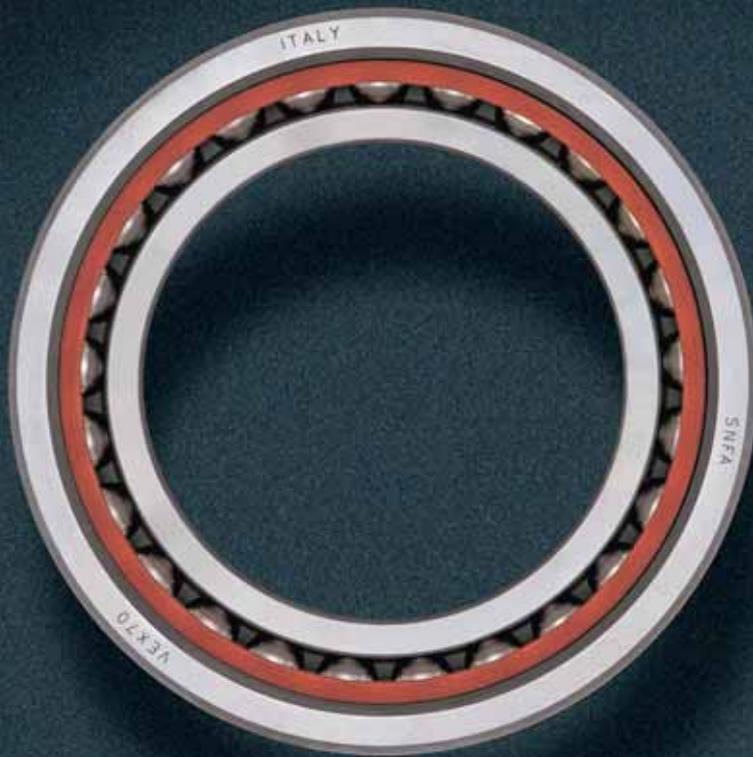


Cuscinetti a Sfere di Alta Precisione

CATALOGO GENERALE







Il nuovo catalogo generale SNFA: una qualità totale

Qualità nel progetto, qualità nel processo produttivo, qualità nel servizio al Cliente. È la qualità totale il sottotitolo più adatto al nuovo "catalogo generale SNFA", realizzato all'insegna del dialogo e della collaborazione con i nostri Clienti.



Sfogliandone le pagine, troverete una descrizione completa della nostra ampia gamma di cuscinetti a sfere di alta precisione per macchine utensili e per applicazioni affini e potrete scegliere la risposta più adatta alle Vostre esigenze. Cuscinetti a sfere, a contatto obliquo, di alta precisione e supporti per viti a ricircolazione di sfere: i prodotti SNFA costituiscono la risposta ideale ogni qual volta sia richiesta una rotazione precisa, silenziosa e con bassa coppia d'attrito. Oltre che sulla qualità totale della gamma e sul know how maturato in più di 50 anni di attività nel settore, oggi SNFA può contare anche sull'esperienza e sul prestigio del Gruppo SKF, di cui fa parte dal luglio 2006; un'alleanza questa che potenzia la presenza SNFA sul mercato italiano ed internazionale. Dalla forma costruttiva, al materiale, alle prestazioni, in questo nuovo "catalogo generale SNFA", migliorato in ogni dettaglio per poter offrire ai tecnici un supporto il più completo possibile, ci auguriamo possiate trovare tutti gli elementi necessari per procedere alla scelta ottimizzata del cuscinetto che risponda al meglio ai requisiti delle vostre applicazioni.

