spindle end

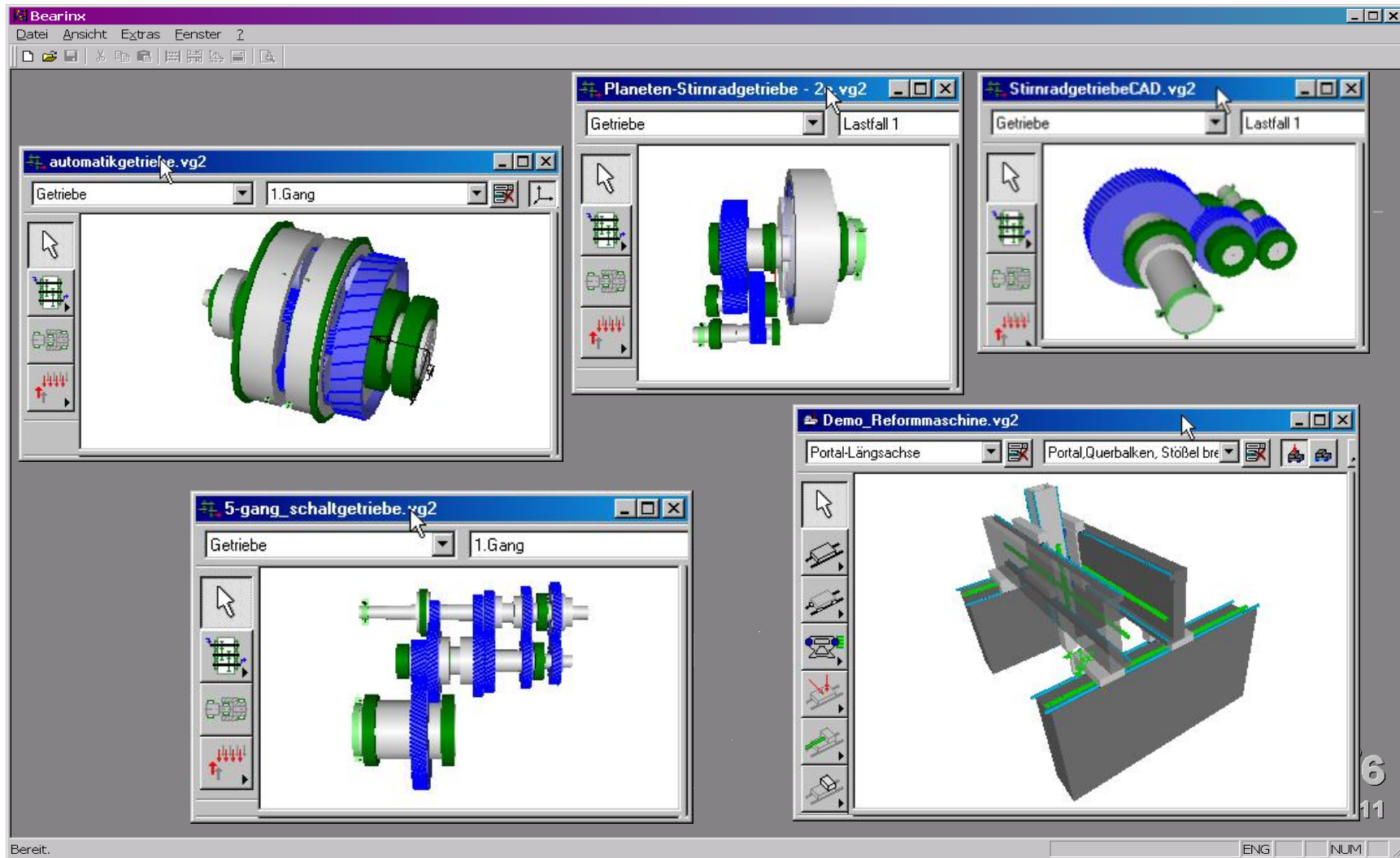


Calcolo analitico dei cuscinetti volventi



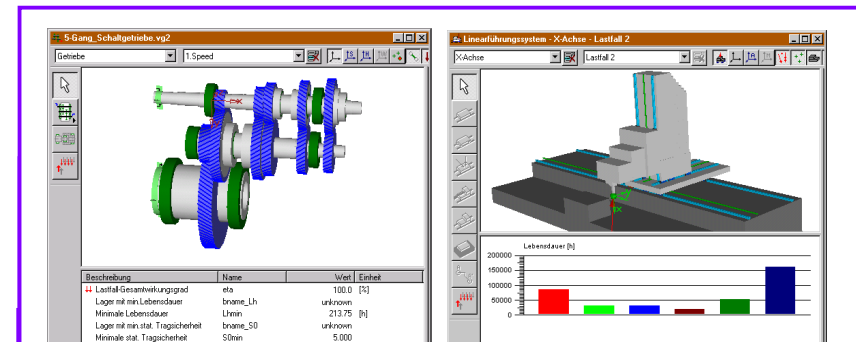
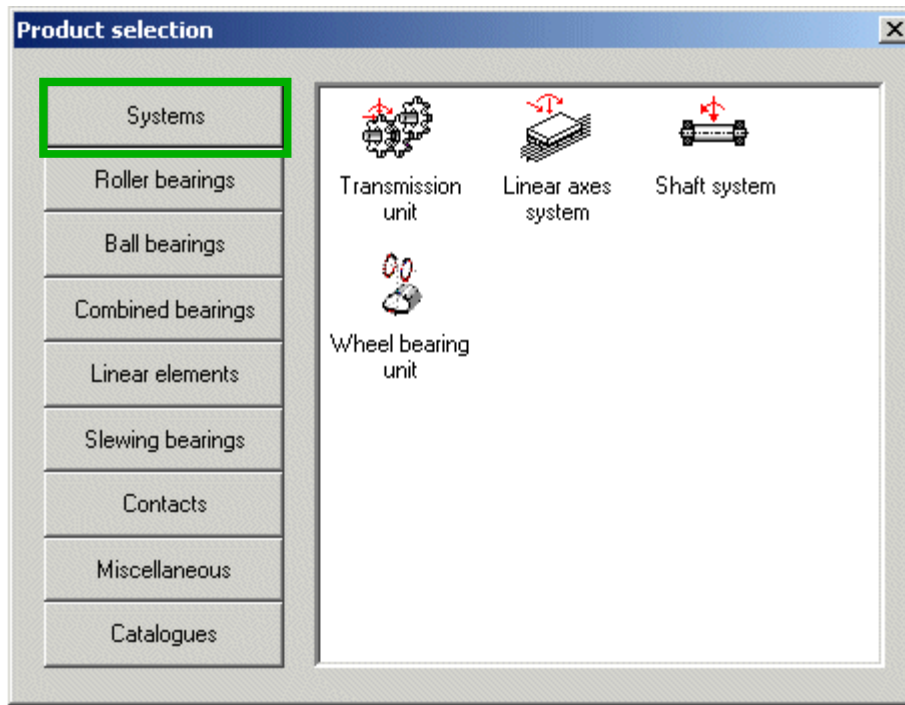
Calcolo analitico - BEARINX®

Applicazioni di cuscinetti volventi



Calcolo analitico - BEARINX®

Programma con struttura modulare



Calcolo del sistema completo :

- Trasmissione
- Sistema di guide lineari

Calcolo del sistema di alberi

Calcolo del singolo cuscinetto

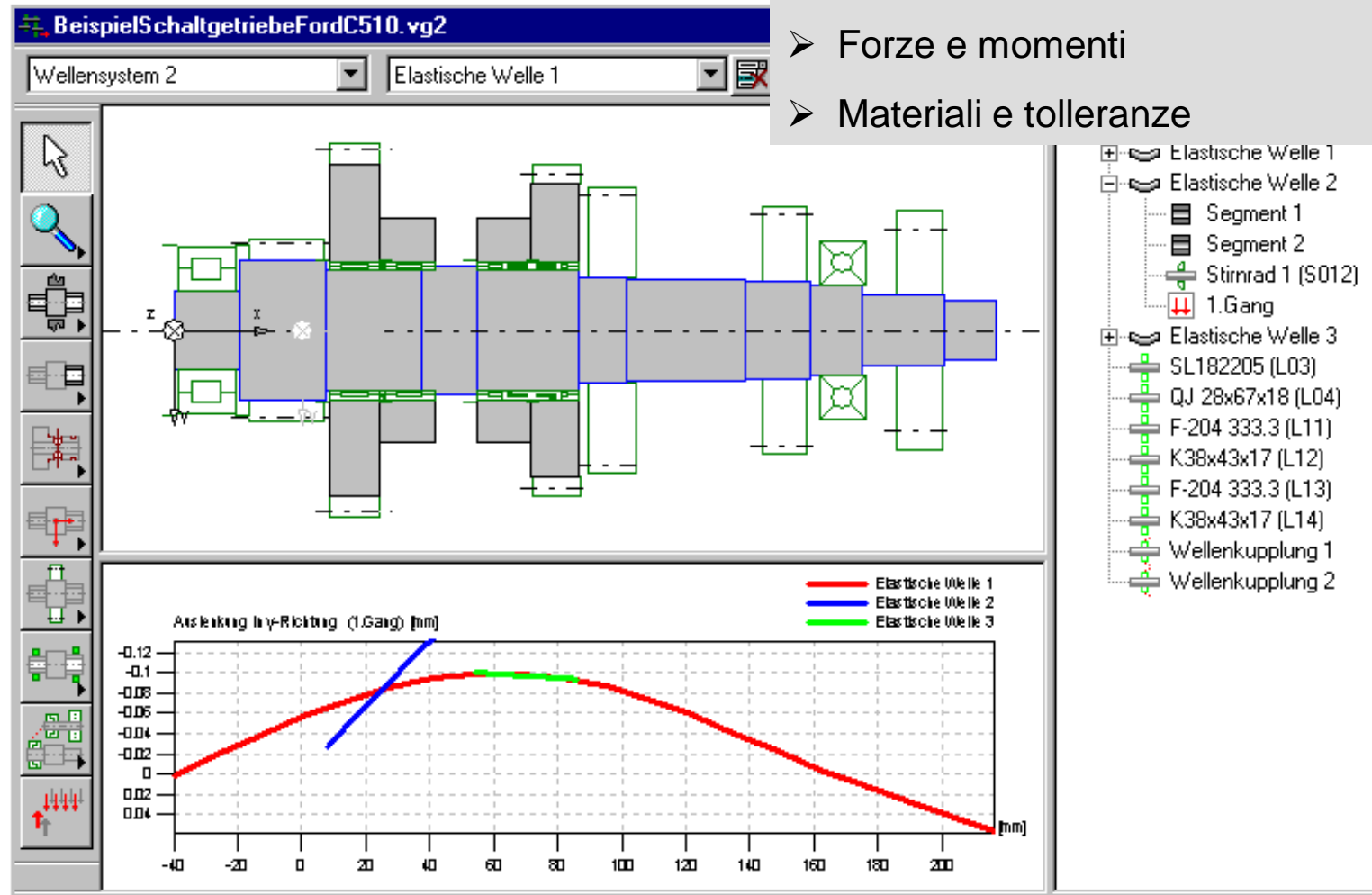
Calcolo del singolo contatto

Calcolo analitico - BEARINX®

Livello di calcolo : albero

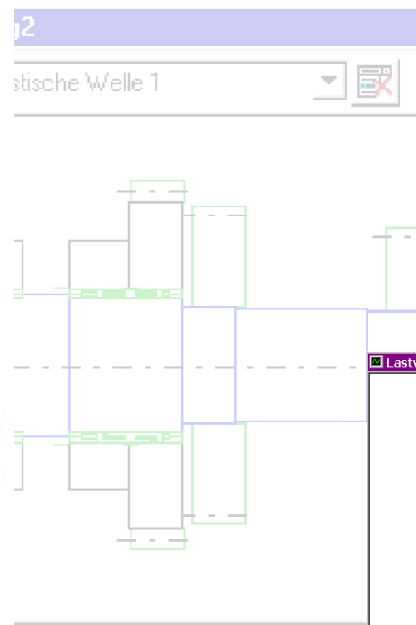
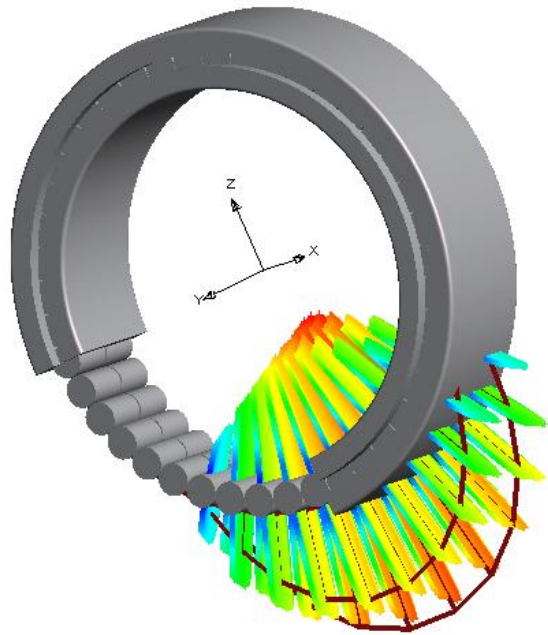


- Elasticità di alberi e cuscinetti
- Forze e momenti
- Materiali e tolleranze



Calcolo analitico - BEARINX®

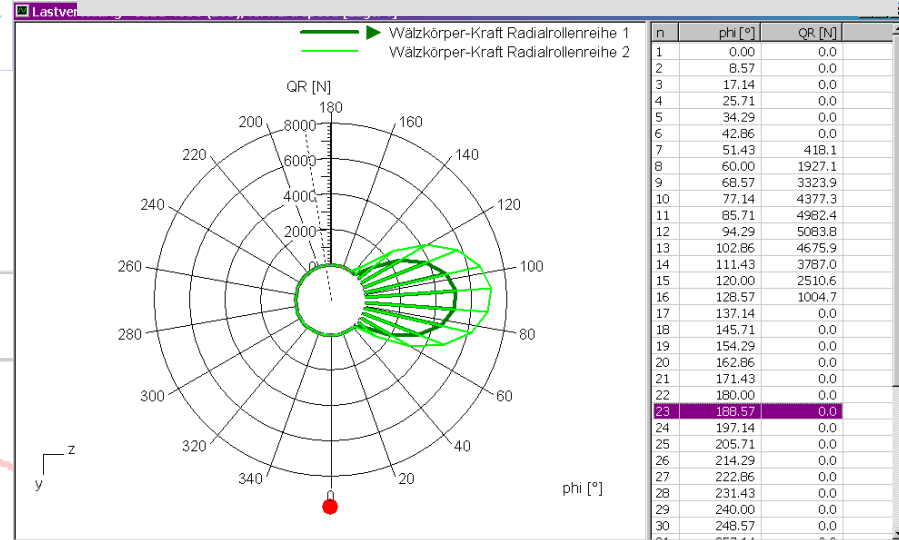
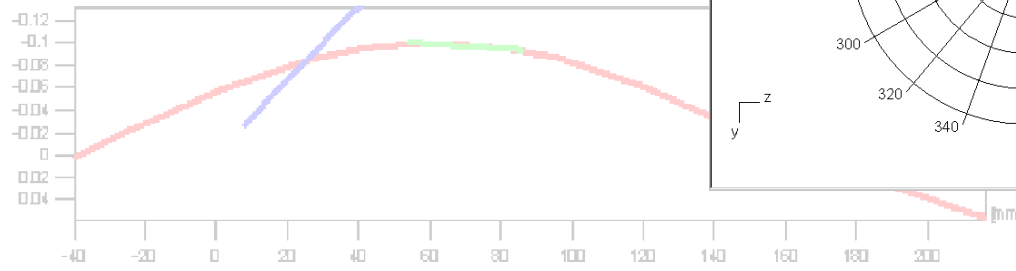
Livello di calcolo : cuscinetto



- Cuscinetti elastici
- Spostamento e ribaltamento
- Distribuzione interna dei carichi
- Rigidezza e giochi
- Vita teorica secondo DIN ISO 281 - 4



Auslenkung Iny-Richtung (1.Gang) [mm]



Calcolo analitico- BEARINX®

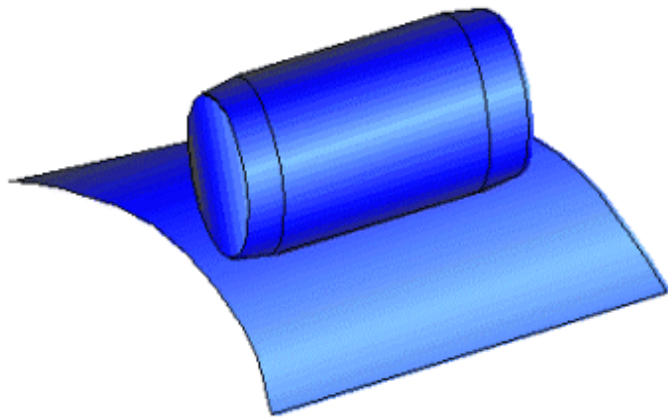
Livello di calcolo : contatto singolo



BeispielSchaltgetriebeFordC510.vg2

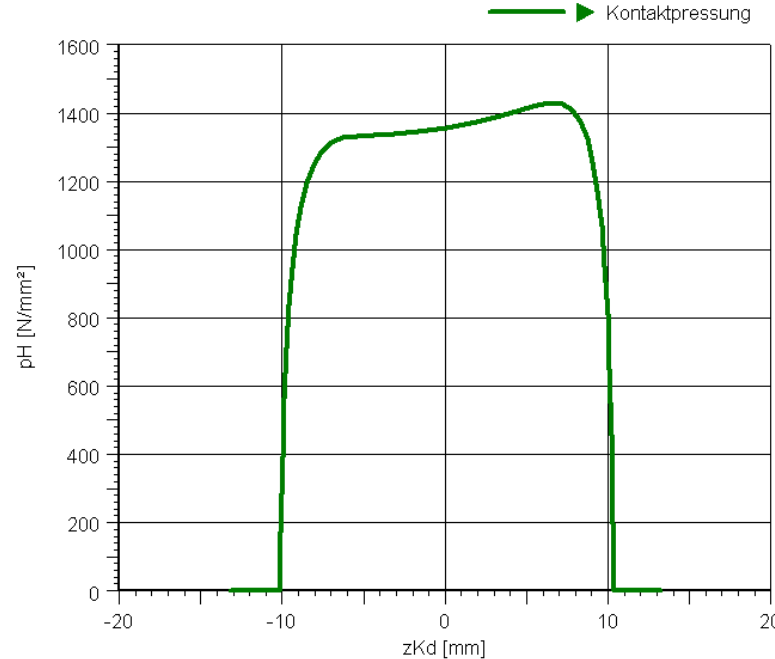
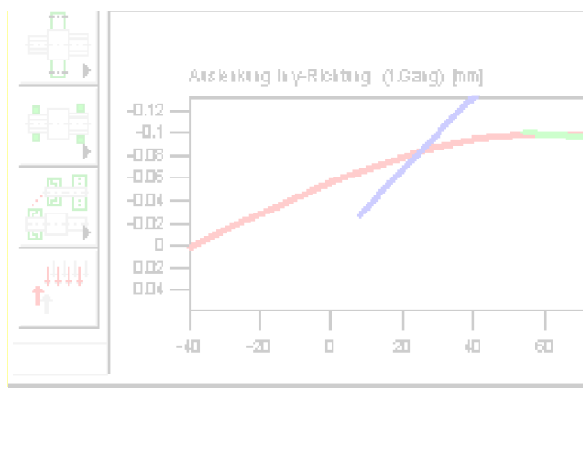
Wellensystem 2 | Elastische Welle 1 | 1.Gang

- Pressione Hertziana modificata
- Ribaltamento / effetto spigolo



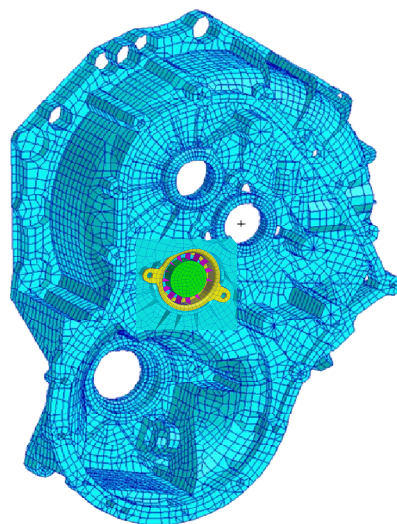
Elastiche Welle 2
 Segment 1
 Segment 2
 Stirrad 1 (S012)
 1.Gang
 Elastiche Welle 3

ung - Profiliertes Kontakt, Radialrollenreihe 2, Profilierte Rolle 12 (Innenring, forward speed) [Lager4]