PRESENTAZIONE

- 5 Il Gruppo
- 6 Alta tecnologia, alta qualità
- 12 Progettazione e sperimentazione
- 13 I cuscinetti a sfere di alta precisione SNFA
- 14 Il prodotto: semplice nella forma, avanzato nel contenuto
- 15 Una qualità riconosciuta
- 16 La gamma produttiva
- 17 Simboli e unità di misura

CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO

- 18 Forme costruttive
- 19 Materiali dei componenti
- 20 CHROMEX[®] 40
- 22 Cuscinetti "NS": tutti i vantaggi della ceramica
- 23 Cuscinetti schermati: protetti e affidabili
- 25 Precisione (Tabelle ABEC 5 - ABEC 7 - ABEC 7/9 - ABEC 9)
- 26 Angolo di contatto
- 27 Velocità limite
- 28 Temperatura di funzionamento
- 29 Analisi delle vibrazioni

CALCOLI DI VERIFICA

- 30 Calcolo della durata teorica L₁₀; Coefficiente di carico dinamico C₃₃
- 33 Verifica statica del cuscinetto; Coefficiente di carico statico "C₀"
- 34 Verifica statica e carico statico equivalente "P₀"

GRUPPI DI CUSCINETTI

- 35 Accoppiamenti
- 37 Particolarità dei cuscinetti accoppiati SNFA
- 38 Cuscinetti universali
- 39 Precarico
- 40 Carico di distacco
- 41 Rigidità
- 42 Distanziali
- 43 Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico

SEDI

- 49 Tolleranze delle sedi
- 50 Errori di forma
- 51 Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo delle sedi
- 53 Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo dei cuscinetti

LUBRIFICAZIONE

- 56 Scopo della lubrificazione
- 56 Lubrificazione a grasso
- 59 Lubrificazione ad olio
- 63 Influenza del livello di contaminazione del lubrificante sul comportamento e sulla vita dei cuscinetti
- 64 Protezioni

MANIPOLAZIONE

- 65 Manipolazione dei cuscinetti
- 66 Serraggio degli anelli dei cuscinetti
- 69 Marcatura
- 71 Scatole

72 Codice di identificazione dei cuscinetti

73 Serie dimensionale ISO e produzione SNFA

TABELLE DEI CUSCINETTI SNFA

Serie per velocità elevate

75 SEA ISO 18

79 SEB ISO 19

83 EX ISO 10

87 E 200 ISO 02

92 Serie per velocità particolarmente elevate

93 VEB ISO 19

99 HB ISO 19

105 VEX ISO 10

Cuscinetti e unità per viti a sfera

111 BS 200 ISO 02 - BS Speciale

114 Unità a cartuccia: Serie BSDU - BSQU - BSQU/1

117 Esempi di applicazione dei cuscinetti





Il Gruppo



UNITÀ PRODUTTIVE *

* appartenente al Gruppo SKF.

Cuscinetti aeronautici:



SNFA S.A.S. (Francia)

Cuscinetti a sfere di alta precisione:



Somecat S.p.A.
(Italia)



SNFA Bearings Ltd
(Gran Bretagna)

UNITÀ DI VENDITA *

* appartenente al Gruppo SKF.

Cuscinetti aeronautici,
cuscinetti a sfere di precisione:

SNFA S.A.S. (Francia)

Cuscinetti a sfere di alta precisione:

Somecat S.p.A.
(Italia)

SNFA Bearings Ltd
(Gran Bretagna)

SNFA Präzisions - Wälzlager
G.m.b.H. (Germania)

SNFA S.A. Friburgo (Svizzera)

Specialisti del cuscinetto:

Dal 1952 il Gruppo SNFA è specializzato nella fabbricazione di cuscinetti a sfere e a rulli di alta precisione.

Dalle sue origini a oggi, grazie a investimenti mirati nell'attività di ricerca e sviluppo, il Gruppo ha perfezionato la propria competenza, ha ampliato la propria attività, si è posto l'obiettivo di raggiungere i più alti livelli di specializzazione e ha gradualmente creato una struttura organizzativa incentrata su due grandi famiglie di prodotti:

- cuscinetti a sfere e a rulli cilindrici destinati alle industrie aeronautiche e spaziali;
- cuscinetti a sfere di alta precisione per macchine utensili e per applicazioni affini.

L'eccellenza nella qualità e nelle prestazioni è la caratteristica che distingue i prodotti realizzati da tutte le Società del Gruppo che, integrandosi fra loro con tipologie diverse di prodotti, sono in grado di offrire un'articolata gamma di cuscinetti per settori differenziati dell'alta precisione e dell'aeronautica. In Italia il Gruppo SNFA, oggi, facente parte del Gruppo SKF, è rappresentato da Somecat S.p.A., che, insieme alla consociata britannica SNFA Bearings Ltd, è uno dei principali produttori di cuscinetti a sfere di alta precisione destinati, in particolare al settore delle macchine utensili.