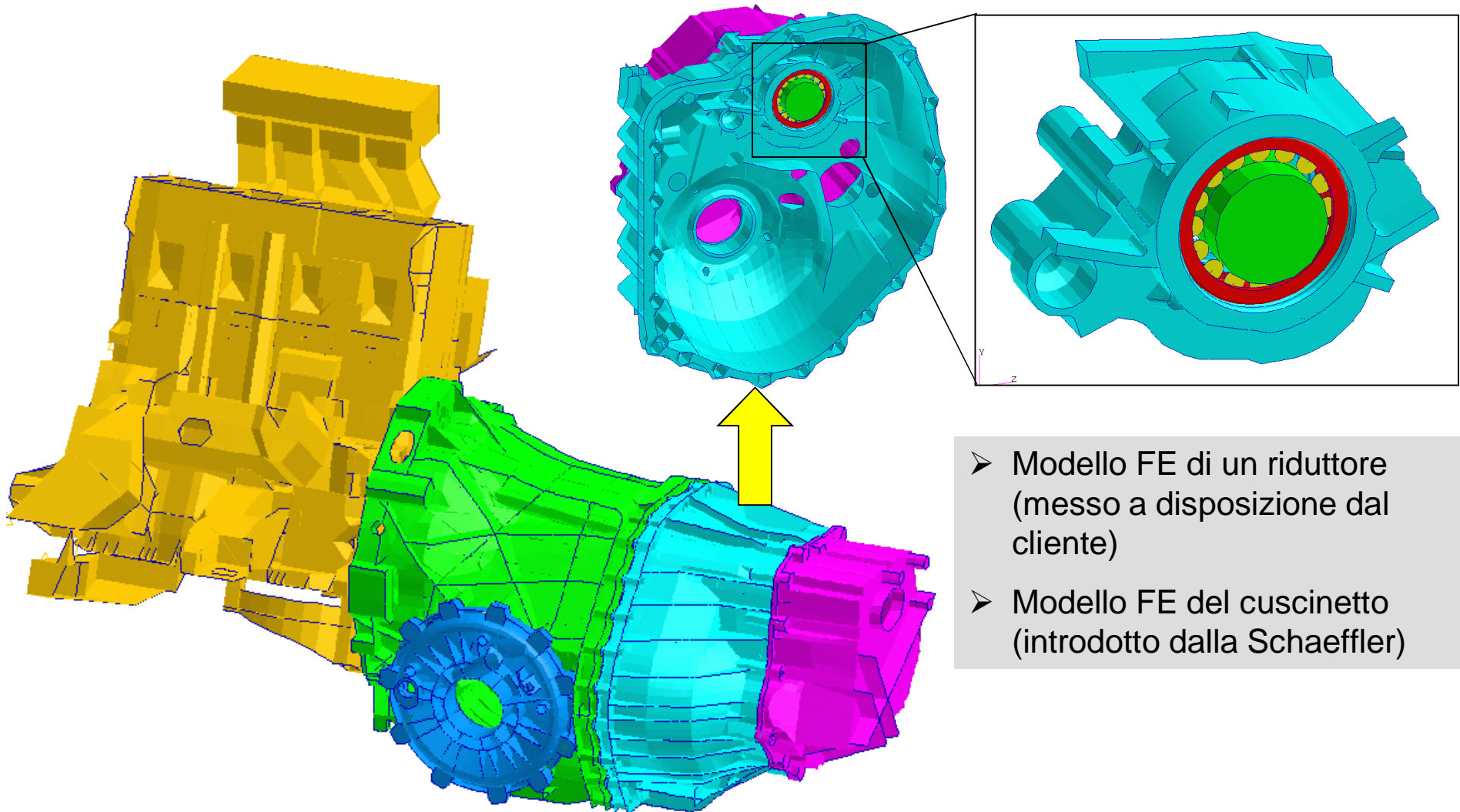


n	zKd [mm]	pH [N/mm²]
1	-13.200	0.0
2	-12.467	0.0
3	-11.733	0.0
4	-11.000	0.0
5	-10.759	0.0
6	-10.418	0.0
7	-10.276	0.0
8	-10.217	0.0
9	-10.163	0.0
10	-10.083	173.2
11	-9.987	394.1
12	-9.871	565.4
13	-9.732	710.2
14	-9.566	836.5
15	-9.366	947.4
16	-9.127	1043.9
17	-8.839	1126.2
18	-8.495	1194.3
19	-8.081	1247.9
20	-7.584	1287.1
21	-6.988	1312.7
22	-6.273	1326.7
23	-5.414	1332.5
24	-4.384	1334.5
25	-3.149	1337.4
26	-1.665	1344.4
27	0.114	1357.2
28	1.894	1373.7
29	3.377	1391.2
30	4.613	1408.9

Analisi statica agli elementi finiti



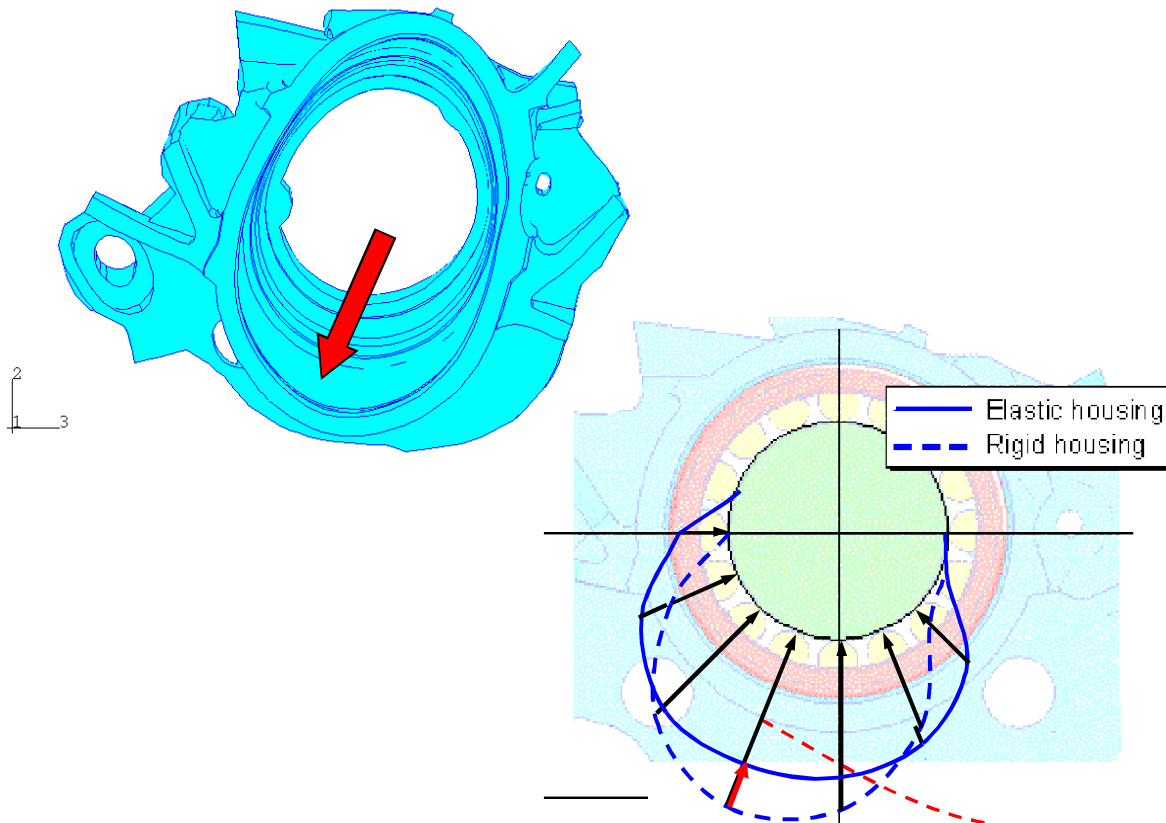
Analisi statica agli elementi finiti



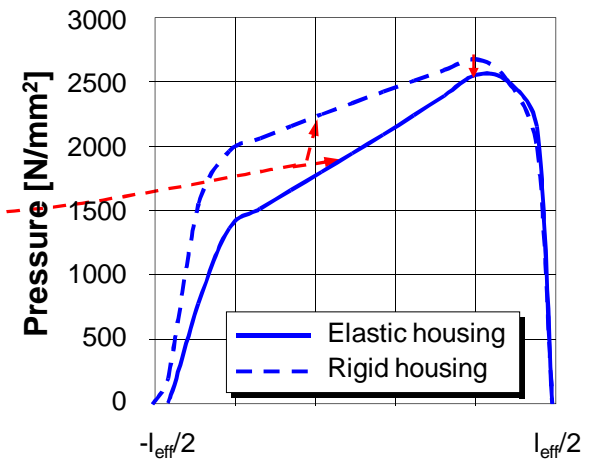
- Modello FE di un riduttore (messo a disposizione dal cliente)
- Modello FE del cuscinetto (introdotto dalla Schaeffler)

Analisi statica agli elementi finiti

FEA – Cuscinetto volvente ed alloggiamento



➤ Considerare l'elasticità dell'alloggiamento porta a progettazioni più realistiche

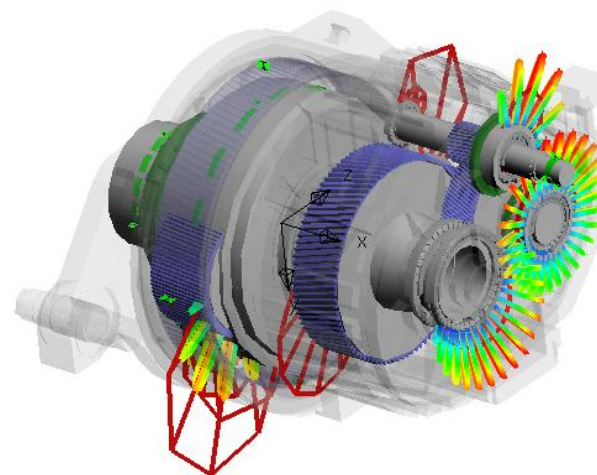
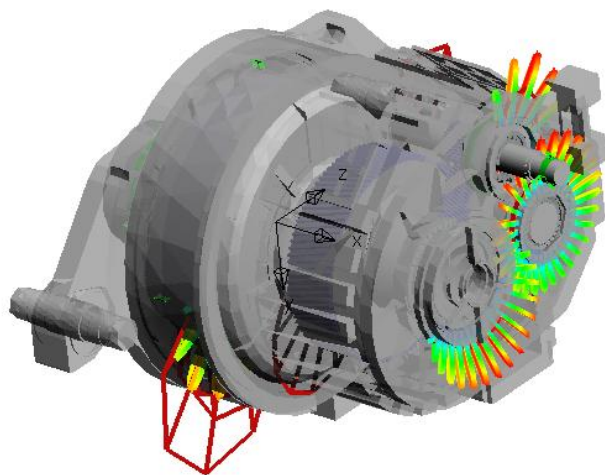


Composizione di BEARINX® e FEA

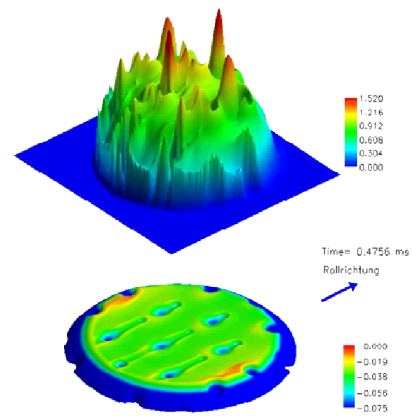
FEA – matrice di rigidezza dell'alloggiamento



➤ Importazione della matrice di rigidezza FEA dell'alloggiamento in BEARINX®



Contatti meccanici

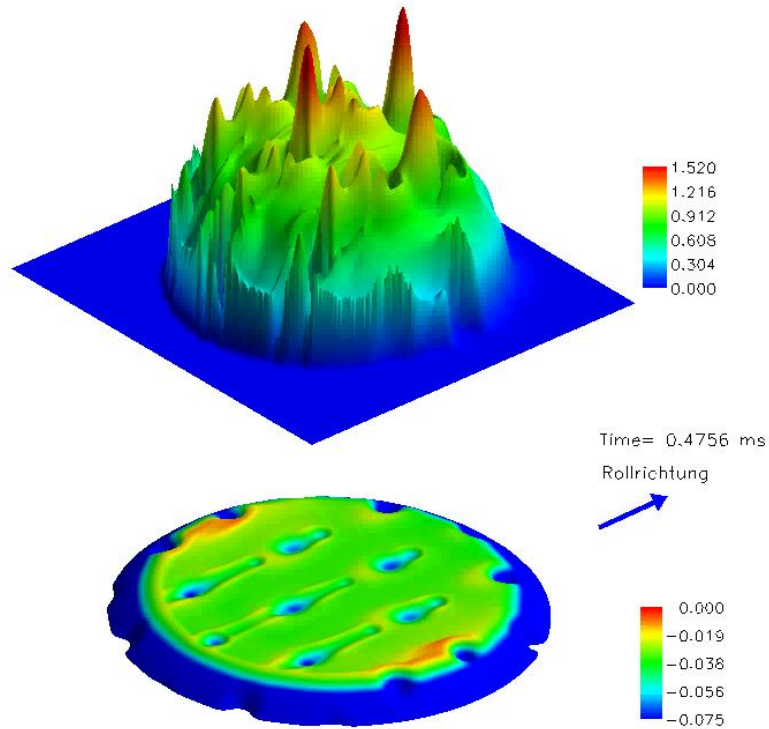


Contatti meccanici

Analisi di superfici strutturate



Esempio:
palla da golf



pressione di contatto

spessore film d'olio

- Analisi di superfici strutturate
- Determinazione del film d'olio e dell'attrito

Simulazione di cuscinetti volventi

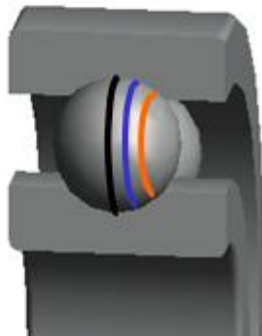
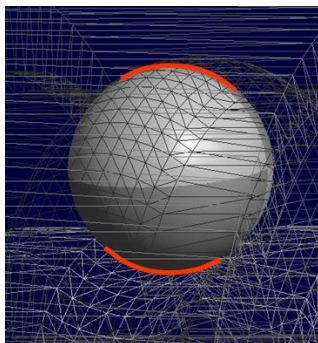


Simulazione di cuscinetti volventi

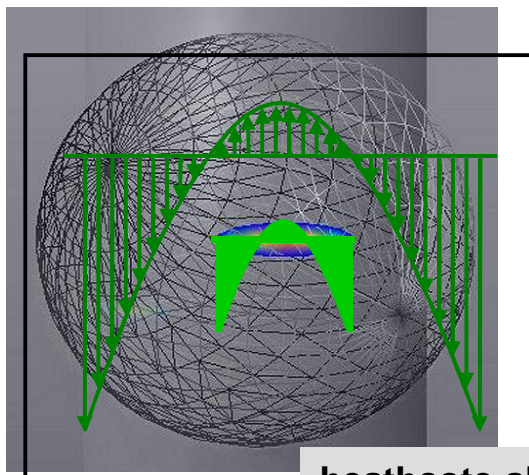
Esempio : Simulazione dell'effetto heathcote nei cuscinetti a sfere



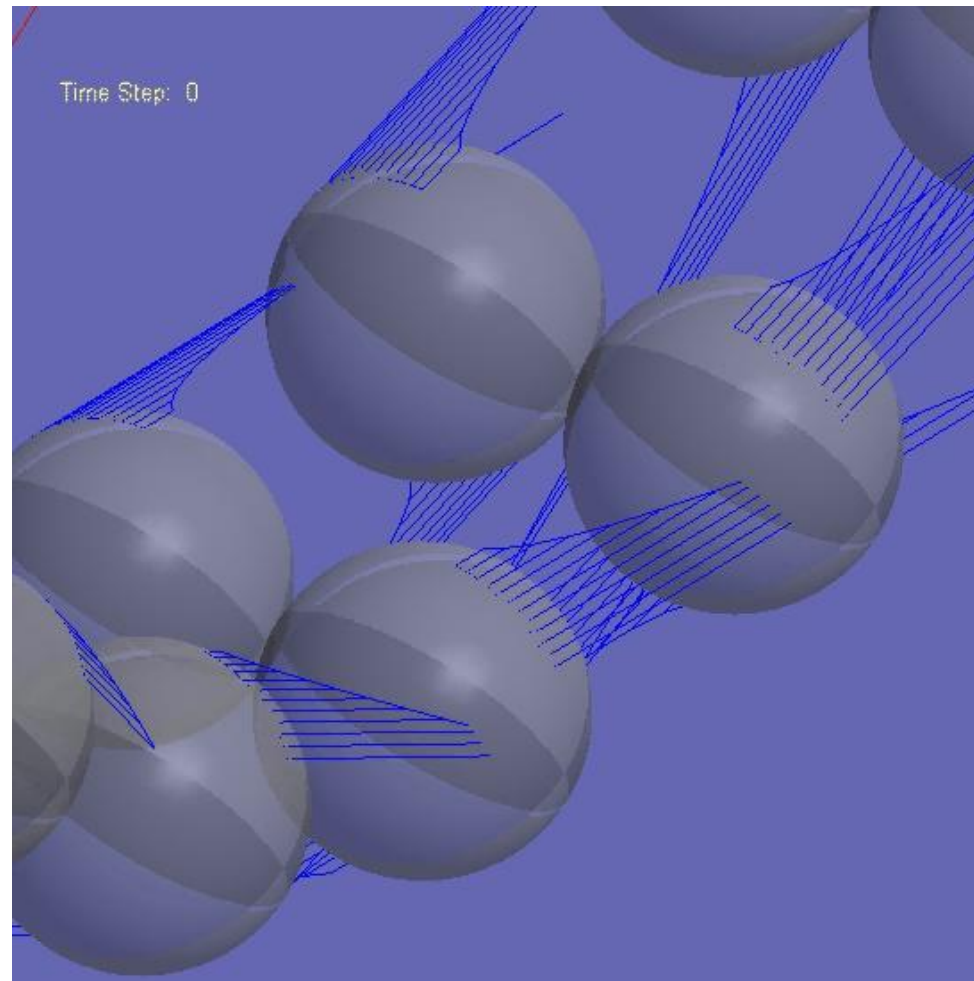
Esempio:



Slittamenti:



heathcote slip



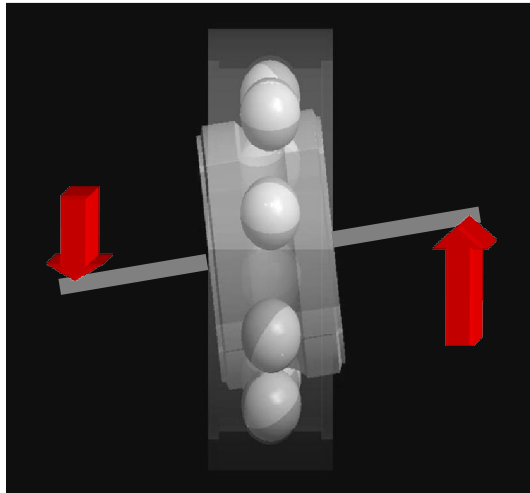
➤ Simulazione degli slittamenti in un cuscinetto a sfere

Simulazione di cuscinetti volventi

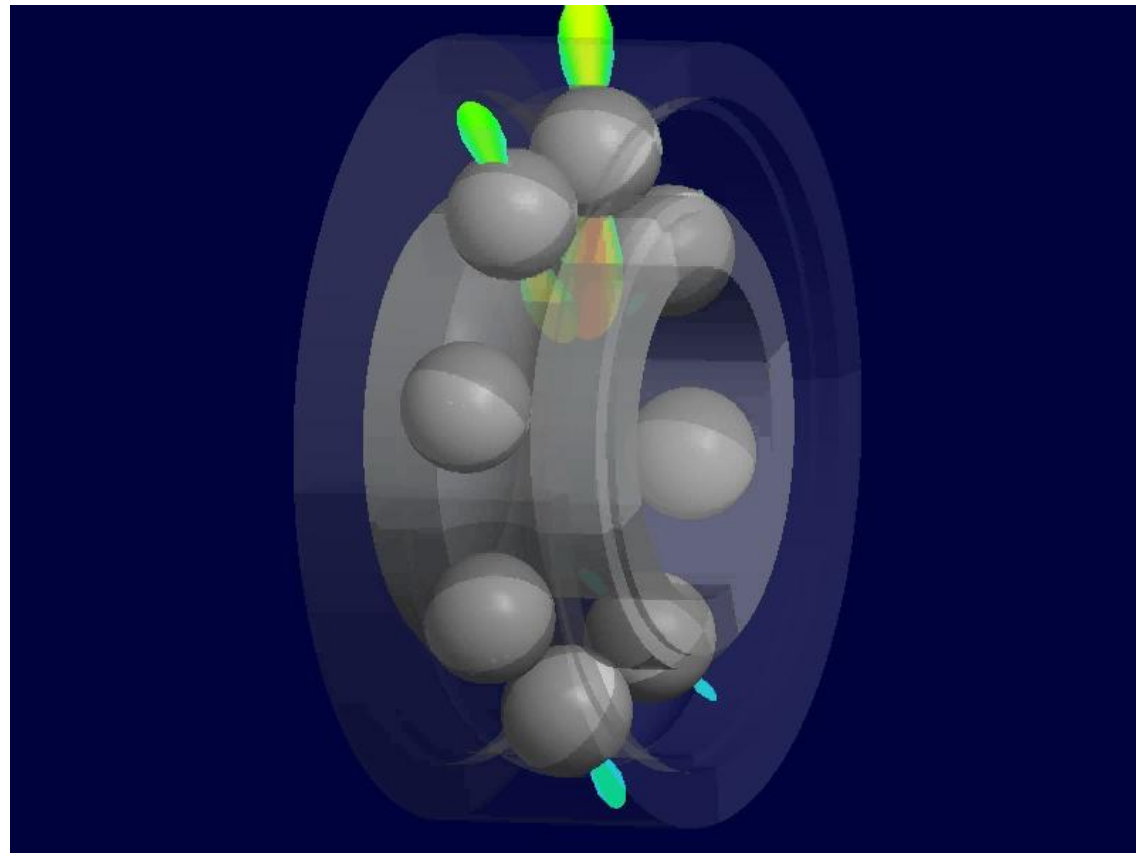
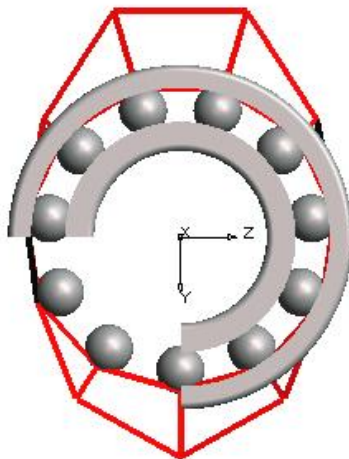
Esempio: cuscinetto a sfere con momento ribaltante



Esempio:



Distribuzione di carico:

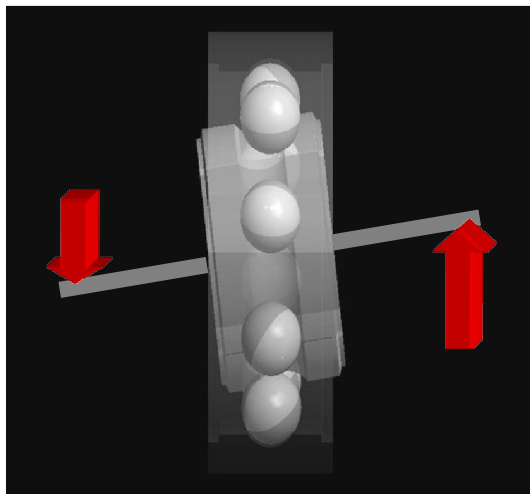


Simulazione di cuscinetti volventi

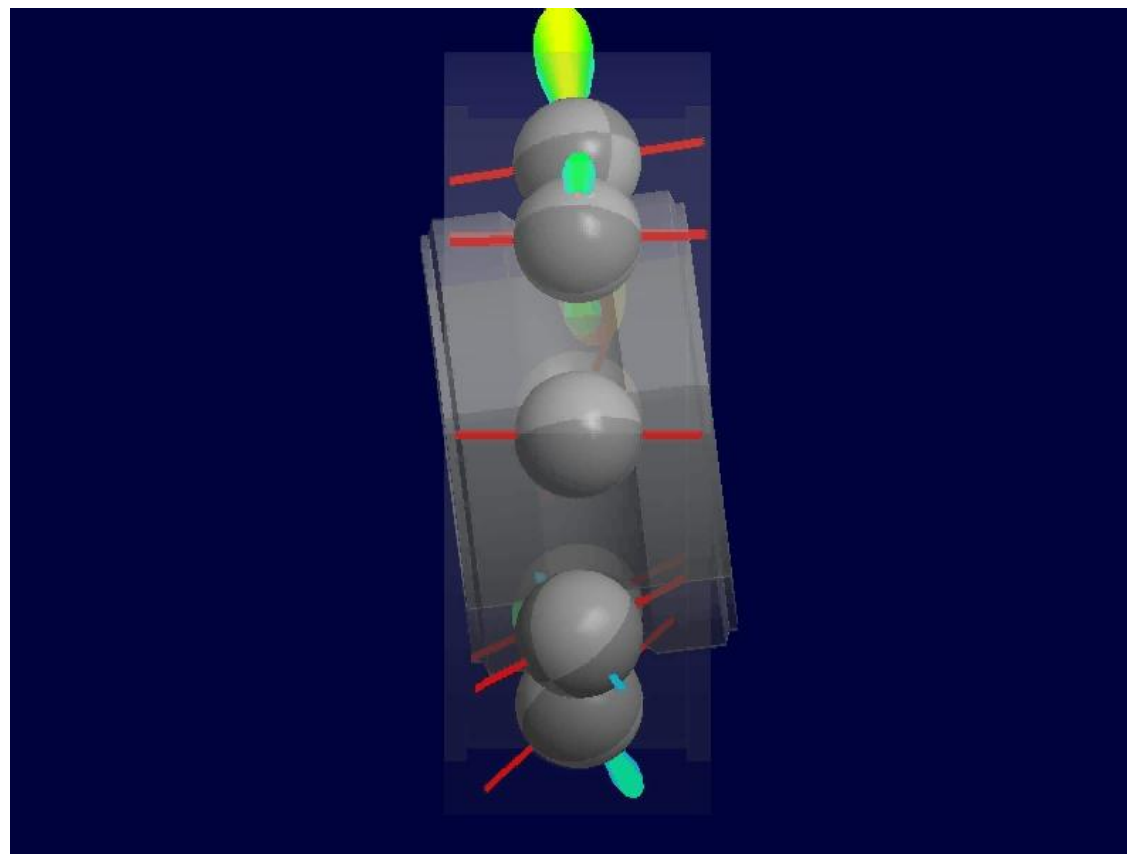
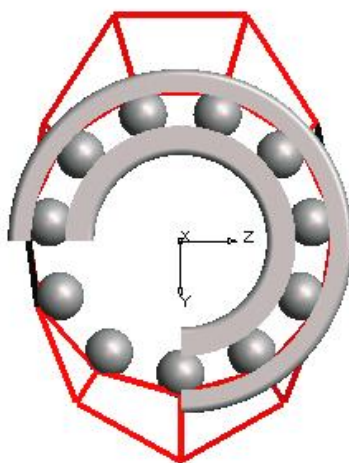
Esempio: cuscinetto a sfere con momento ribaltante



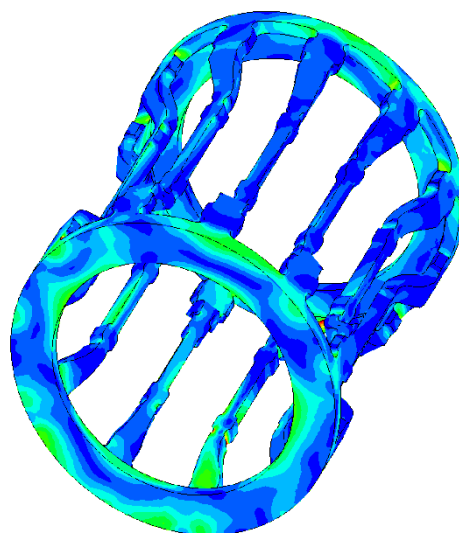
Esempio:



Distribuzione di carico

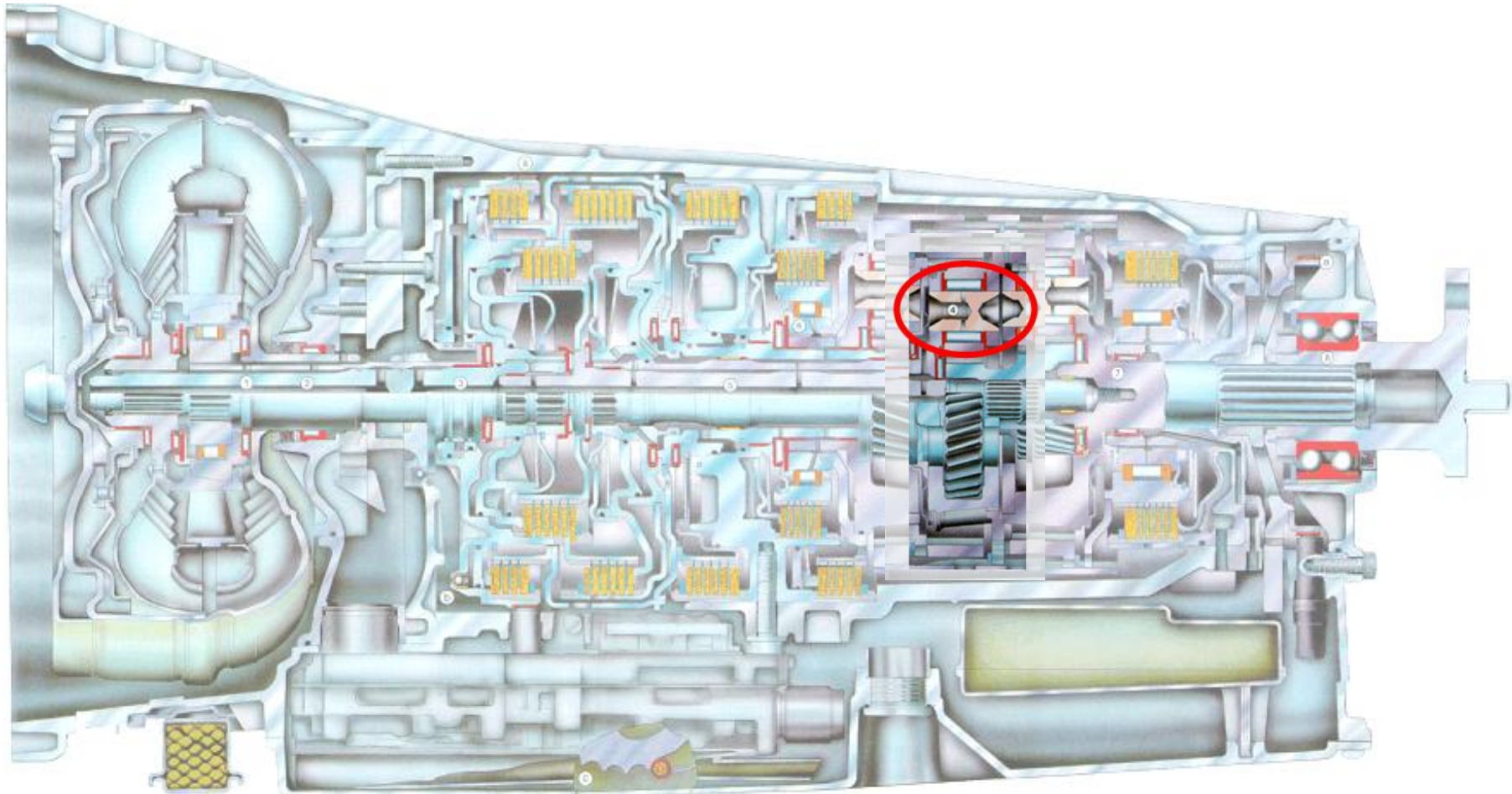


Analisi dinamica agli elementi finiti



Analisi dinamica agli elementi finiti

Esempio: Cambio automatico - planetario

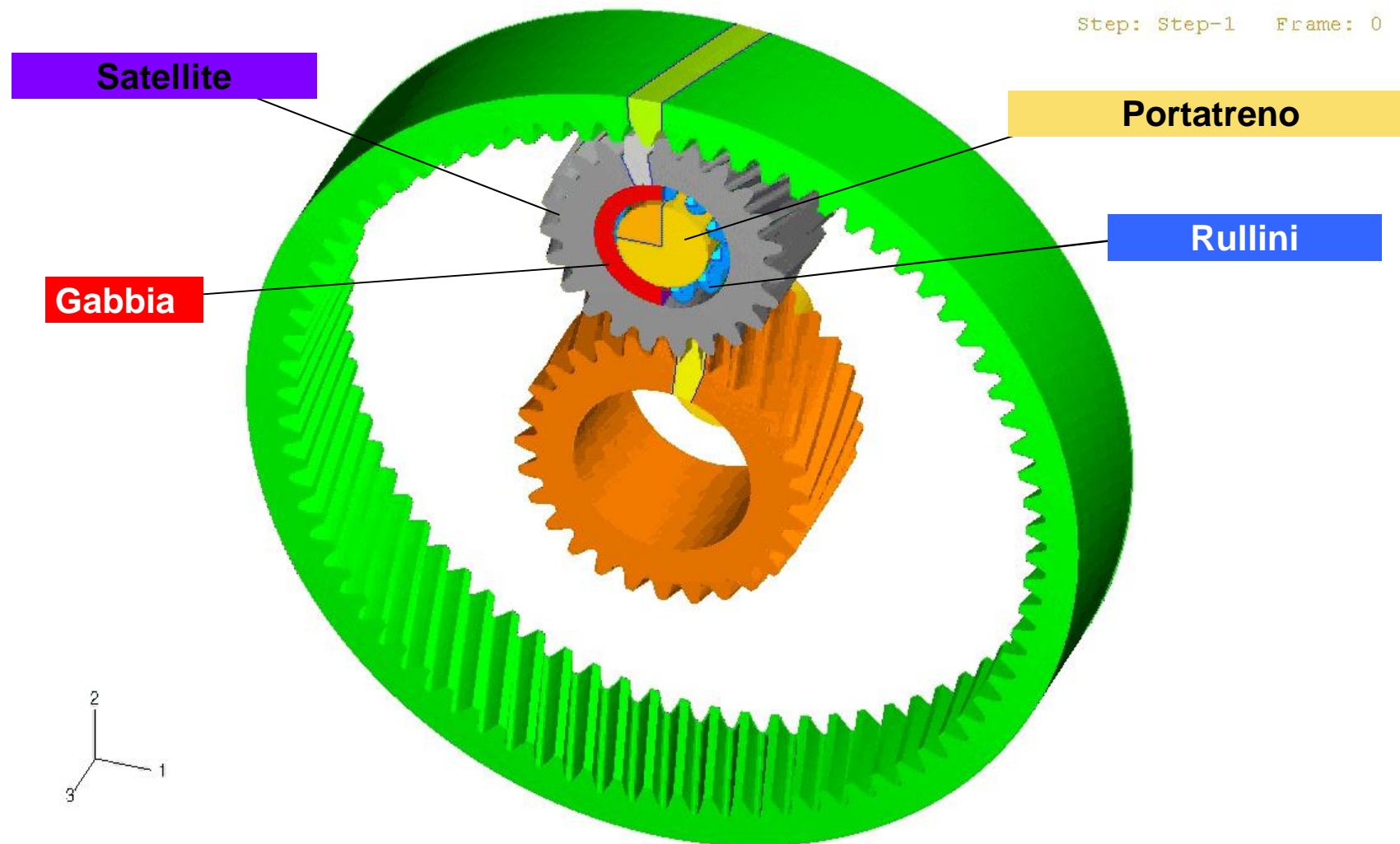


Analisi dinamica agli elementi finiti

Esempio: gabbia a rullini per planetario

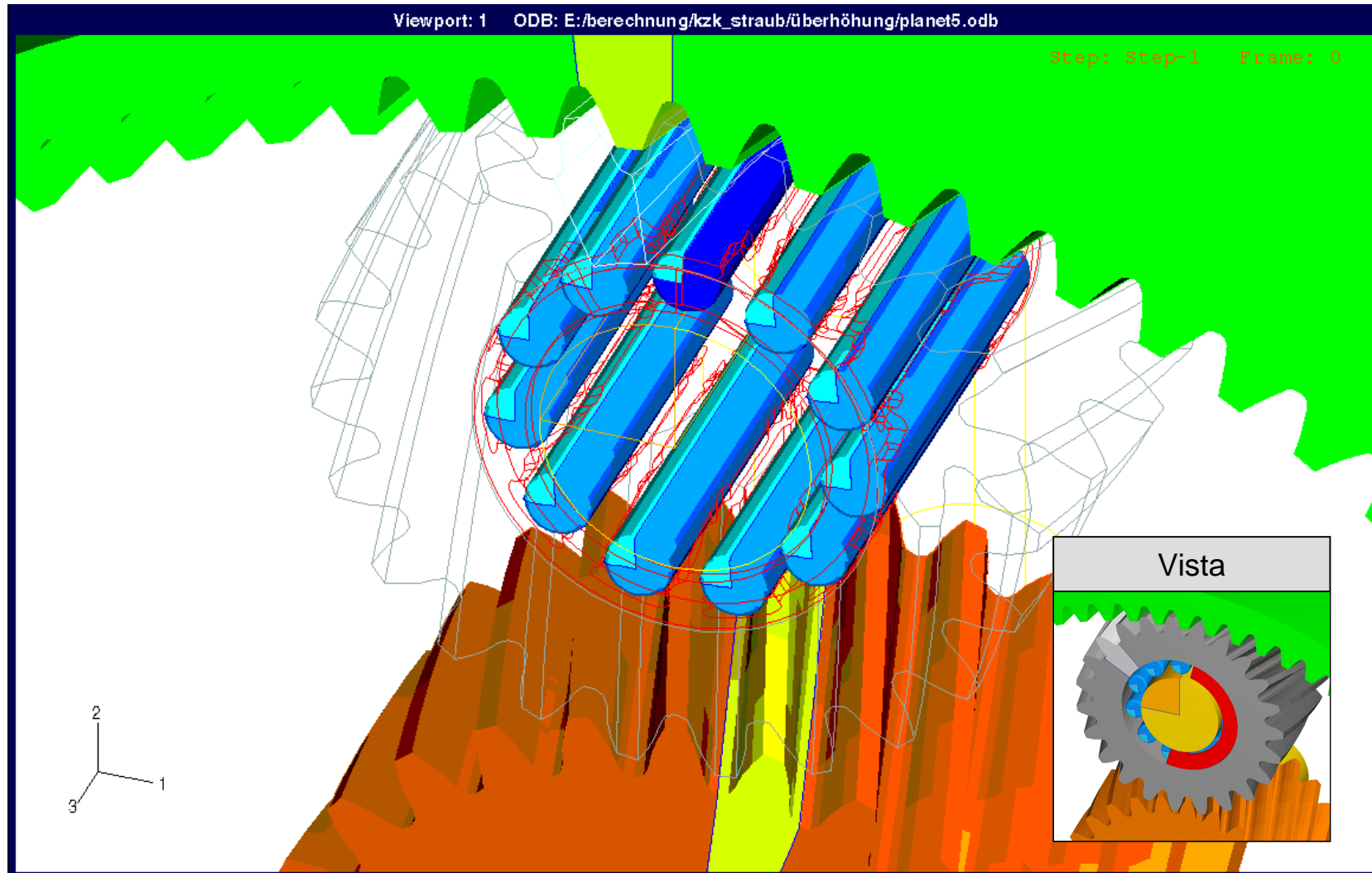


Step: Step-1 Frame: 0



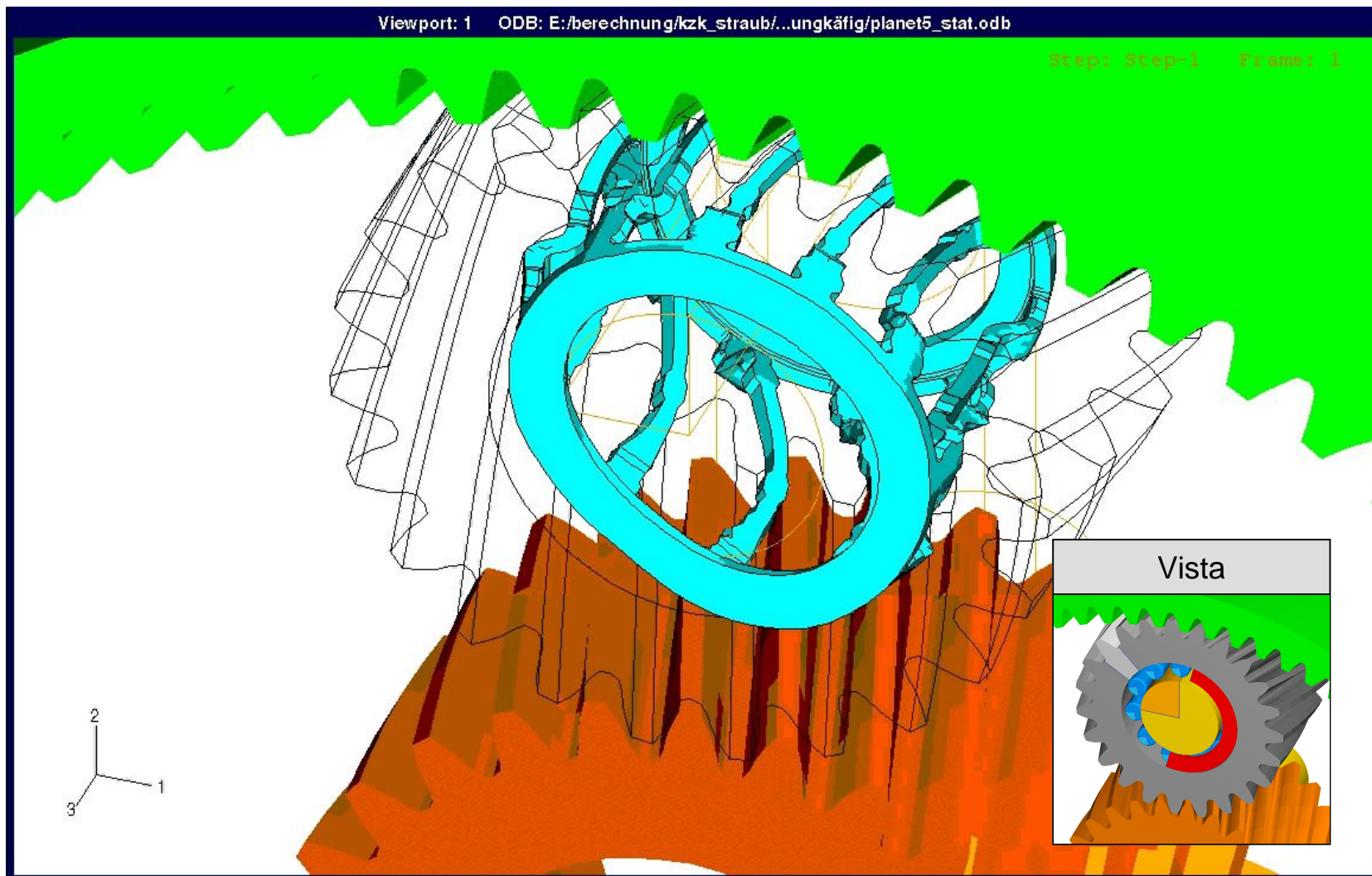
Analisi dinamica agli elementi finiti

Esempio: cinematica dei rullini (scala 10 :1)