LE TECNOLOGIE

Alta tecnologia, alta qualità

La rettificazione e la superfinitura degli anelli del cuscinetto rientrano in un articolato ciclo di operazioni che interessano tutte le superfici degli anelli e richiedono l'impiego di rettificatrici speciali a C.N.C. di alta qualità e di specifiche apparecchiature di controllo.

Per poter soddisfare la domanda crescente di cuscinetti tecnicamente molto evoluti, progettazione, sperimentazione, fabbricazione e controlli hanno luogo nell'ambito di una struttura dotata di risorse e di requisiti adeguati. Nel Gruppo SNFA le macchine, le apparecchiature di controllo e i relativi procedimenti rispondono ai più moderni requisiti necessari per la fabbricazione di prodotti di alta precisione e qualità.

La tornitura degli anelli avviene da tubo, grezzo, oppure fucinato. Elemento comune è la materia prima, acciaio 100 Cr6, CHROMEX®40, che, indipendentemente dalla forma del grezzo, deve rispettare le caratteristiche di alta qualità, con assenza di inclusioni.







L'accoppiamento è l'operazione con cui vengono formati i gruppi di due o più cuscinetti e si realizza, nel contempo, il precarico prestabilito. L'esattezza e l'uniformità del precarico sono requisiti peculiari affinché il funzionamento dei gruppi sia regolare. Per ottenere tale risultato la SNFA si avvale di apposite apparecchiature grazie alle quali l'applicazione del carico assiale prescritto e la corrispondente lettura del salto facciale dei cuscinetti avvengono con estremo rigore.



Nella fase di collaudo finale gli anelli vengono controllati al 100%.

A misurare automaticamente e simultaneamente tutti i parametri geometrici degli anelli sono apparecchiature appositamente concepite e gestite da computer. I valori riscontrati vengono memorizzati ed elaborati per effettuare le analisi sul piano qualitativo: il tutto a un elevato grado di precisione.

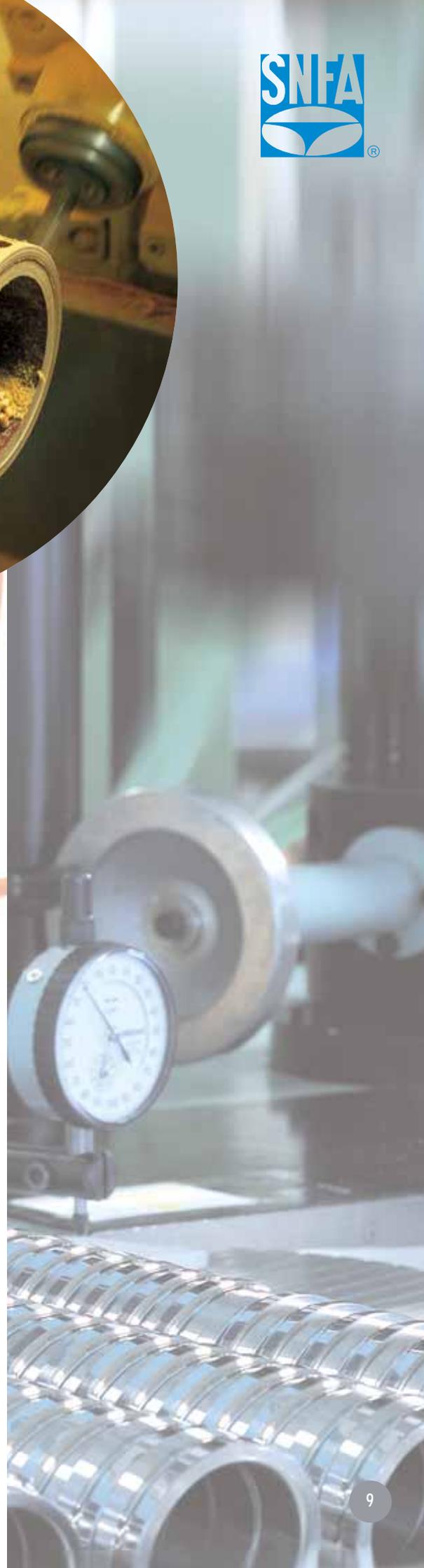




Le gabbie in resina fenolica, rinforzata da tessuto di cotone, sono ricavate da tubo. È dall'omogeneità del materiale e dalla corretta geometria ottenibile in fase di lavorazione che dipende il buon comportamento dinamico della gabbia, importante componente del cuscinetto.