Analisi dinamica agli elementi finiti

Esempio: deformazioni elastiche della gabbia (scala 50 : 1)

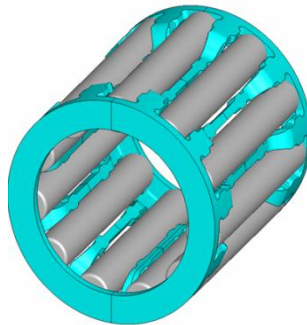


Analisi dinamica agli elementi finiti

Esempio: gabbia per planetario – Ottimizzazione

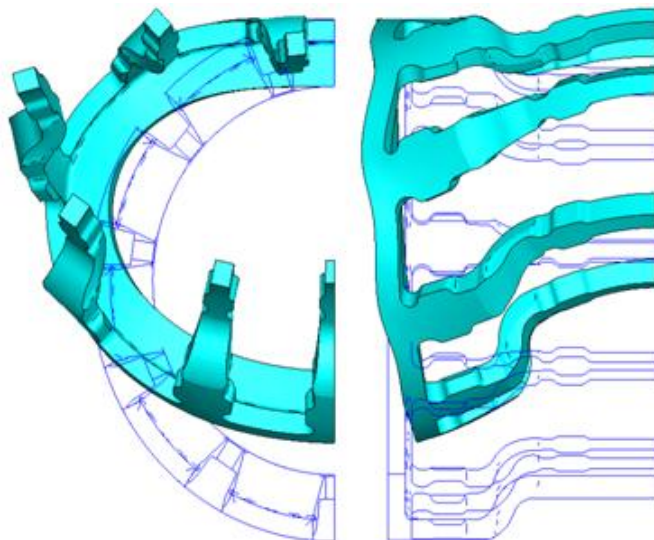
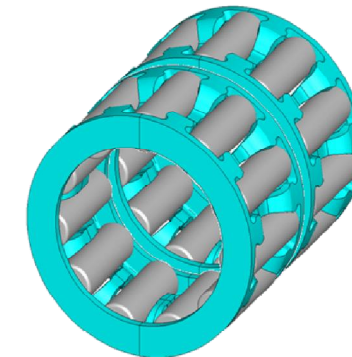


Design monocorona



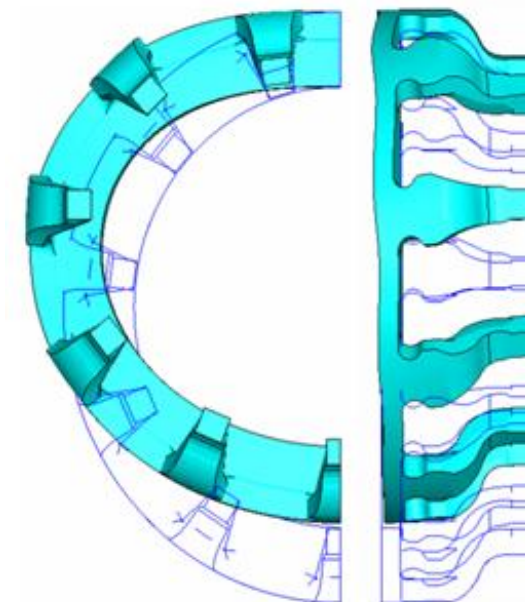
- La FEA dinamica permette di considerare effetti dinamici e attriti
- Interazione tra effetti diversi
- Risultati della simulazione aderenti alla realtà

Design a doppia corona



Deformazioni elastiche (100 volte)

Riduzione della flessione dei ponti





Evoluzione di prodotti e processi tecnologici

Prodotti X-Life



Cuscinetti a rullini



Cuscinetti orientabili E1



Snodi sferici Elges



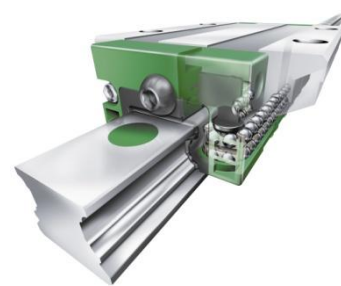
Cuscinetti per mandrini



Cuscinetti a rulli cilindrici

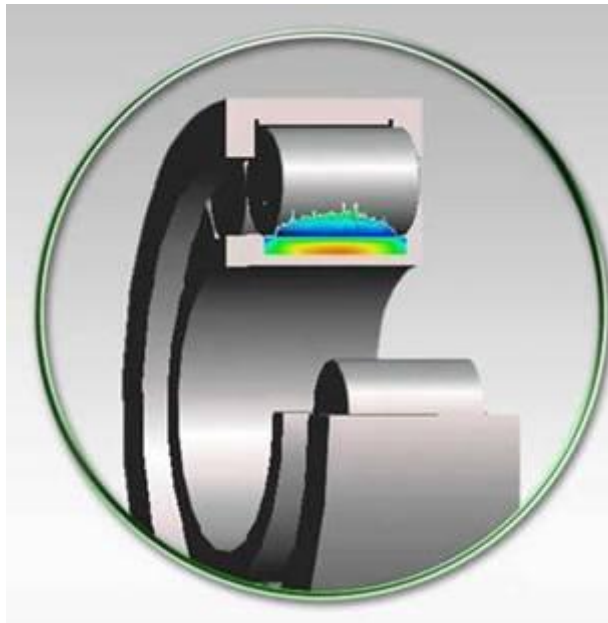


Unità a ricircolazione di rulli RUE

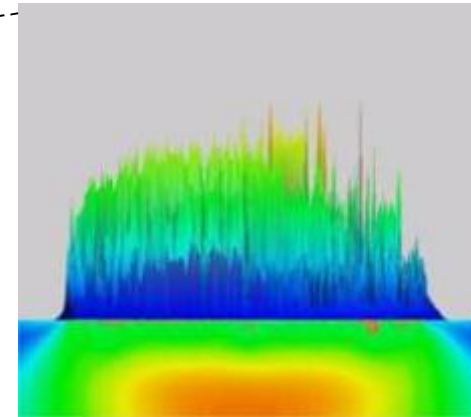


Unità a ricircolazione di sfere KUVE

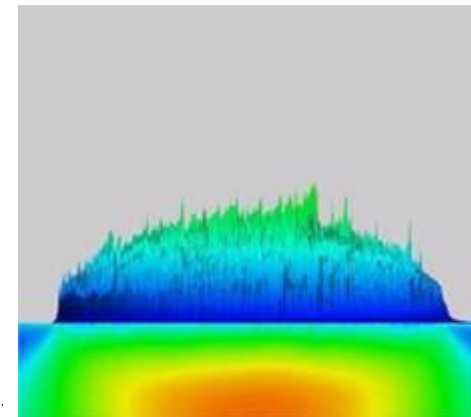
Confronto delle superfici



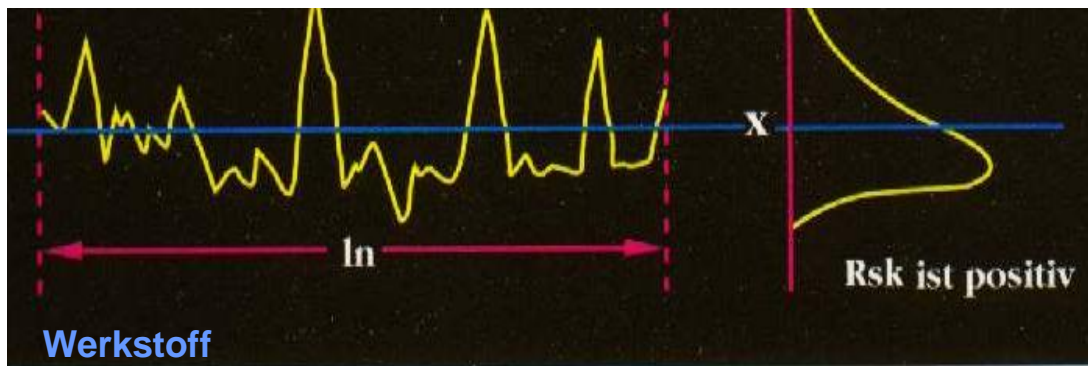
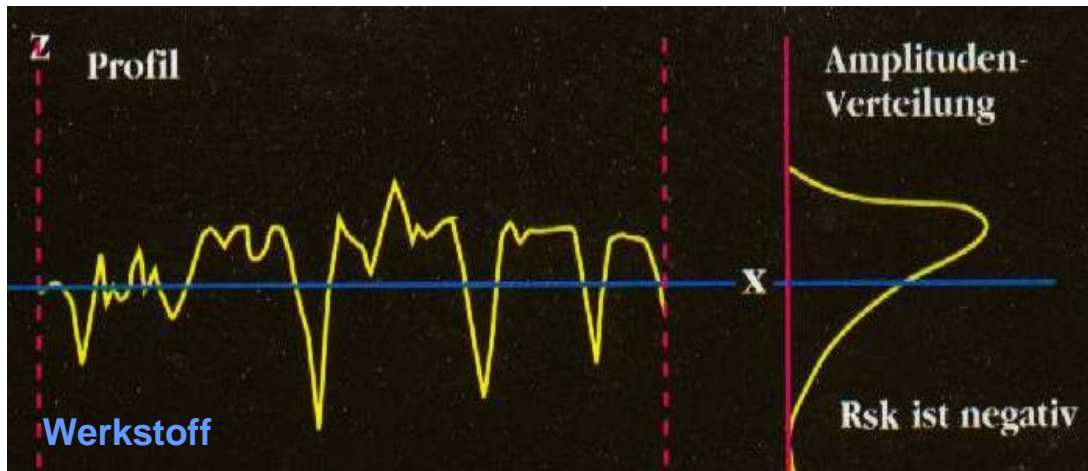
Superficie
standard



Superficie
ottimizzata



Asimmetria della rugosità



→ Rsk è identico a Ra, ma descrive l'andamento dei picchi e delle valli

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^3(x) dx \right]$$

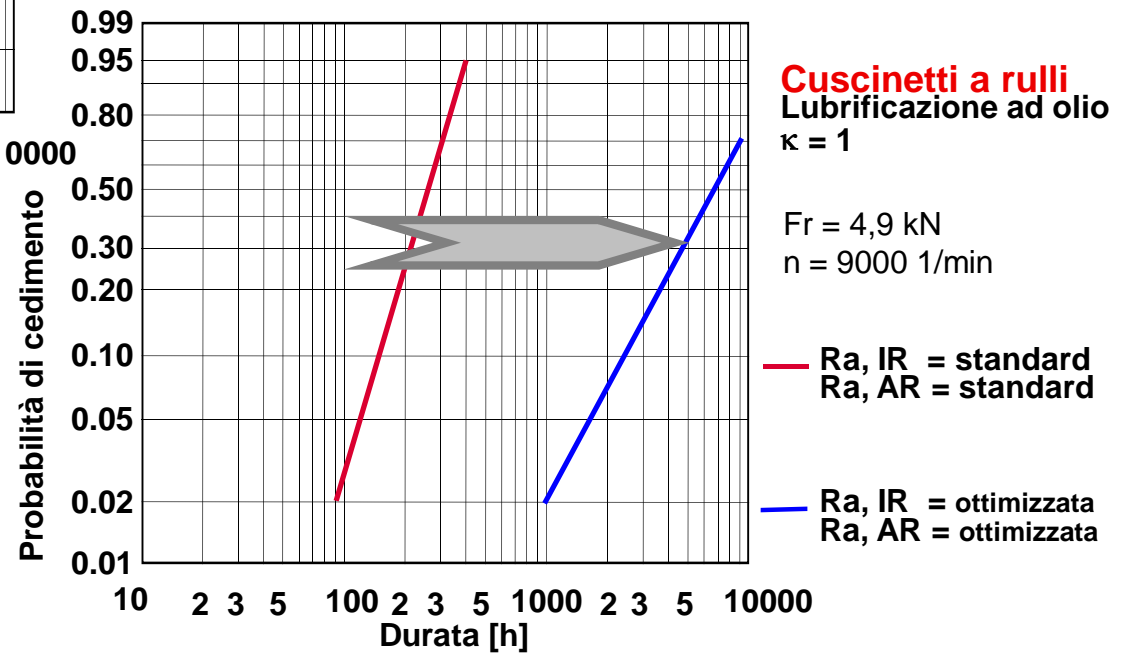
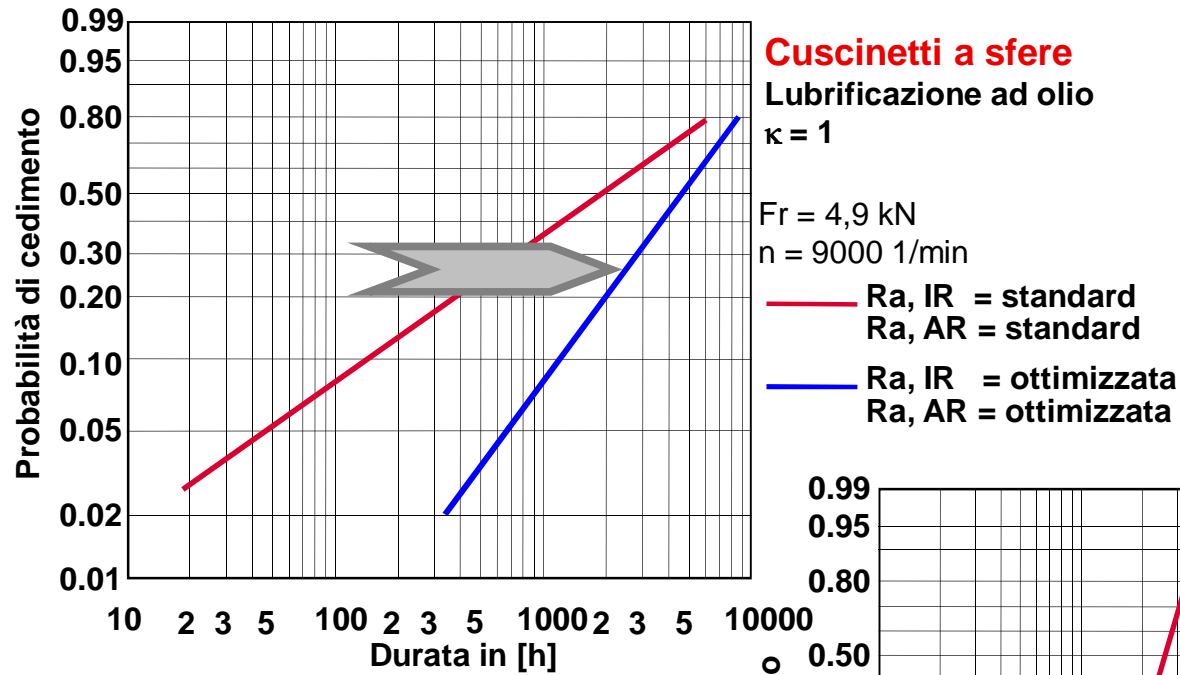
Con Rsk negativo:

a basse velocità di rotazione è già possibile la lubrificazione elastoidrodinamica.

Risultato

→ minore attrito ed usura

Cuscinetti X-Life: influsso della rugosità



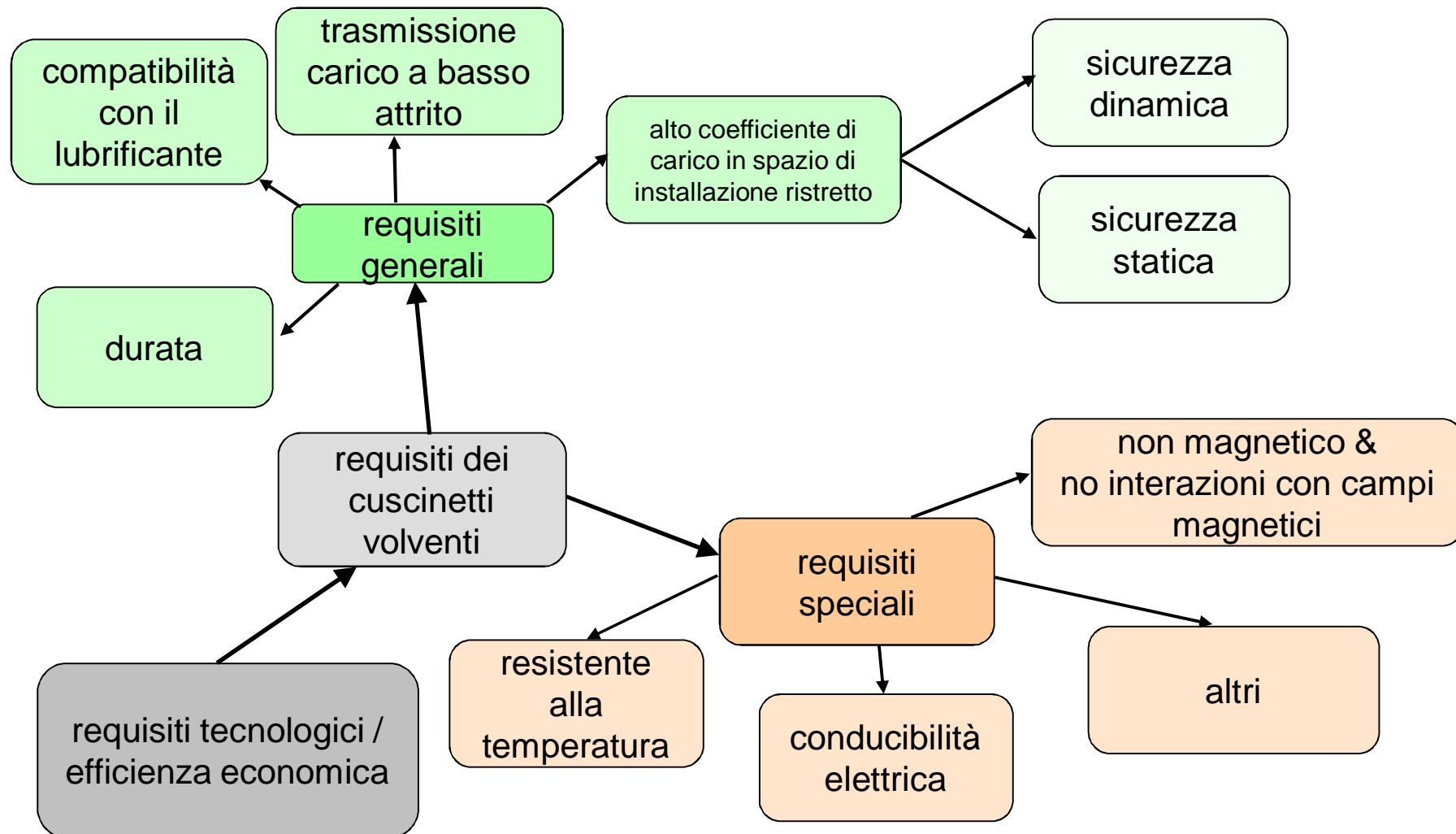


Evoluzione dei materiali

Requisiti dei materiali per cuscinetti volventi



Requisiti cuscinetti volventi = requisiti materiali



Materiali per cuscinetti volventi



Table 1.1 Through-hardening rolling bearing steels

Steel grade Code or material number	DIN	Chemical composition (wt%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
100 Cr 6 1.3505	17230	0.90	0.15	0.25	0	0	1.35	--	0
		1.05	0.35	0.45	0.030	0.025	1.65	--	0.30
100 CrMn 6 1.3520	17230	0.90	0.50	1.00	0	0	1.40	--	0
		1.05	0.70	1.20	0.030	0.025	1.65	--	0.30
100 CrMo 7 1.3537	17230	0.90	0.20	0.25	0	0	1.65	0.15	0
		1.05	0.40	0.45	0.030	0.025	1.95	0.25	0.30
100 CrMo 73 1.3536	17230	0.90	0.20	0.60	0	0	1.65	0.20	0
		1.05	0.40	0.80	0.030	0.025	1.95	0.35	0.30
100 CrMnMo 8 1.3539	17230	0.90	0.40	0.80	0	0	1.80	0.50	0
		1.05	0.60	1.10	0.030	0.025	2.05	0.60	0.30
SAE 52100		0.98	0.20	0.25	0	0	1.30	--	--
		1.10	0.35	0.45	0.025	0.025	1.60	--	--
SUJ 2		0.95	0.15	0	0	0	1.30	--	0
		1.10	0.35	0.50	0.025	0.025	1.60	--	0.25

100 Cr 6 corrisponde approssimativamente a SAE 52100
Acciaio standard per cuscinetti

Standard heat treatment



The normal heat treatment for through-hardening rolling bearing steels of the 100Cr6 group consists of:

- austenitizing (annealing) under protective gas at 830 - 860 °C
- quenching in oil bath to 60 - 80 °C
- washing at 30 - 60°C for 10 min
- tempering in air at 160 - 180 °C for 2h, 180°C for rings
- cooling in air

This gives tempered, fine needle shaped martensite with finely distributed carbides. The hardness is 60+4 HRC.