Con altrettanta precisione e cura si procede alla fase di assemblaggio, l'operazione con la quale il cuscinetto diventa "unità completa".

L'assemblaggio dei componenti preselezionati avviene mediante un'apparecchiatura, ad induzione elettromagnetica, che provvede alla dilatazione termica controllata dell'anello esterno del cuscinetto. Particolari accorgimenti vengono adottati per salvaguardare le superfici di rotolamento.





Apparecchiature sofisticate dotate di raggio laser, pilotato da computer, provvedono alla marcatura. Il prodotto marcato è completamente identificabile: la marcatura include i codici che caratterizzano, oltre al tipo base, il grado di precisione, l'angolo di contatto e il tipo di accoppiamento.

Il grado di pulizia è essenziale per la vita del cuscinetto; per tale motivo il procedimento di lavaggio comporta l'uso di macchine e strumentazioni specifiche in un contesto che, allo stesso tempo, deve salvaguardare l'ambiente.



In attesa della destinazione finale i cuscinetti finiti vengono immagazzinati in un ambiente con temperatura e umidità costantemente sotto controllo. Un sistema computerizzato gestisce tutta la movimentazione di magazzino.



Progettazione e sperimentazione

Un corretto sviluppo del prodotto non può prescindere da una progettazione basata su programmi di calcolo e prove di laboratorio. L'aspirazione alla massima qualità parte proprio da qui: fino dalla prima fase di progettazione dei cuscinetti SNFA vengono seguiti i criteri a cui fanno riferimento le Norme ISO 9000 per l'assicurazione della qualità.



La sperimentazione è un secondo elemento fondamentale nello sviluppo dei prodotti. Presso i laboratori SNFA vengono svolte costantemente prove funzionali finalizzate alla ricerca di nuove soluzioni e all'acquisizione di conoscenze innovative dalle quali gli utilizzatori potranno trarre importanti vantaggi.

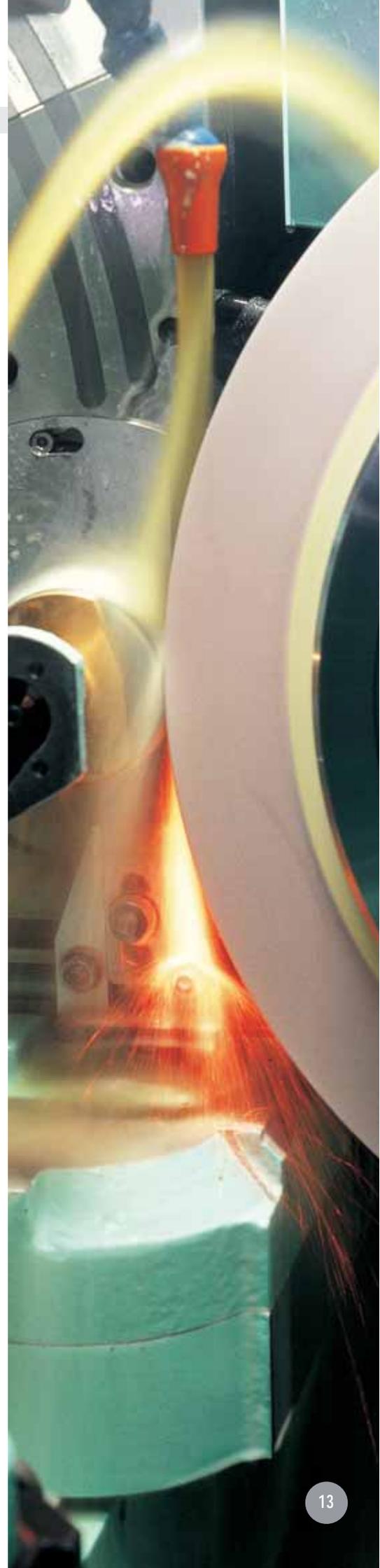
SNFA mette a disposizione del cliente la propria tecnologia per una scelta ottimizzata dei cuscinetti già in fase progettuale. Somecat ha sviluppato un programma applicativo di calcolo "SECBA" che permette l'analisi delle prestazioni reali di un sistema cuscinetto-albero attraverso l'esatta stima delle reazioni interne dei cuscinetti.