Materiali – trattamenti termici esempi



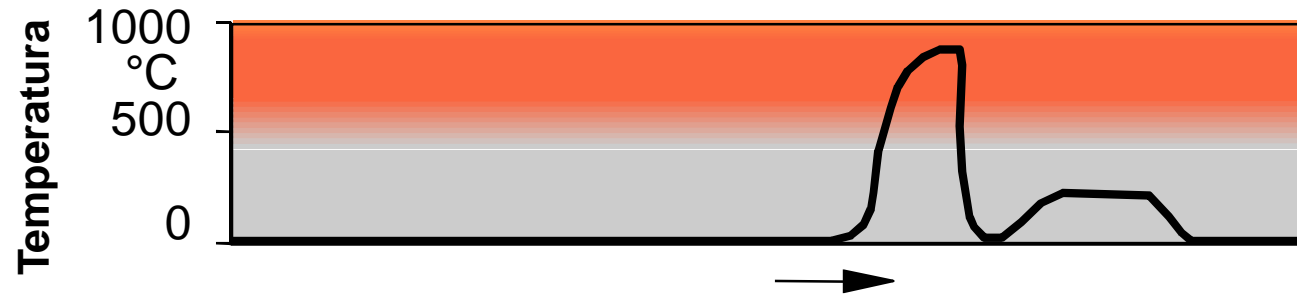
Acciaio al cromo.
100 Cr 6
Tempra martensitica

Vantaggi

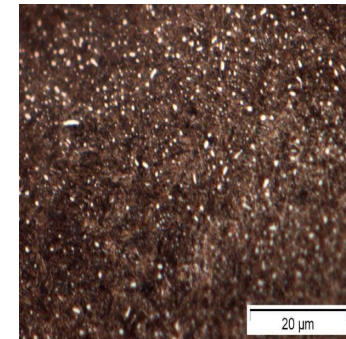
- Elevata durezza
- Proprietà omogenee
- Costi moderati

ma:

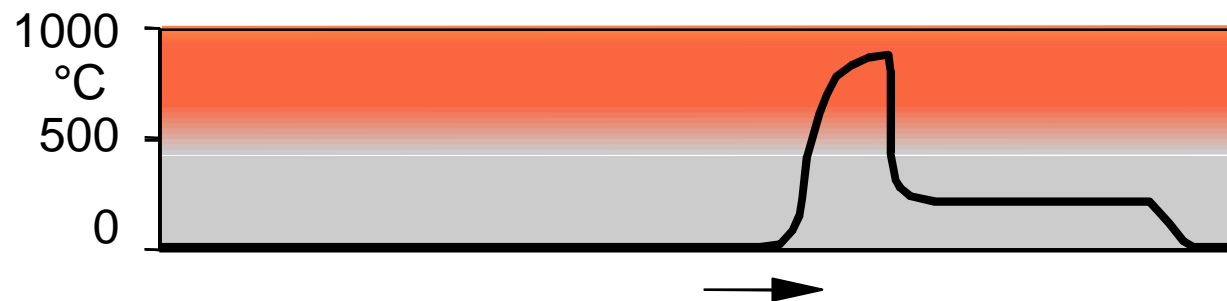
- Tensioni residue di trazione
- Limitazioni dimensionali



Uso: cuscinetti standard



Acciaio 100 Cr 6
tempra bainitica



Materiali – trattamenti termici esempi

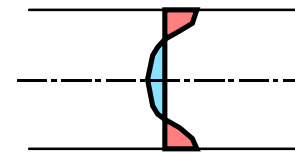
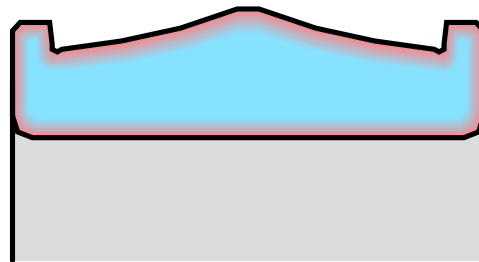


Processo termico

Tensione residua / sezione
Compressione Tensione

Durezza
ottenibile
(HRC)

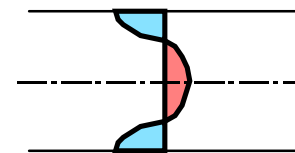
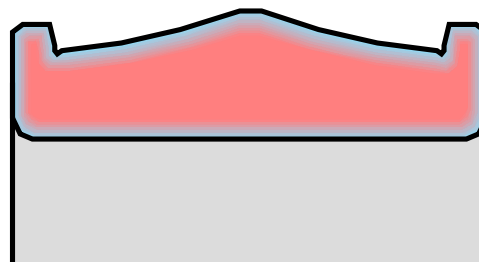
Tempra
a cuore
martensitica



≈ 100
N/mm²

58...65

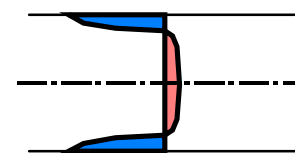
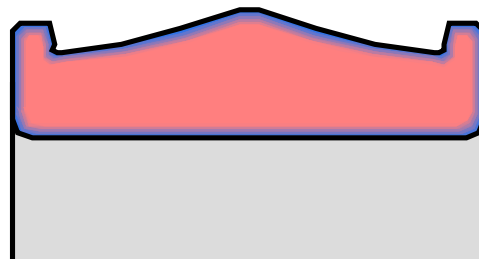
Tempra
bainitica



≈ 100...200
N/mm²

58...62

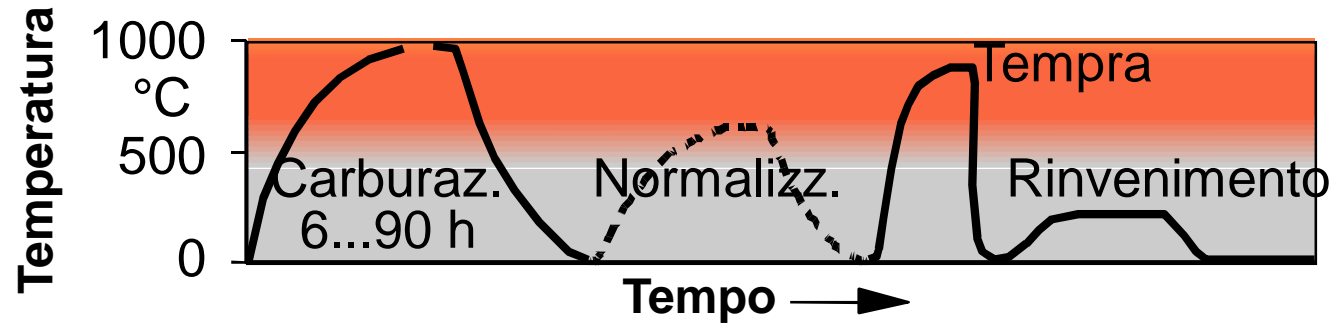
Cementazione



≈ 200...400
N/mm²

58...65

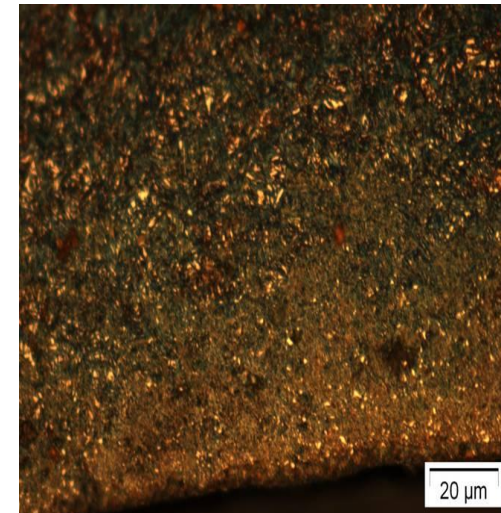
Carburazione e tempra di acciai a basso tenore di carbonio



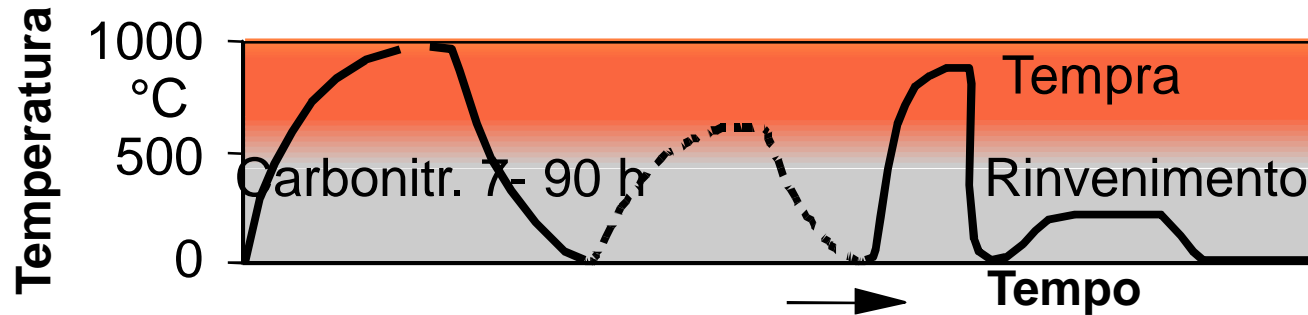
Uso: cuscinetti di grandi dimensioni e sottoposti ad urti

Vantaggi

- Cementazione, cuore duttile
- No limitazioni dimensionali
- Tensioni residue di compressione



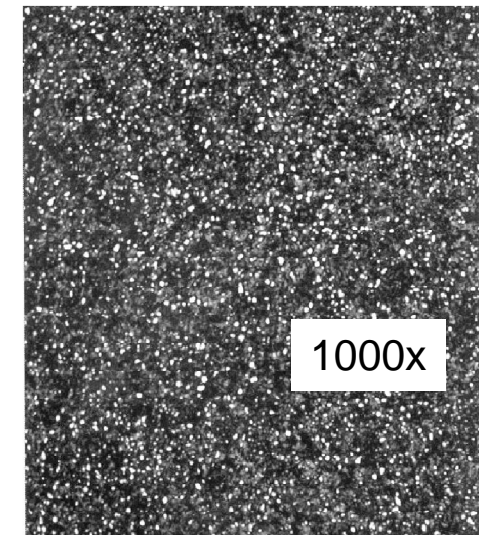
Carbonitrurazione di acciai a basso tenore di carbonio



Uso: cuscinetti per condizioni gravose

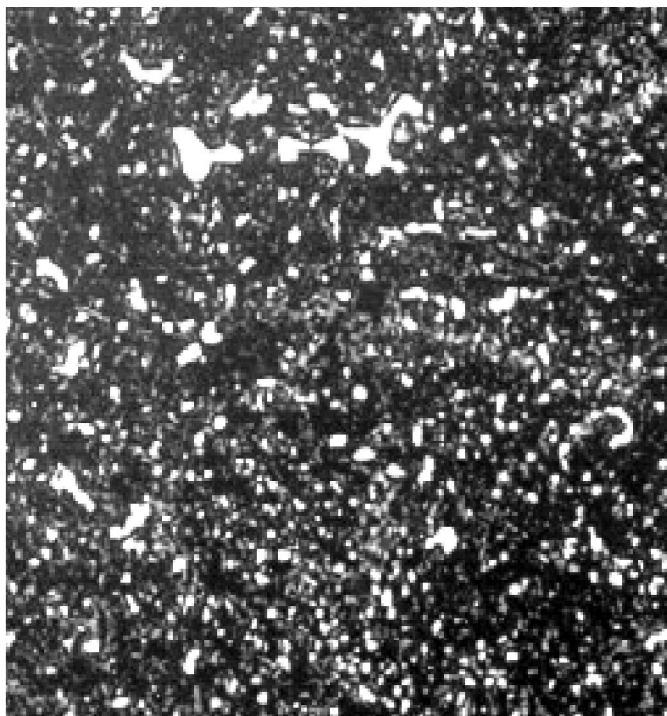
Vantaggi

- Aumento della durata
- Elevata durezza
- Buona resistenza all'usura
- Tensioni residue di compressione



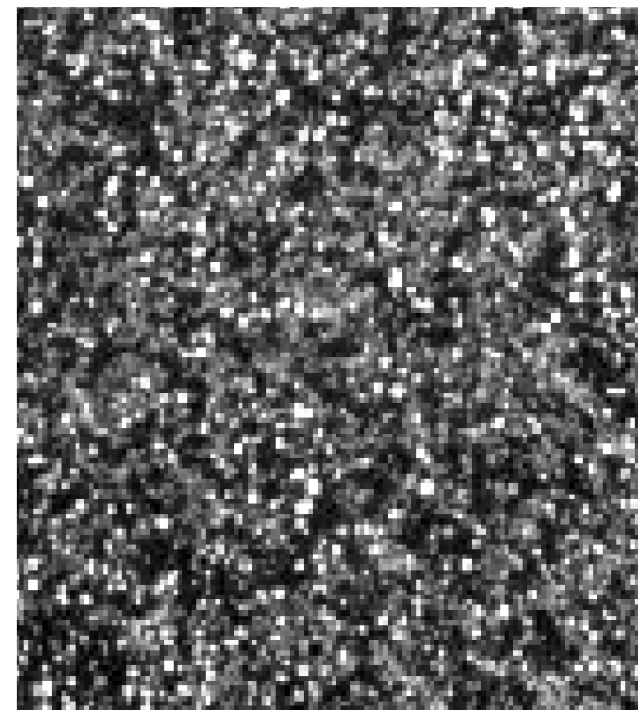
**Carbonitrurazione:
allungare la vita
d'esercizio dei
cuscinetti volventi in
100Cr6**

STRUTTURA DELLA MATRICE METALLICA



ACCIAIO CARBURATO

DISTRIBUZIONE DISUNIFORME
DEI CARBURI



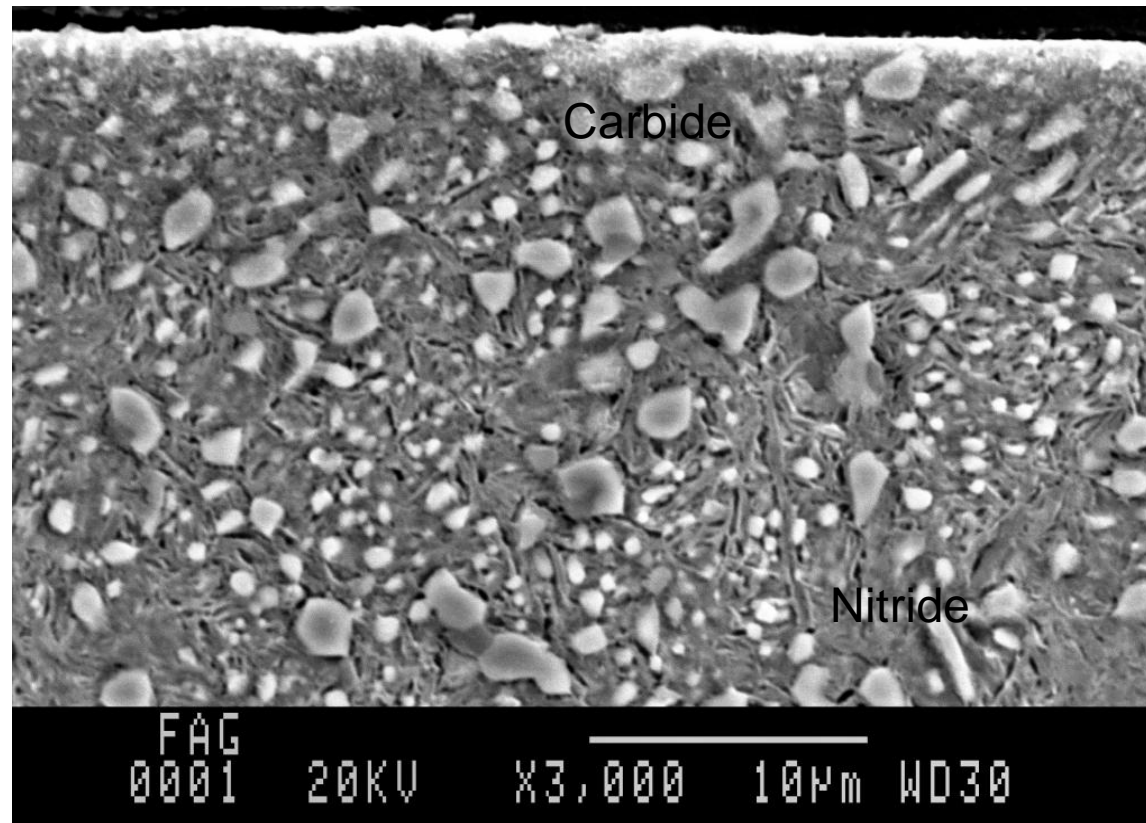
ACCIAIO CARBONITRURATO

DISTRIBUZIONE FINE E
UNIFORME DEI CARBURI

Carbonitrurazione



Microstruttura di uno strato superficiale carbonitrurato

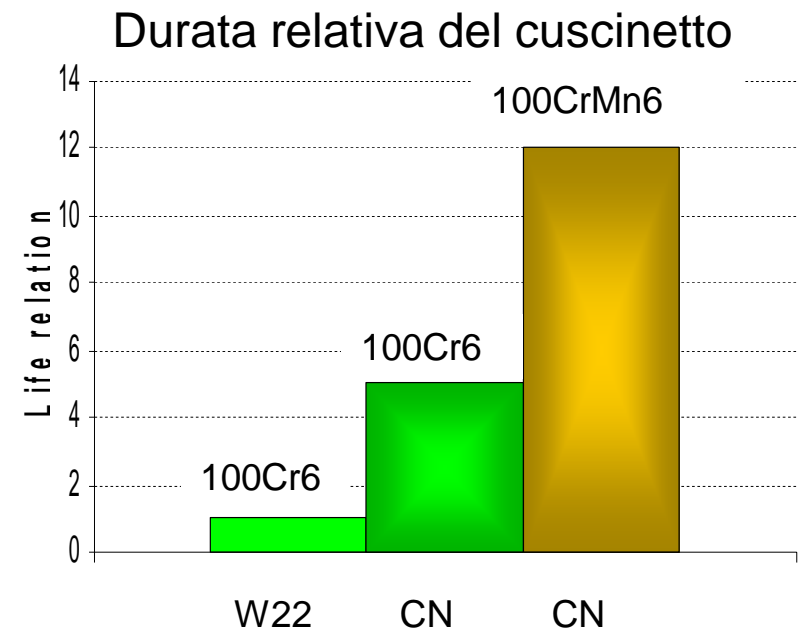
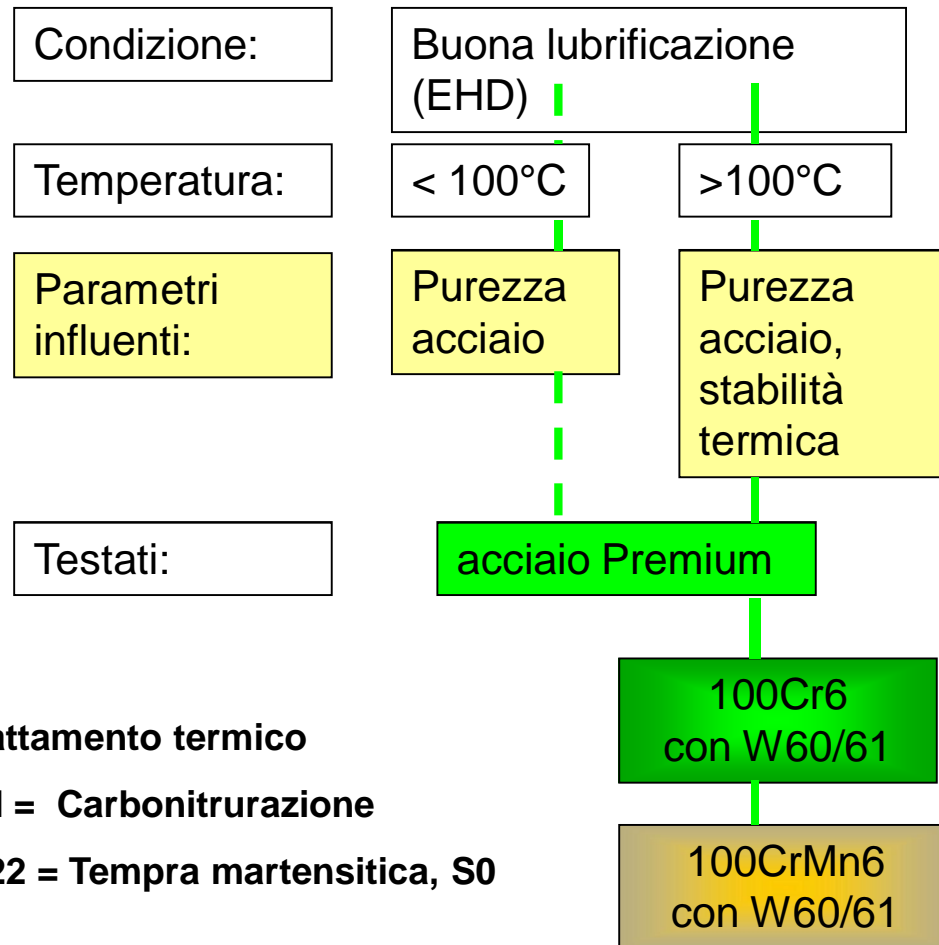