Cuscinetti a sfere di alta precisione per macchine utensili e applicazioni affini

Nelle pagine di questo catalogo è contenuta l'intera gamma di cuscinetti SNFA: cuscinetti a sfere, a contatto obliquo, di alta precisione e supporti per viti a ricircolazione di sfere.

Venduti in tutto il mondo, i cuscinetti SNFA sono la risposta ideale ogni qual volta sia richiesta una rotazione precisa, silenziosa, con bassa coppia d'attrito, nel settore delle macchine utensili e in altri settori. Apprezzati ovunque per il loro livello tecnico e qualitativo, i cuscinetti vengono direttamente commercializzati dall'Organizzazione SNFA.



Semplice nella forma, avanzato nel contenuto

Raggiungere i livelli più avanzati di specializzazione nella progettazione, nello sviluppo e nella fabbricazione di cuscinetti di alta precisione è da sempre l'obiettivo di SNFA. Caratterizzato da un disegno apparentemente semplice, il cuscinetto SNFA racchiude conoscenze meccaniche e tecnologiche di rilievo, come richiede il campo applicativo al quale è destinato, quello dell'alta precisione e della riduzione degli attriti. La gamma produttiva risponde alle richieste del mercato dei mandrini per macchine utensili, da diametro interno di 6 mm fino a 280 mm, e copre le taglie dimensionali tipiche (ISO 18, ISO 19, ISO 10, ISO 02). Il disegno interno del cuscinetto è ottimizzato allo scopo di mantenere minimi gli attriti di rotolamento e garantire, allo stesso tempo, una capacità di carico adeguata all'applicazione.

La definizione delle caratteristiche tecniche dei cuscinetti avviene nell'ambito delle più recenti norme:

Quote d'ingombro, raccordi

ABMA Std 20
(equivalente a ISO 15)

Tolleranze dimensionali

ABMA Std 20
(equivalente a ISO 492)

Tolleranze dei fattori di marcia

ABMA Std 20
(equivalente a ISO 492)

IL SISTEMA QUALITÀ

Una Qualità riconosciuta

Il Sistema Qualità è l'elemento fondamentale per ottenere livelli qualitativi rispondenti alle sempre più alte aspettative del mercato. Per questo Somecat basa tutte le sue attività sui valori di formazione aziendale continua e di eccellenza operativa. Nel 2001 l'azienda ha ottenuto la certificazione Vision del Sistema Qualità secondo la normativa ISO 9001:2000 ed è entrata a pieno titolo nella ristretta cerchia di realtà produttive che fanno dell'eccellenza del prodotto e del servizio alla clientela la principale caratteristica del proprio operare.

Alla fine del 2005, un altro prestigioso traguardo: il Sistema di Gestione Ambientale, secondo la normativa ISO 14001:2004. La protezione dell'ambiente è essenziale per la qualità della vita e del lavoro. La sfida sta nel combinare la tutela delle risorse naturali con un'economia dalla crescita continua ma sostenibile. Perché la Natura è un patrimonio insostituibile e di tutti.



La gamma produttiva

La gamma dei cuscinetti SNFA (prospetto sottostante) include:

- le serie **SEA - SEB - EX - E200**, che differiscono tra loro sul piano dimensionale
- le serie **HB - VEB** e **VEX**, espressamente studiate per velocità molto elevate
- le serie **BS 200** e **BS Speciale**, con angolo di contatto di **62°**, utilizzate nelle viti a ricircolazione di sfere.