→ I nitruri sono più piccoli dei carburi e distribuiti più uniformemente
Il risultato è una maggiore resistenza e alta tenacità

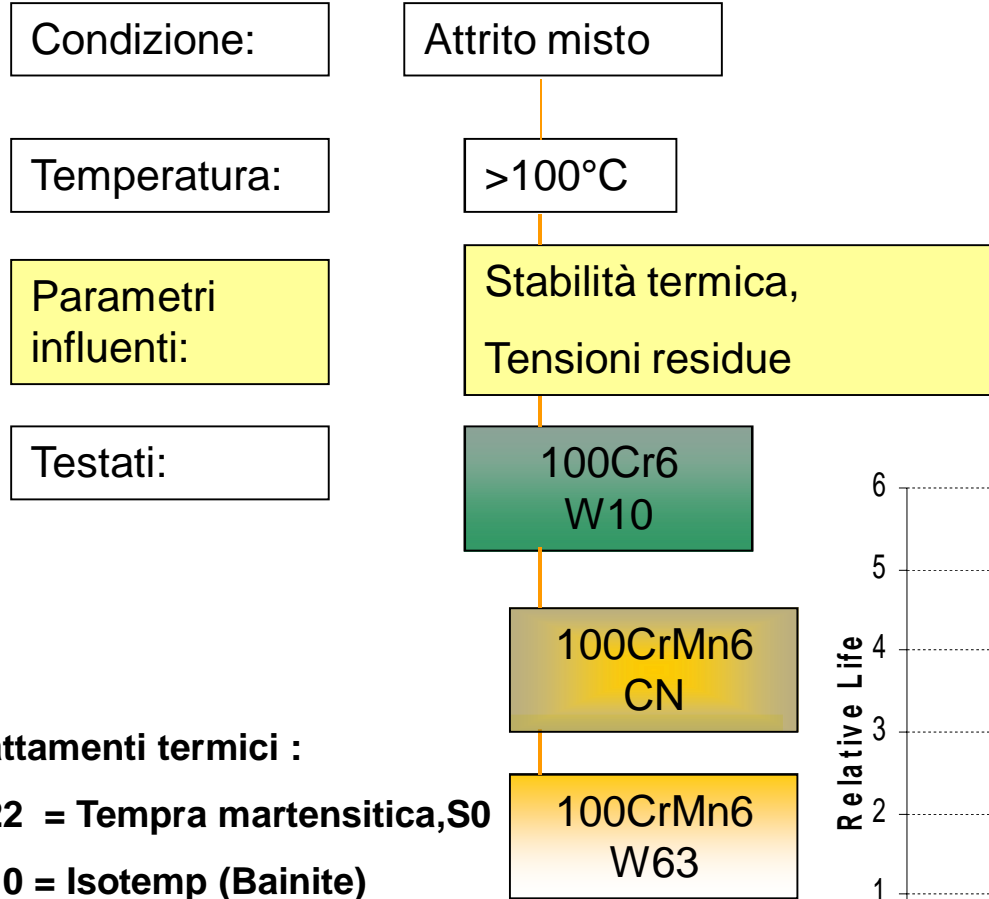
Incremento delle prestazioni dei cuscinetti



Condizioni EHD

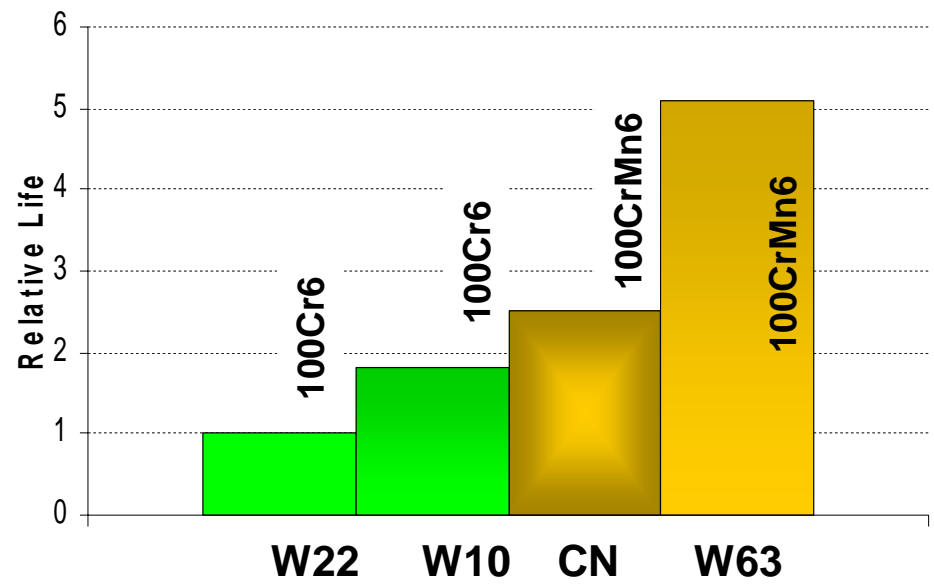


Incremento delle prestazioni dei cuscinetti – Attrito misto



Trattamenti termici :
W22 = Tempra martensitica, S0
W10 = Isotemp (Bainite)
CN = Carbonitrurazione
W63 = Carbonitrurazione, tempra bainitica

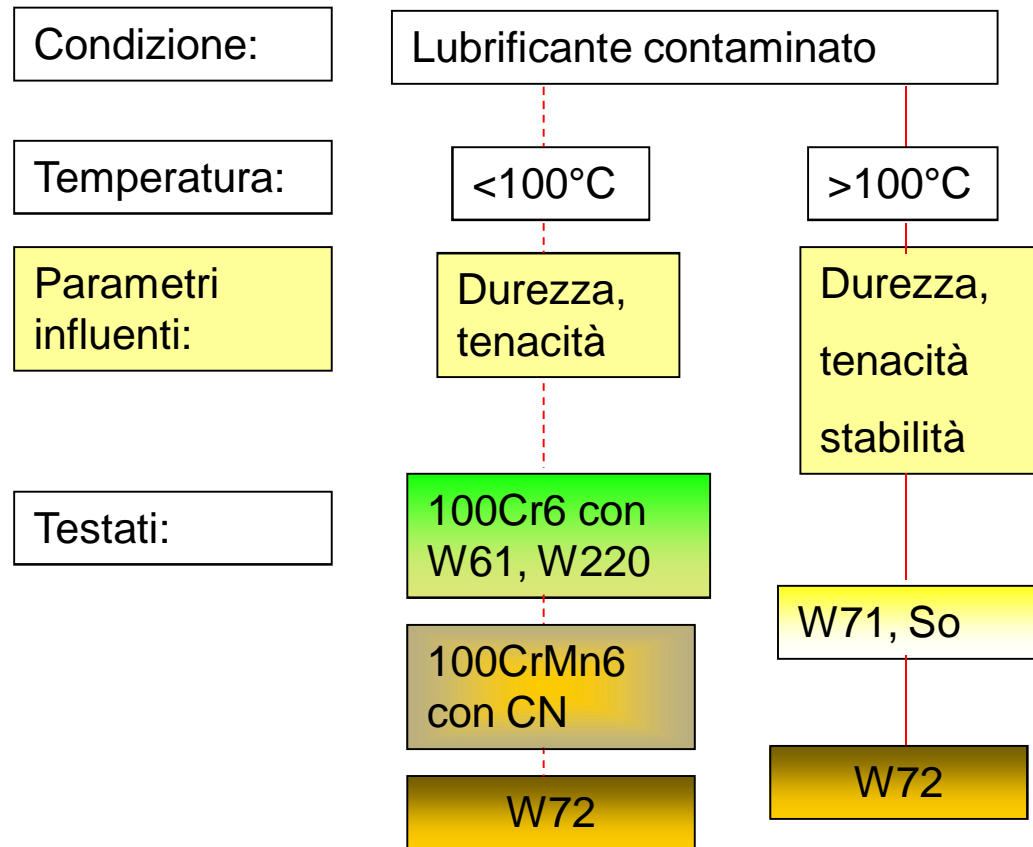
Durata relativa del cuscinetto



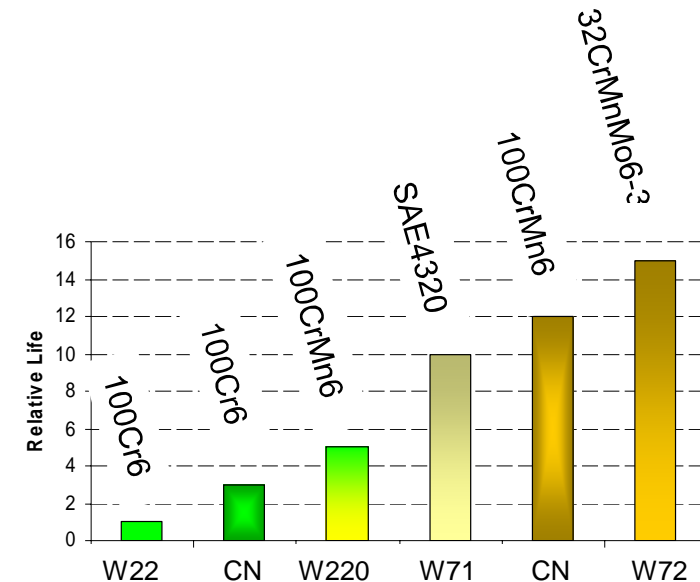
Incremento delle prestazioni dei cuscinetti



Ricalcatura particelle



Durata relativa

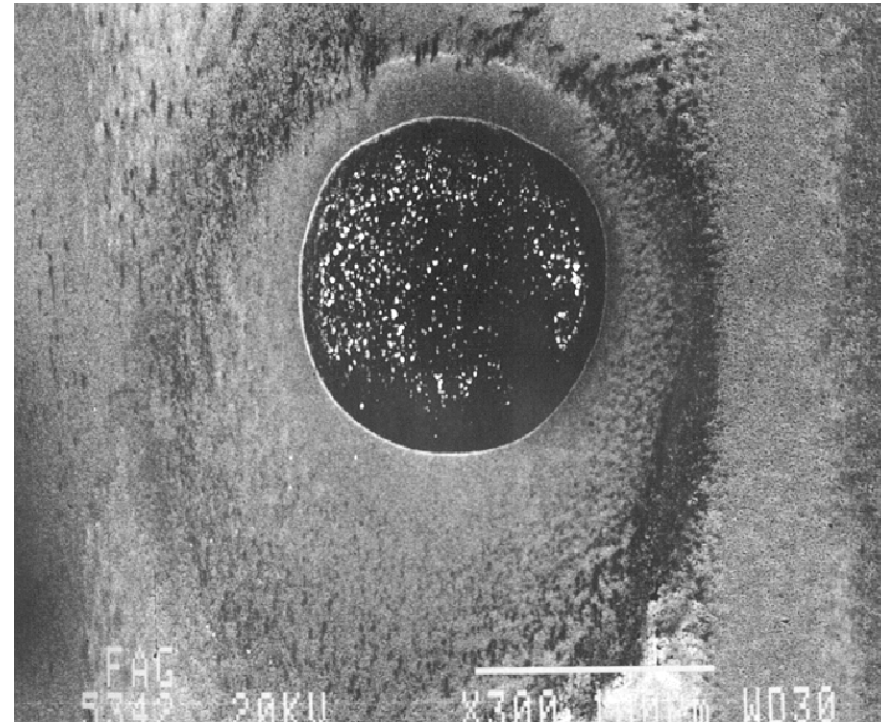


W22 = martensit. temprato, So CN = Carbonitrurato
 W220 = 100CrMn6, contenuto di austenite residua controllato
 W71 = Cementato W63 = Carbonitrurato + Bainite
 W72 = Cementato, carbonitrurato

Incremento delle prestazioni dei cuscinetti - Ricalcatura particelle



Inizio danneggiamento dopo 40 ore funzionamento con acciaio 100Cr6 e contenuto austenite residua 13%



Nessun danneggiamento dopo 1500 ore, angoli spianati, tenacità dovuta a elevata austenite res. (25%) dopo carbonitrurazione
Acciaio: 100CrMn6

Cronidur

Acciaio HNS (High Nitrogen Steel)

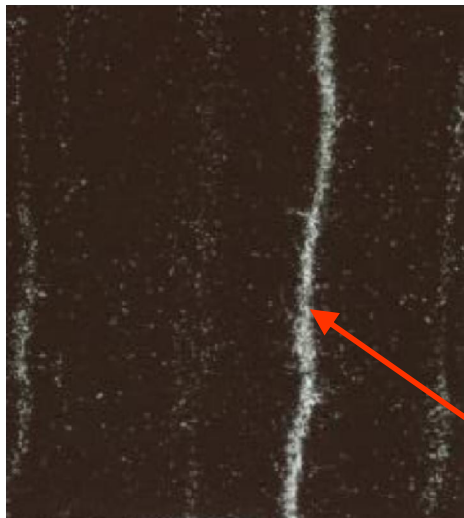


Composizione del materiale

Elemento	C	N	Si	Cr	Mo
100Cr6	1,04	-	0,25	1,45	-
HNS	0,31	0,38	0,55	15,2	1,02

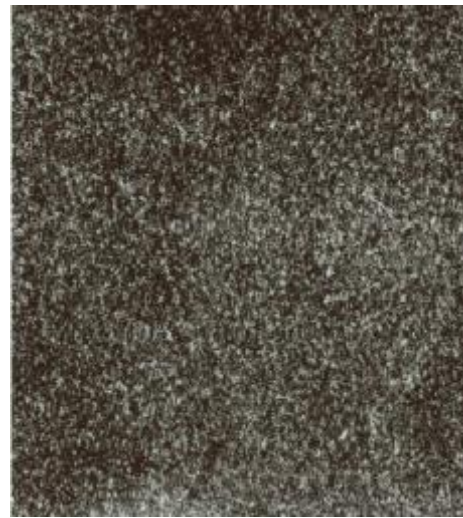
X 30 CrMoN 15 1

Confronto della Microstruttura



100Cr6

Carburi



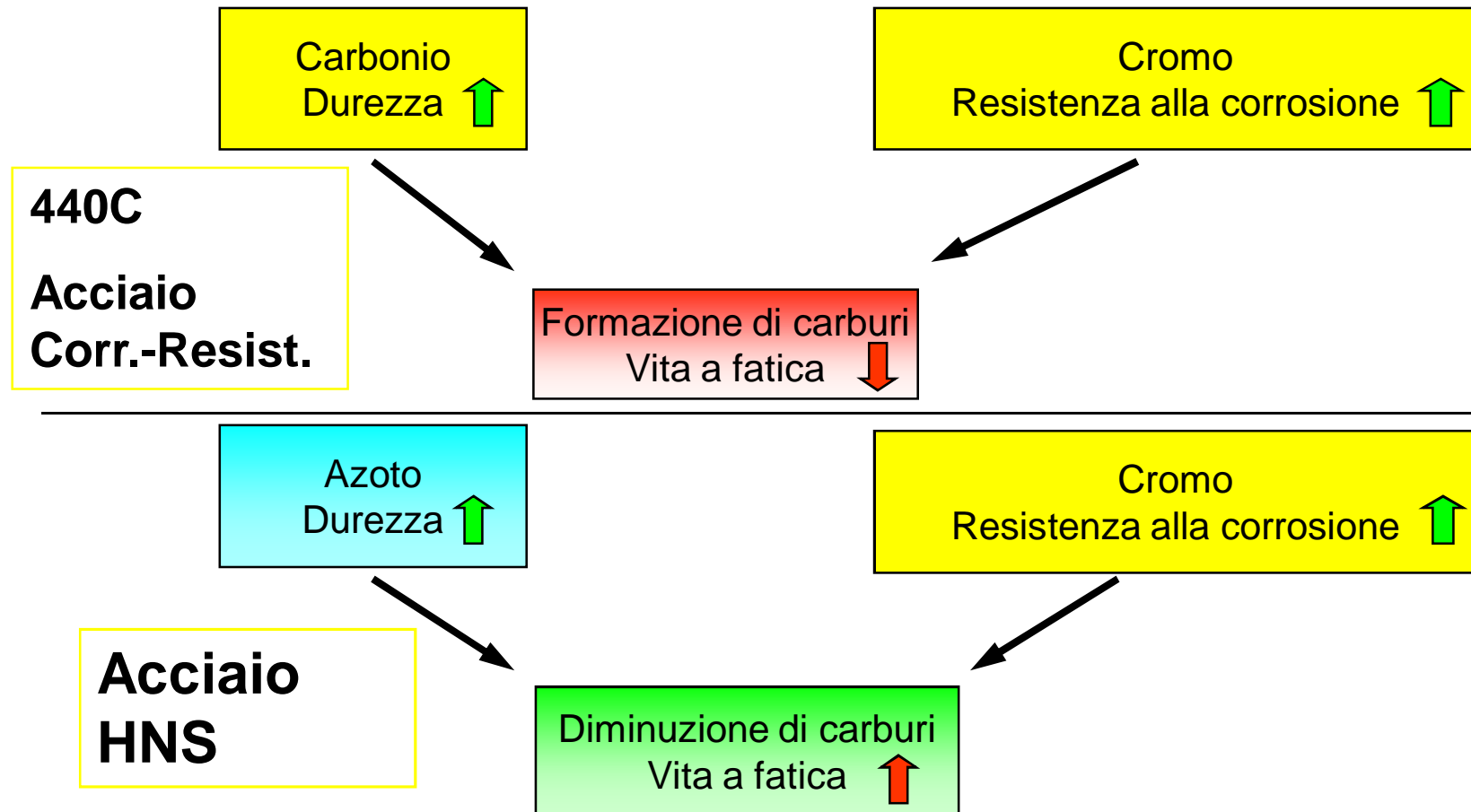
HNS

↔ 100µm

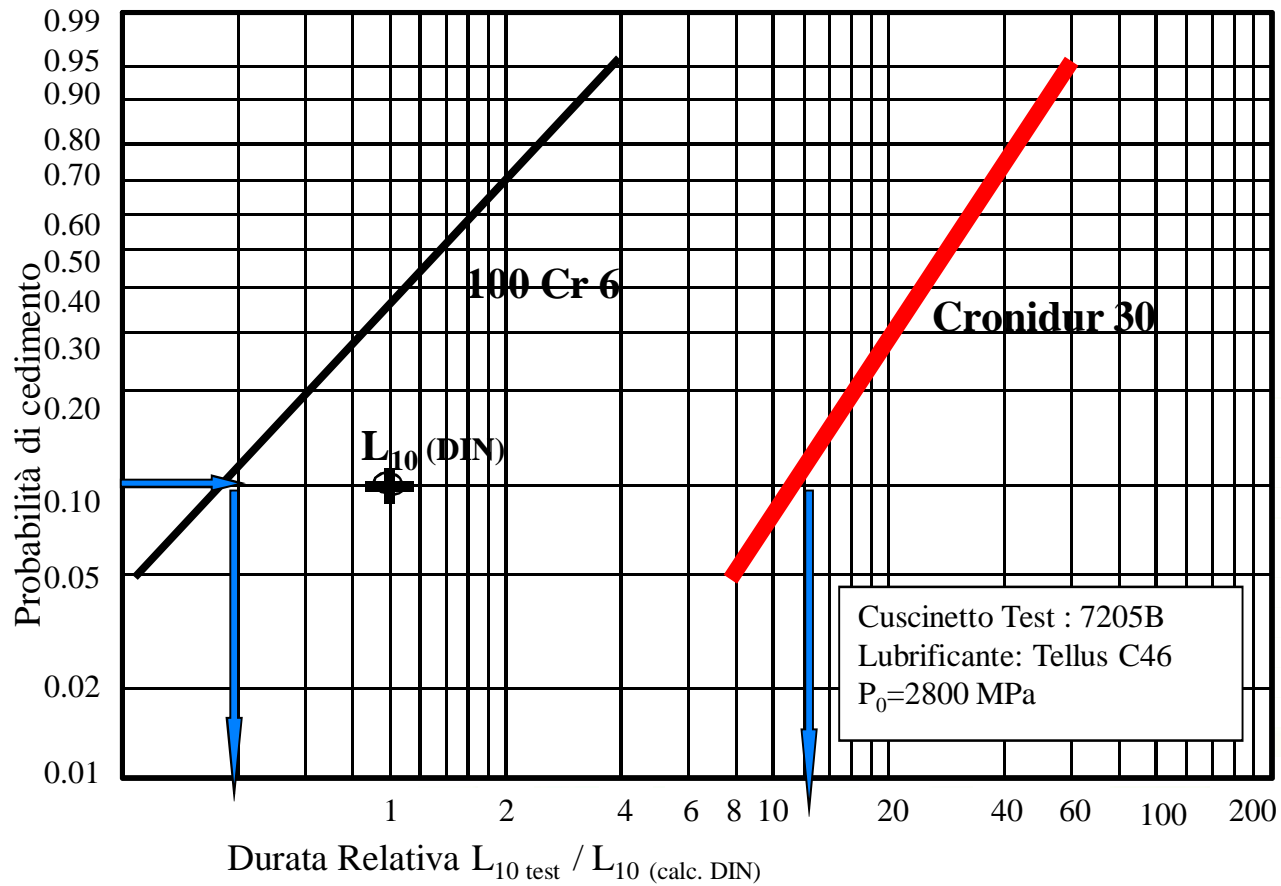
Acciaio HNS (High Nitrogen Steel)



Influenza del Carbonio, Azoto e Cromo



HNS- Durata in condizioni di attrito misto



Acciaio HNS (High Nitrogen Steel)



HNS - Resistenza alla corrosione (Test nebbia salina)



Acciaio standard



Acciaio standard cromato



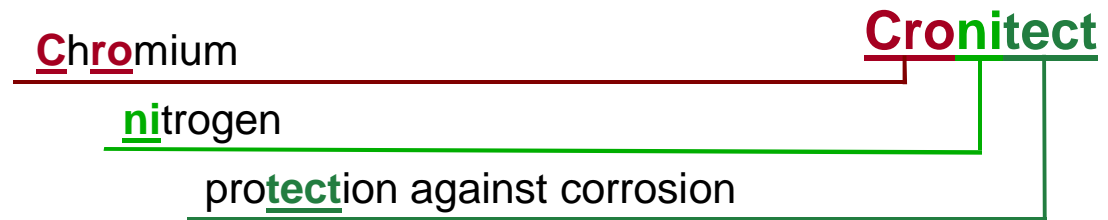
Acciaio inossidabile AISI 440 C



Acciaio HNS (High Nitrogen Steel)

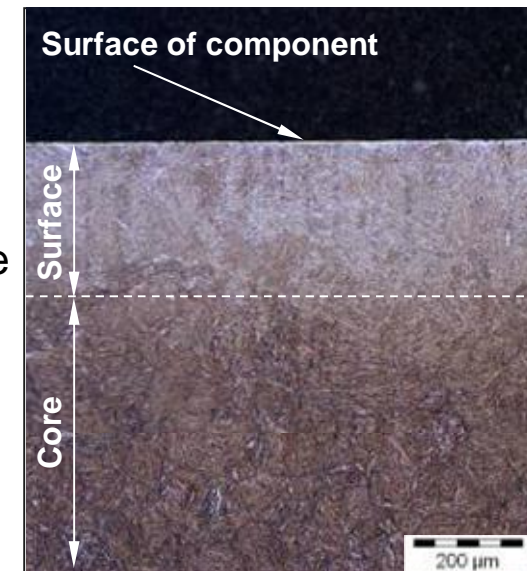


Cronitect



Proprietà:

- Acciaio resistente alla corrosione martensitico ad alto contenuto di elementi di lega
- Trattamenti termici per ottimizzare le caratteristiche di cuore e superficie
- Struttura da tempra e rinvenimento a cuore, martensite nitrurata in superficie
- Elevato livello di resistenza alla corrosione dopo il trattamento termico



➔ **Superficie dura, resistente ad usura e corrosione & cuore tenace**

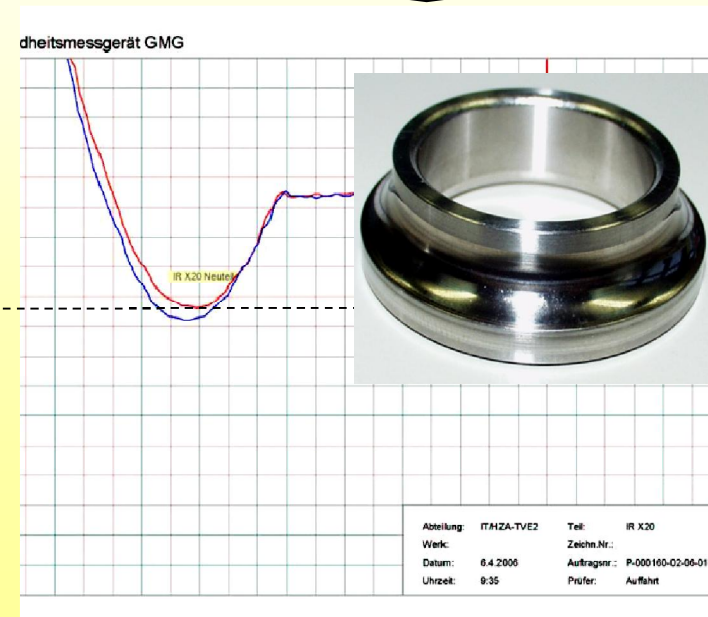
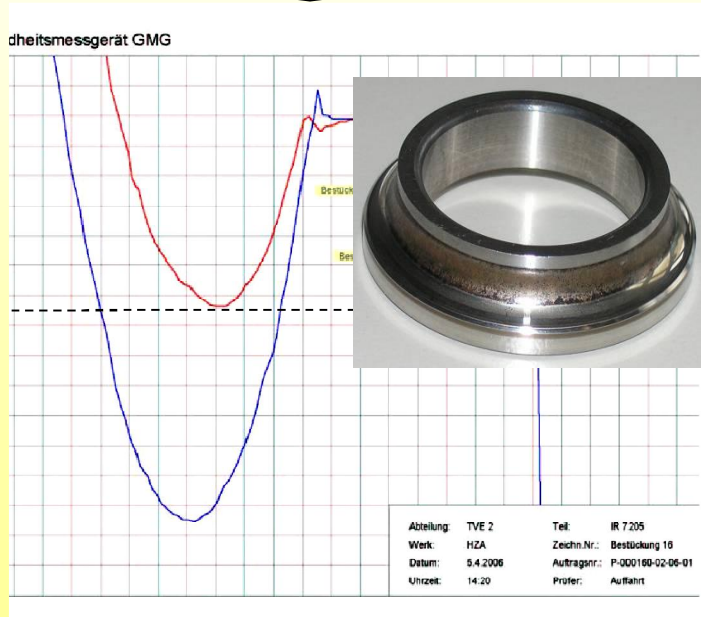
Test:

Cuscinetto: cuscinetto a sfere a contatto obliquo 7205B

Velocità $n = 1000 \text{ min}^{-1}$; pressione Hertziana = 1350 MPa, funzionamento a secco per 300 ore

anello interno e esterno: 100Cr6
sfere: ceramica Si3N4
gabbia: modificata PEEK

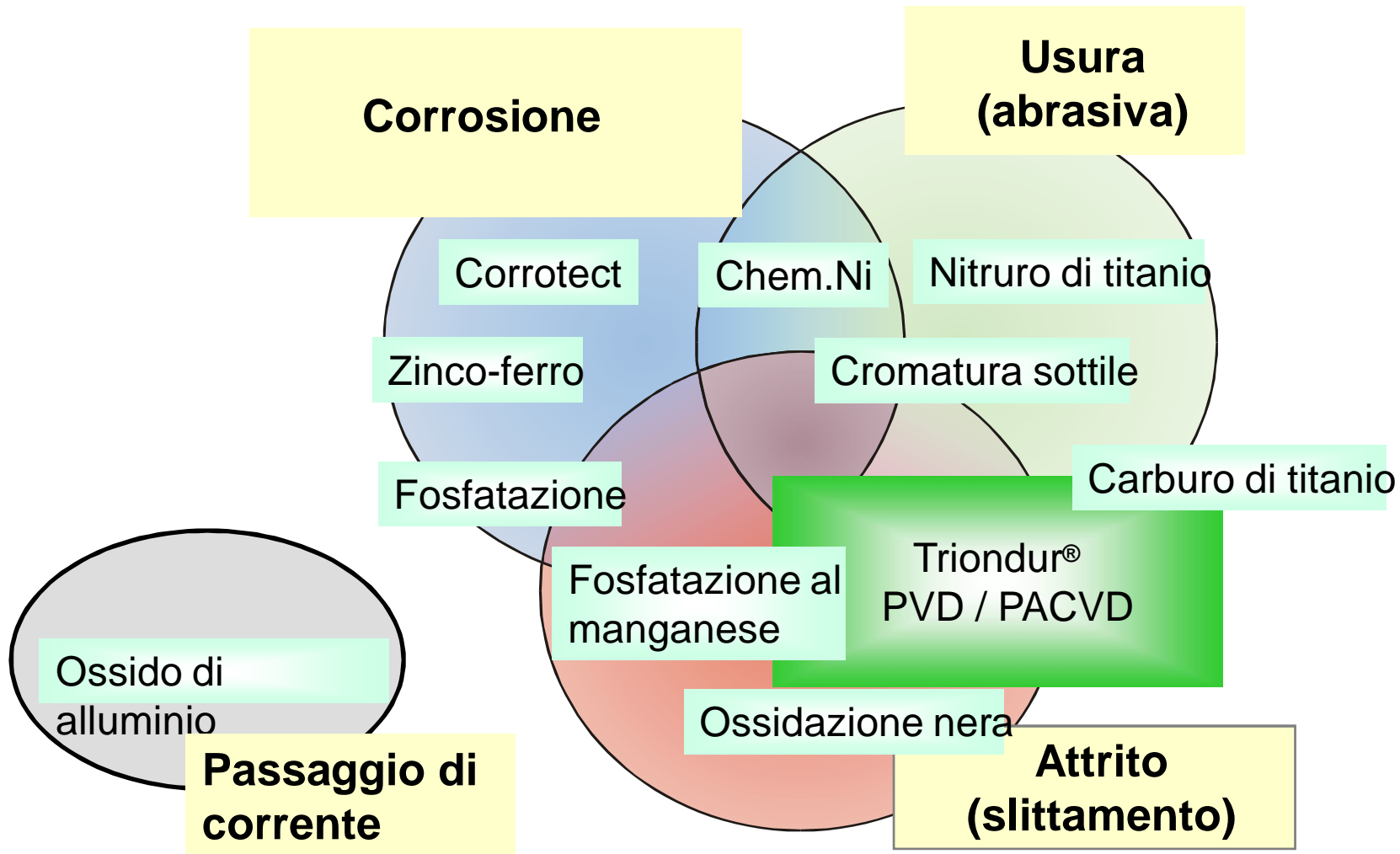
anello interno e esterno: Cronitect
sfere: ceramica Si3N4
gabbia: modificata PEEK





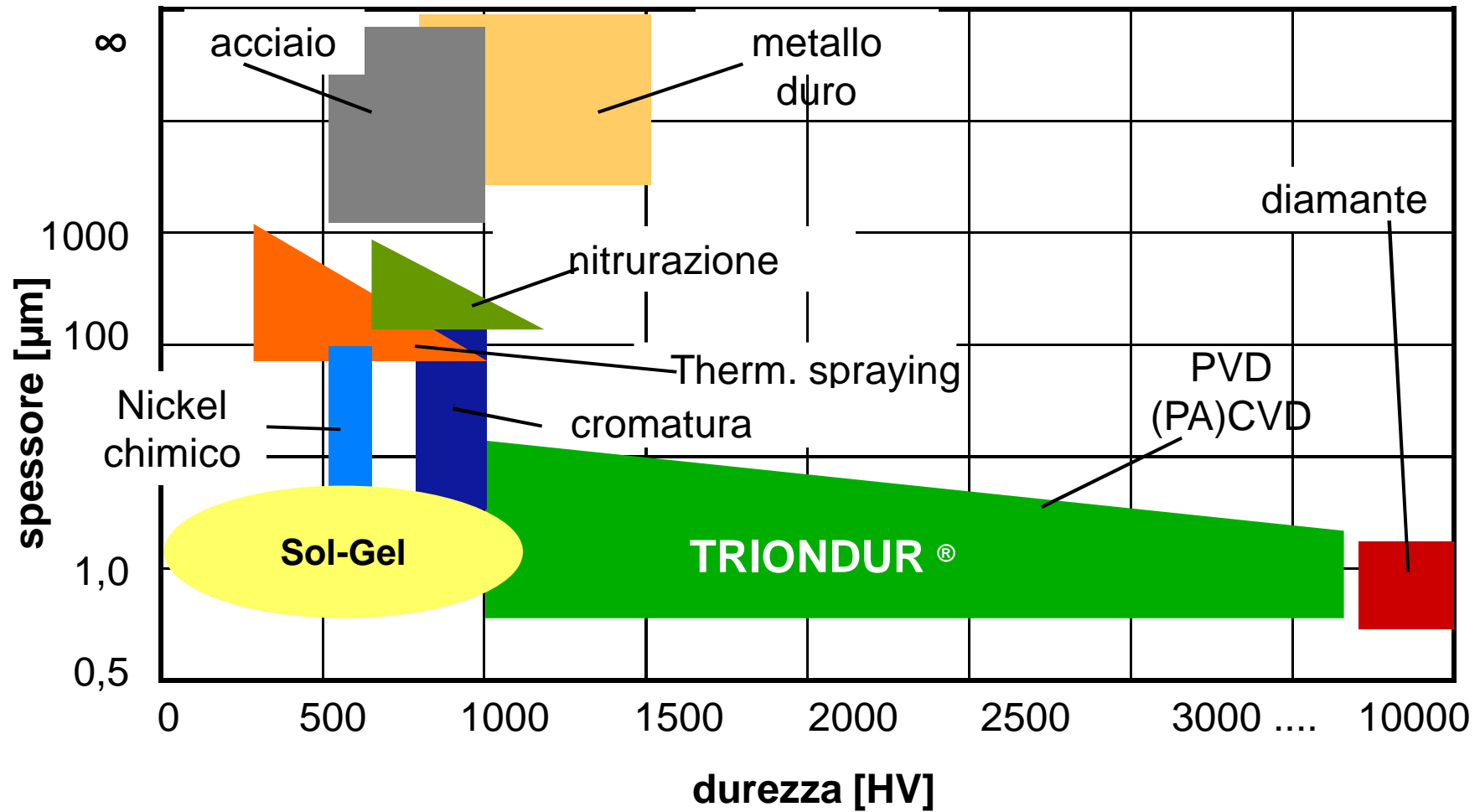
Evoluzione dei rivestimenti

Rivestimenti per componenti



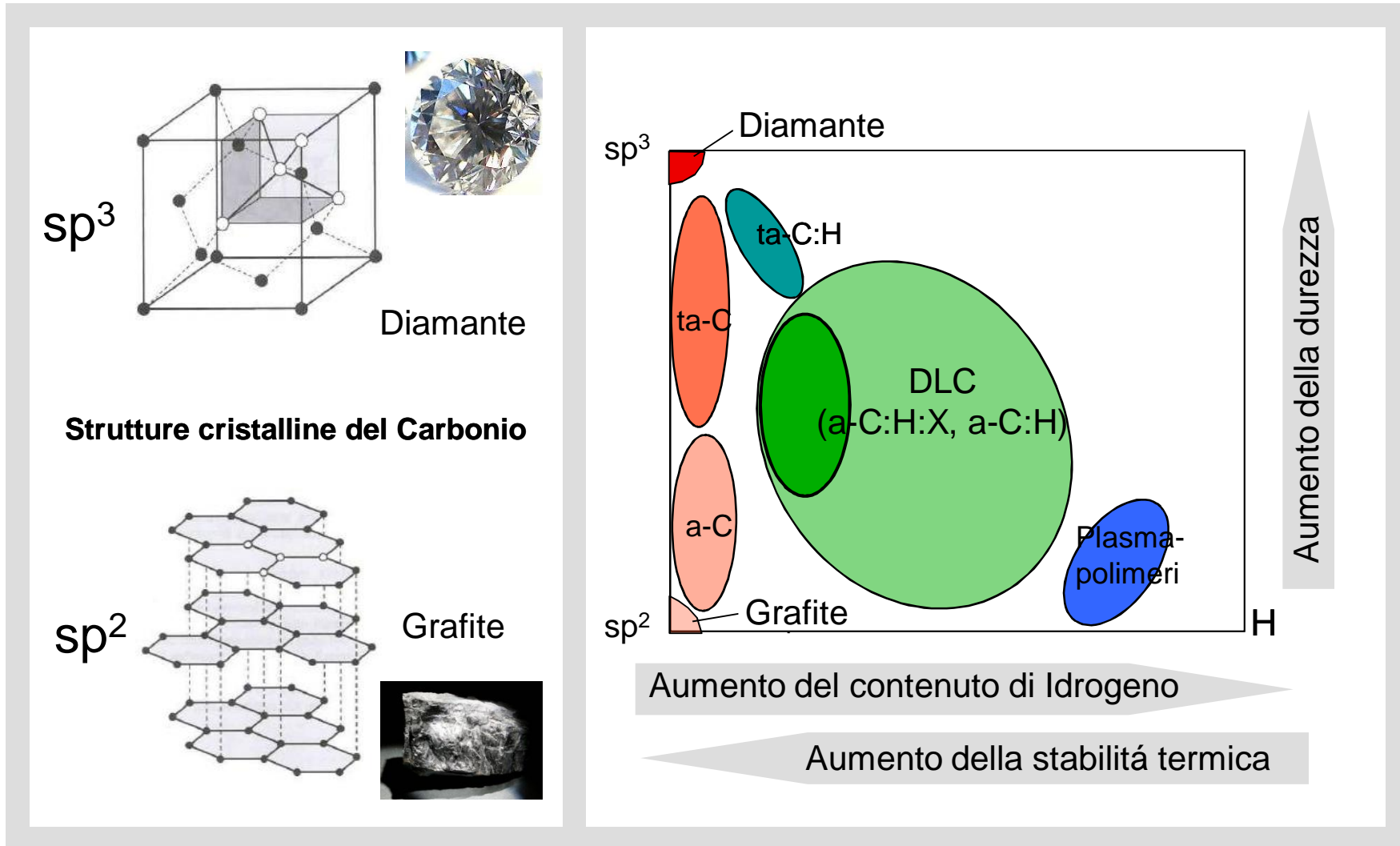
Confronto delle superfici

Spessore - durezza



Rivestimenti DLC Triondur®

Un ibrido tra grafite e diamante



Surface Technology Centre

Impianti ed obiettivi



Impianto di sviluppo PVD / PA-CVD Obiettivi – Rivestimenti Triondur®:

- I rivestimenti sotto vuoto permettono la realizzazione di composizione di materiali / rivestimenti normalmente non realizzabili.
- Massima riduzione dell'attrito.
- Massima protezione dall'usura.
- Rapporto qualità / prezzo ottimale.