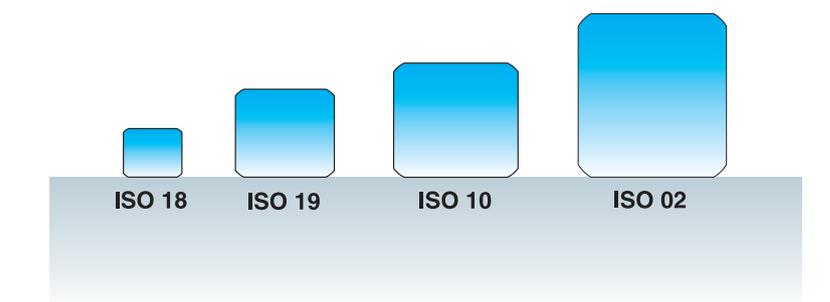
Tutte le serie vengono prodotte nelle classi di precisione **ABMA**, descritte nel paragrafo Precisione. Tutti i cuscinetti, soprattutto quelli per l'alta velocità, possono essere forniti in esecuzione "NS", ovvero equipaggiati con sfere in materiale ceramico.

La gamma produttiva SNFA include inoltre le unità per viti a ricircolazione di sfere **BSDU, BSQU** e **BSQU/1**, contenenti cuscinetti della serie **BS 200**.

Serie SNFA	ISO	Caratteristiche
SEA	18	Moderata capacità di carico Velocità fino a 1.500.000 ndm (olio)
SEB	19	Buona capacità di carico Velocità fino a 1.500.000 ndm (olio)
VEB	19	Buona capacità di carico Velocità oltre 2.000.000 ndm (olio)
HB	19	Media capacità di carico Velocità > 2.000.000 ndm (olio)
EX	10	Elevata capacità di carico Velocità fino a 1.500.000 ndm (olio)
VEX	10	Buona capacità di carico Velocità oltre 2.000.000 ndm (olio)
E 200	02	Elevata capacità di carico Velocità fino a 1.500.000 ndm (olio)
BS 200	02	Carico prevalentemente assiale Elevata rigidità e capacità di carico assiale
BS (Speciale)	-	Come BS 200

Serie HB, VEX e BS 200 fornibili, in alternativa, schermate.

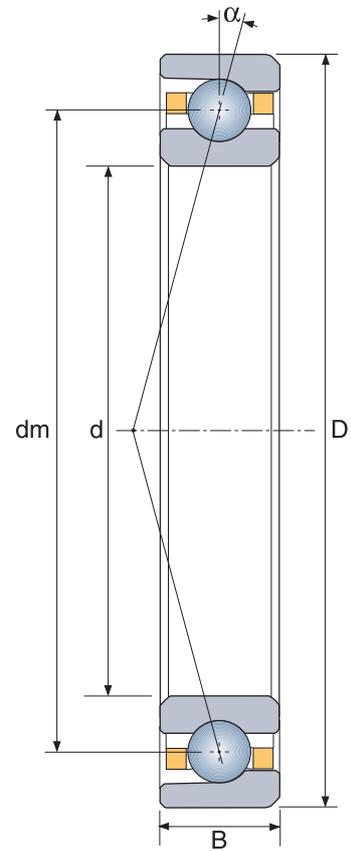
Lubrificazione a olio possibile attraverso l'anello esterno, solo per alcune serie.



Simboli e unità di misura



d	: diametro del foro del cuscinetto	mm
D	: diametro esterno del cuscinetto	mm
B	: spessore del cuscinetto	mm
Z	: numero di sfere	-
\varnothing	: diametro delle sfere	mm
α	: angolo di contatto	gradi
dm	: diametro medio del cuscinetto	mm
C₃₃	: capacità di carico dinamico	daN
C₀	: capacità di carico statico	daN
Pr	: precarico	daN
La	: Limite di carico assiale statico	daN
Ra	: rigidità assiale	daN/ μ m
Vh	: velocità massima di un cuscinetto singolo precaricato a molla, $\alpha = 15^\circ$ (serie BS200 e BS $\alpha = 62^\circ$)	giri/min
Cr	: coppia di rotolamento a bassa velocità per un gruppo di cuscinetti	daN • mm
Massa	: massa di un cuscinetto	Kg
n	: velocità di rotazione	giri/min
ndm	: fattore di velocità	giri/min • mm



Ulteriori simboli presenti nel testo sono specificati nei rispettivi paragrafi.



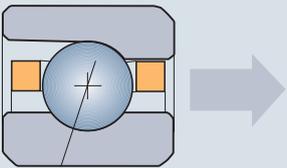
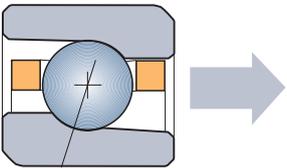
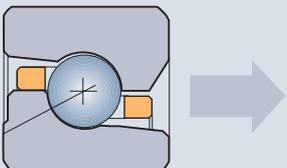
Forme costruttive

I cuscinetti a sfere con contatto obliquo, in virtù della loro configurazione interna, possono sopportare carichi radio-assiali anche di elevata entità, raggiungendo considerevoli valori di velocità.

Per consentire il montaggio di una gabbia monolitica e l'introduzione di una grande quantità di sfere, e ottenere una elevata capacità di carico e rigidità, i cuscinetti obliqui a sfere hanno forma asimmetrica. Essi possono sopportare carichi assiali in una sola direzione e non possono essere utilizzati come unità singole: i cuscinetti obliqui

vengono montati a gruppi, contrapposti e precaricati con l'interposizione di anelli distanziatori, rigidi o elastici.

La classificazione in serie dei cuscinetti, a seconda delle forme costruttive e del proporzionamento dimensionale, ne permette un'immediata identificazione e ne facilita la scelta.

Codice forma	Serie SNFA	Caratteristiche
 <p>E-SE</p>	<p>SEA SEB EX E 200</p>	<p>ANELLO ESTERNO ASIMMETRICO ANELLO INTERNO SIMMETRICO GABBIA CENTRATA SULL'ANELLO ESTERNO CUSCINETTO NON SMONTABILE</p> <p>$\alpha = 15^\circ$ e 25° $\alpha = 18^\circ$ *)</p>
 <p>VE - H</p>	<p>HB (/S) VEB VEX (/S)</p>	<p>ANELLO ESTERNO ASIMMETRICO ANELLO INTERNO ASIMMETRICO GABBIA CENTRATA SULL'ANELLO ESTERNO CUSCINETTO NON SMONTABILE</p> <p>$\alpha = 15^\circ$ e 25° $\alpha = 18^\circ$ *)</p>
 <p>BS</p>	<p>BS 200 (/S) BS (Speciali)</p>	<p>ANELLO ESTERNO ASIMMETRICO ANELLO INTERNO ASIMMETRICO GABBIA CENTRATA SULL'ANELLO INTERNO CUSCINETTO NON SMONTABILE</p> <p>$\alpha = 62^\circ$</p>

* disponibili solo su richiesta



Anelli e sfere

I cuscinetti SNFA vengono fabbricati con acciaio al cromo 100 Cr6 (AISI 52100), degasato sotto vuoto, o di qualità equivalente, un materiale ad elevata purezza che garantisce una notevole affidabilità di funzionamento del cuscinetto. Temperato a cuore e stabilizzato secondo un ciclo che prevede anche il sottoraffreddamento, l'acciaio al cromo 100 Cr6 consente di raggiungere una temperatura prossima ai 160°C, senza alterazioni che possano compromettere la stabilità dimensionale e la durezza.



Gabbie

Le gabbie vengono comunemente realizzate con resina fenolica, rinforzata da tessuto di cotone, un materiale leggero, con basso coefficiente d'attrito, che consente la fabbricazione di gabbie di un solo pezzo, precise e adatte al funzionamento ad alta velocità. I cuscinetti con gabbie in resina fenolica sono identificati con il codice C.

Alcune serie di cuscinetti vengono equipaggiate con gabbie di poliammide rinforzato con fibra di vetro che, particolarmente resistenti, hanno un ottimo comportamento soprattutto quando la lubrificazione è effettuata con grasso.

I cuscinetti con gabbie in poliammide sono identificati con il codice P.