**Sistemi
tribologici**

**Sistemi
anticorrosione**

Rivestimenti combinati

ad es. Top Layers per la riduzione dell'attrito

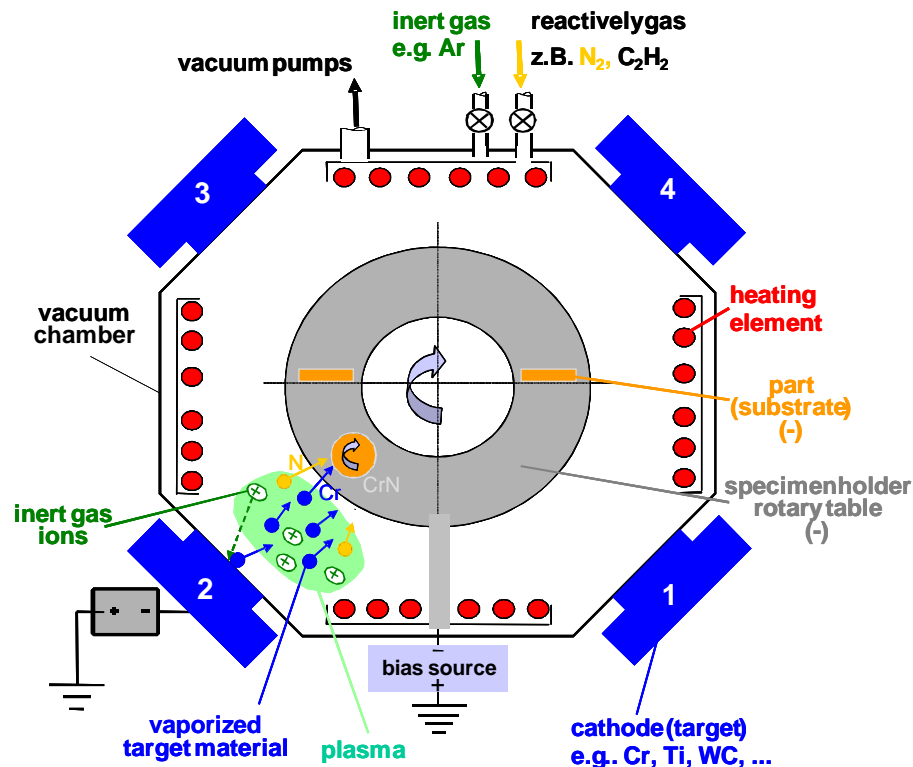
ad es. Intermediate Layers contro la corrosione

Impianto di sviluppo per processi galvanici Obiettivi:

- Realizzazione di sistemi di vasche flessibili.
- Rivestimenti anticorrosione esenti da Cr(VI) ad alto potere anticorrosivo.
- Rivestimenti nanostrutturati per un'ottimale resistenza alla corrosione.



Procedimento ecologico sotto vuoto



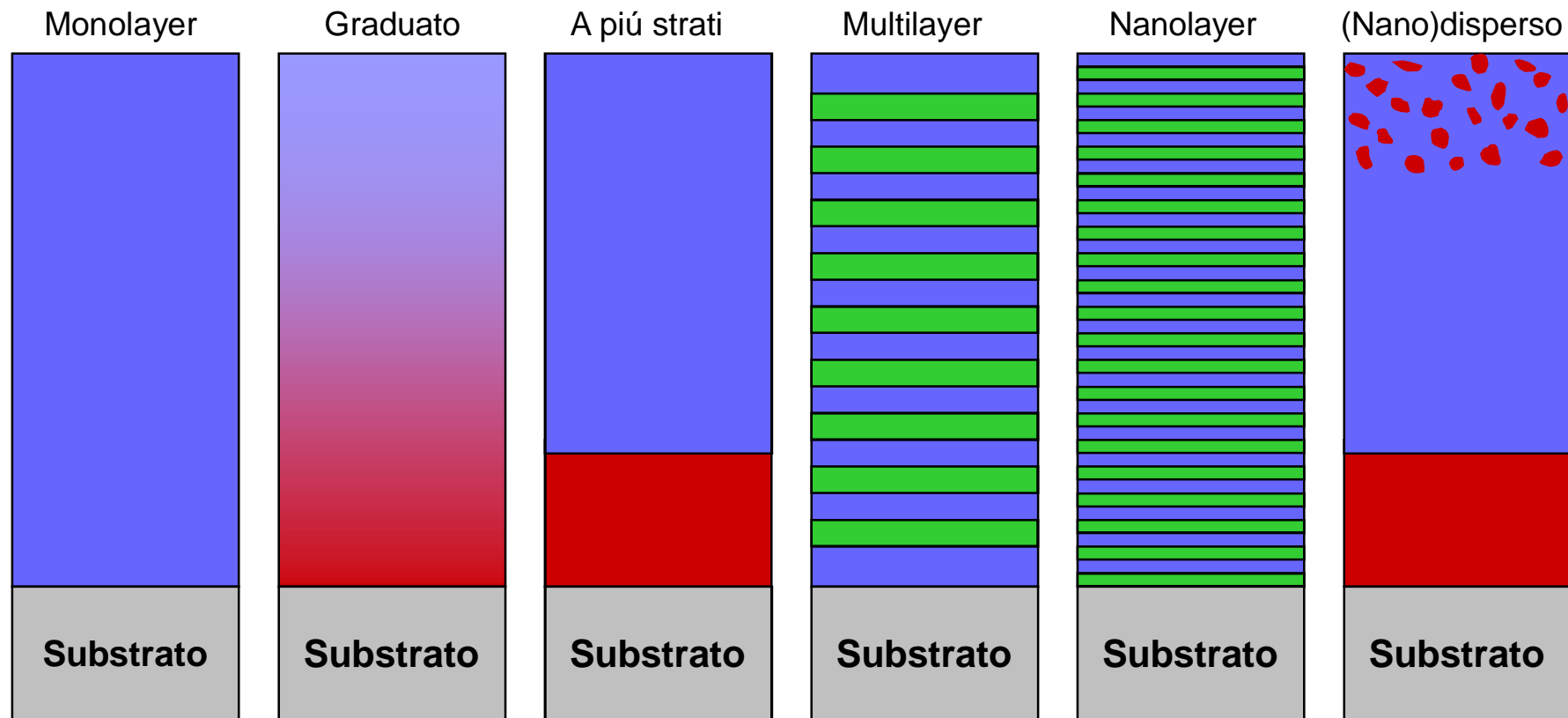
- Eccellente protezione anti-usura
- Attrito molto basso
- Elevatissima capacità di carico tribologico e meccanico
- Elevati valori di durezza selezionabili in funzione dell'applicazione
- Nessuna modifica delle quote
- Migliorata resistenza alla corrosione
- Buone proprietà di funzionamento di emergenza in condizioni di carenza di lubrificante
- Intervalli più lunghi per il cambio dell'olio
- Vita sensibilmente più lunga dei componenti
- Riduzione delle dimensioni
- Possibilità di risparmio risorse

Rivestimenti PVD / PA-CVD

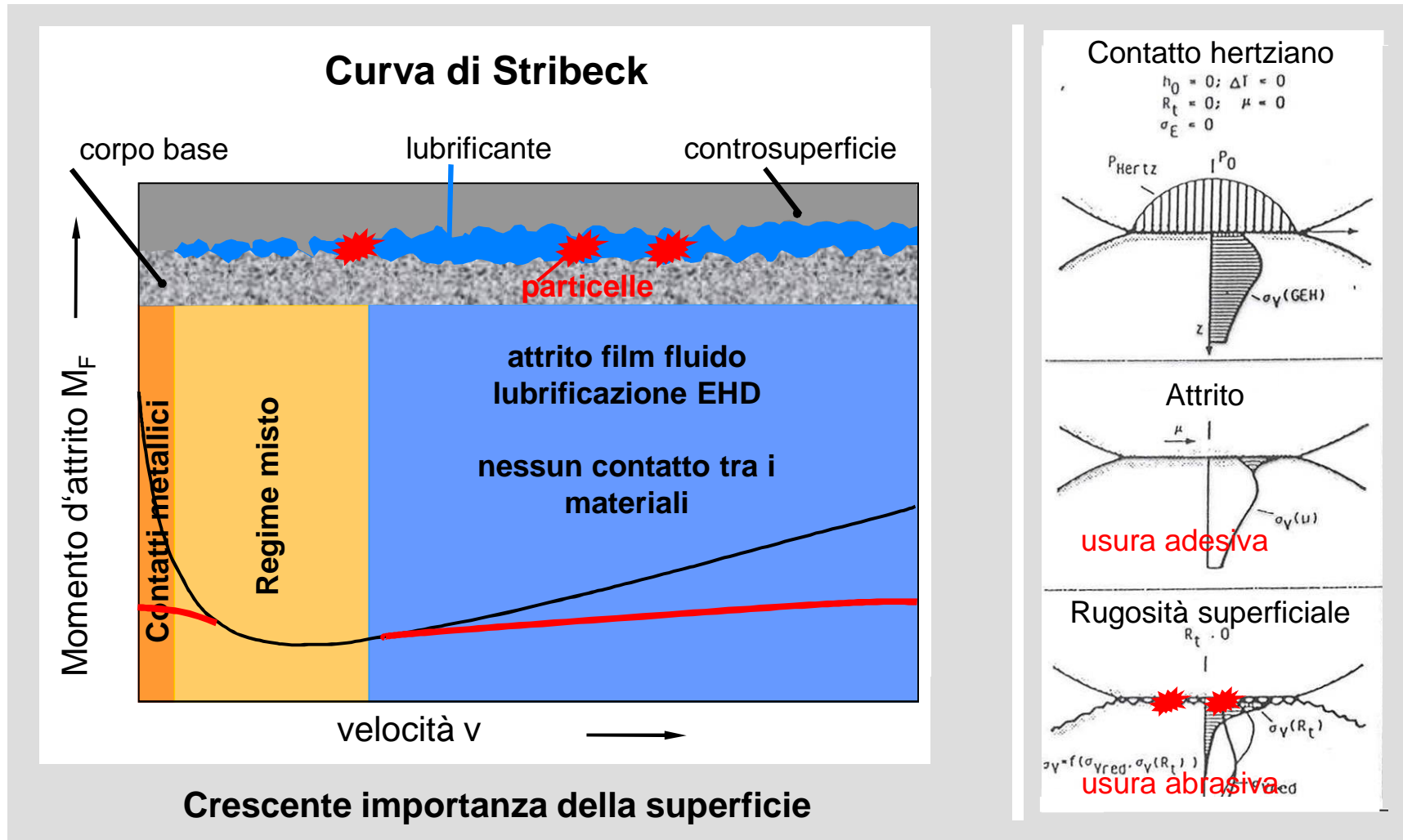
Possibili tipi di struttura a strati



Strutture

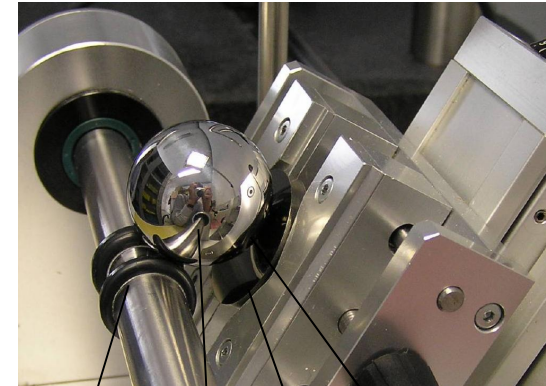
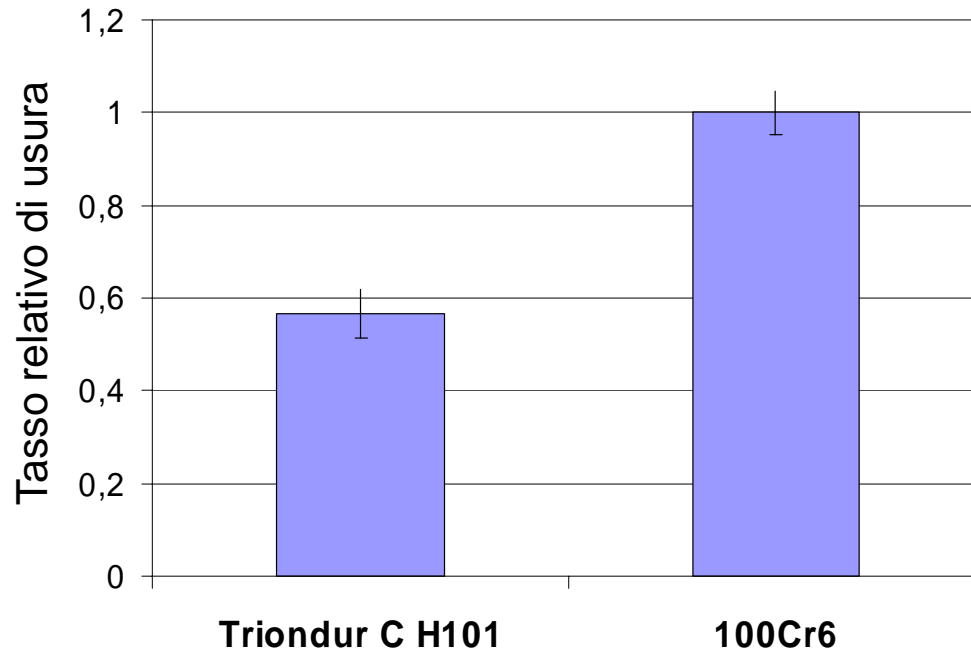


Contatto strisciante – sollecitazione e attrito effettivi



Resistenza all'usura abrasiva

Acciaio – Triondur[®] C



distribuzione
sfera
SAE 52100

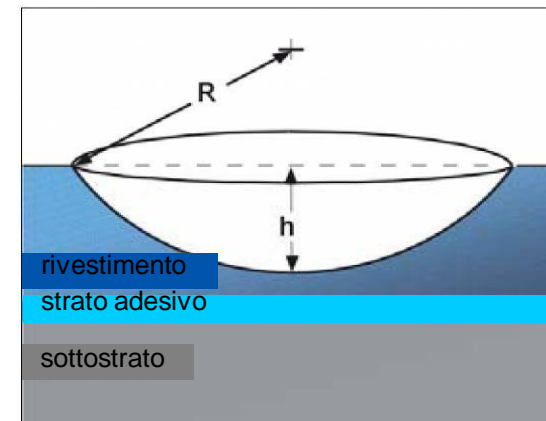
campione

sospensione
in diamante

**Sospensione in diamante con dimensione
particelle 0.25 μm**

Triondur[®] C: 1350 HV_{pl}

100Cr6: 60 + 4 HRC



Triondur® C (Me - DLC)

Esempi di applicazione – in produzione di serie



Cuscinetti orientabili a rulli per le calandre della carta



Rotelle per l'industria della stampa

Cuscinetti assiali senza TRIONDUR



Usura adesiva

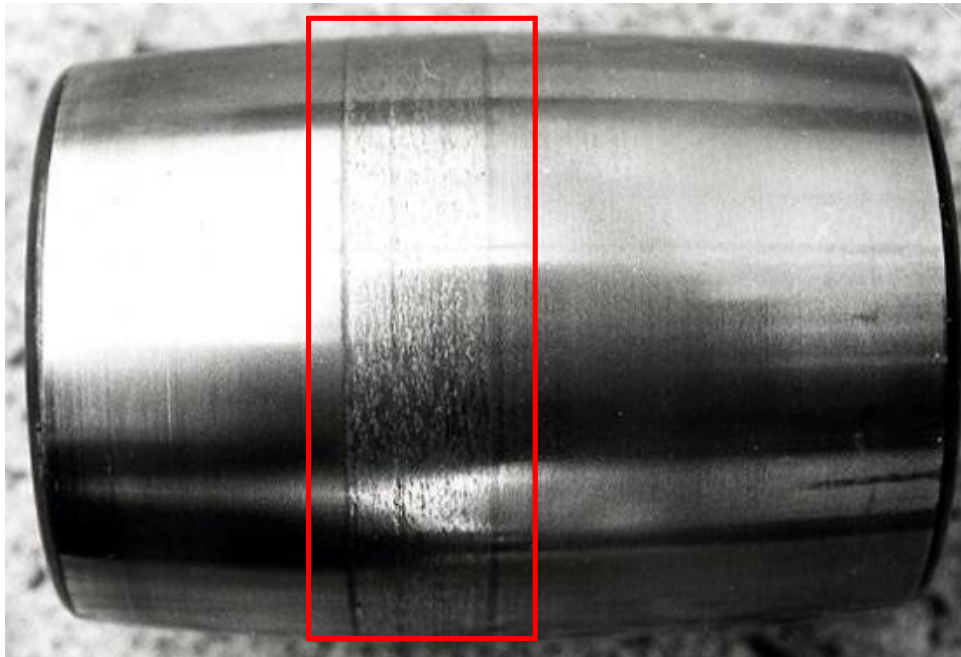
con TRIONDUR



Assenza di usura adesiva con rivestimento dei soli rulli

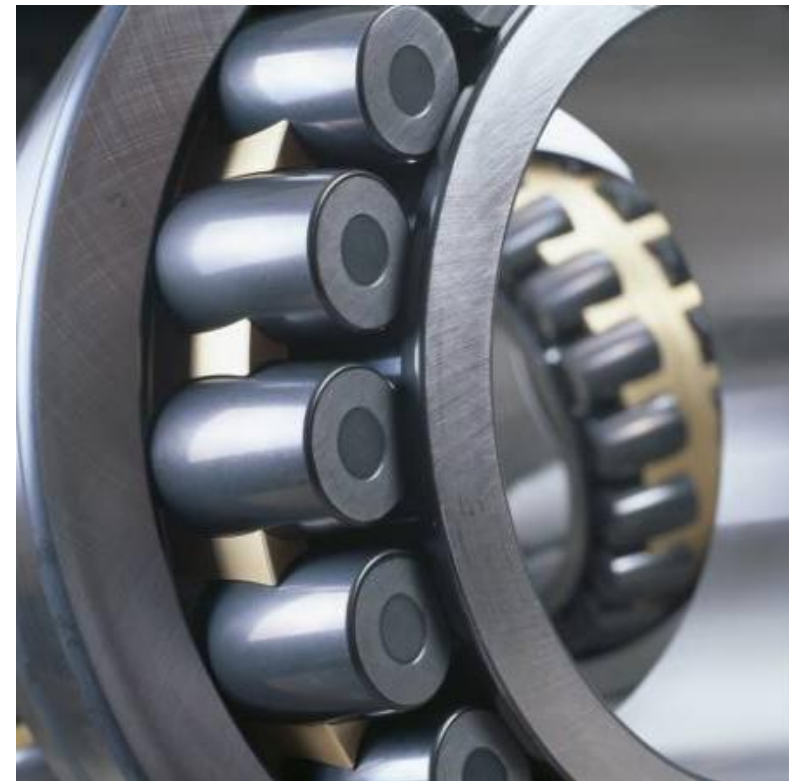
Triondur® C

Protezione dai danni derivanti dallo strisciamento



Rulli non rivestiti con danni da strisciamento dopo circa 100 cicli di carico

**Rulli rivestiti con Triondur® C
Durata > 5000 cicli di carico**



Triondur® C

Protezione dai danni da strisciamento e scarsa lubrificazione

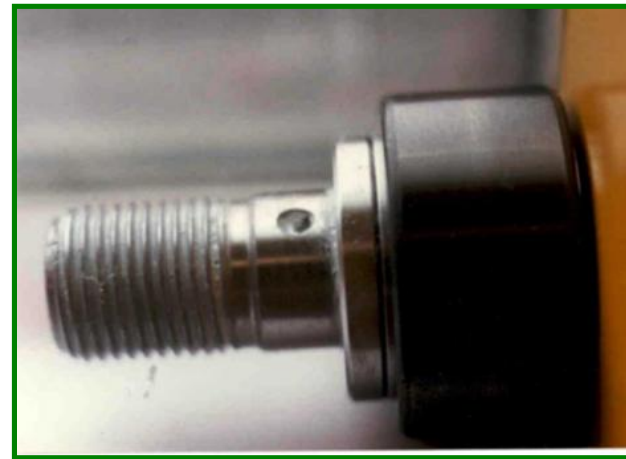


L'usura derivante dallo strisciamento e dalla scarsa lubrificazione può essere evitata rivestendo l'anello esterno con Triondur® C.

Non rivestito



Rivestito con Triondur® C



Applicazioni: Macchine tipografiche, macchine per imballaggi alimentari, ecc.



Grazie per la vostra attenzione