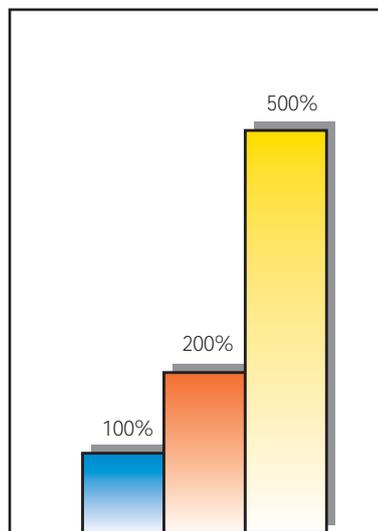
Su specifica richiesta si forniscono anche cuscinetti con gabbie di ottone (codice L).



CHROMEX® 40

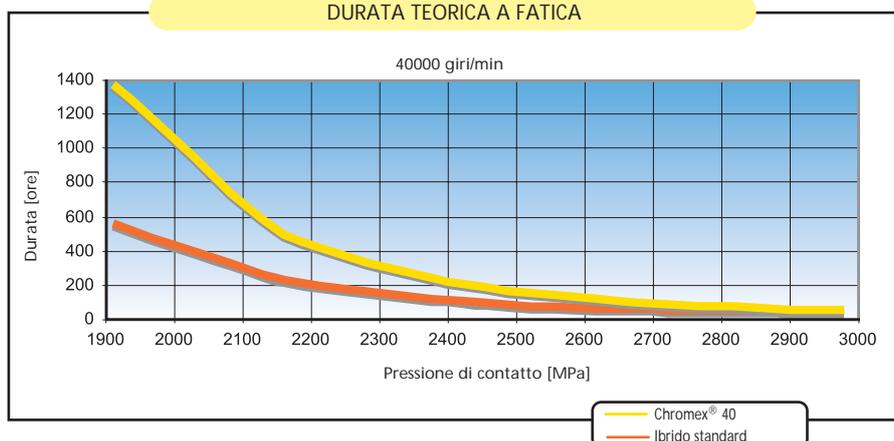
Questo acciaio speciale, altamente legato, è la soluzione più affidabile, stabile e innovativa per le prestazioni di cuscinetti per macchine utensili ed elettromandrini. Risultato della più avanzata tecnologia aeronautica ed aerospaziale, Chromex® 40 si distingue per la sua composizione innovativa, con elementi quali il molibdeno, il cromo, il vanadio e l'azoto, che consente di ottenere una struttura più omogenea e aumenta la resistenza alla fatica e alla corrosione.

Durata



- 100 Cr6 = L_{10_h}
- 100 Cr6 + NS = $L_{10_h} \times 2$
- Chromex® 40 + NS = $L_{10_h} \times 5$

DURATA TEORICA A FATICA

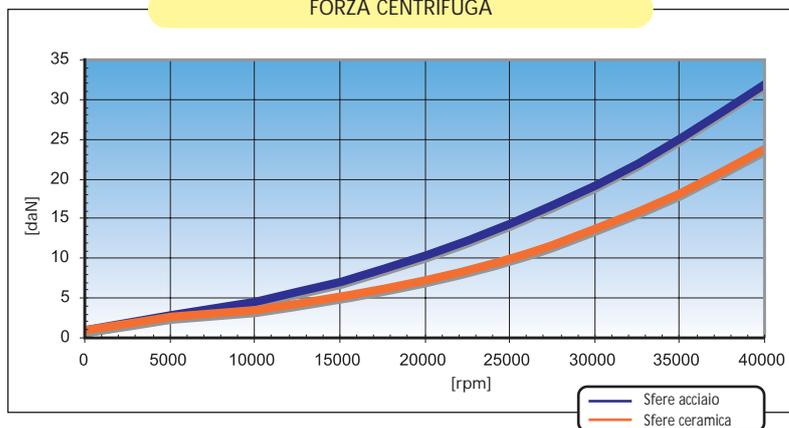


RESISTENZA ALLA CORROSIONE

STRUTTURA PIÙ OMOGENEA

RESISTENZA ALLA FATICA

FORZA CENTRIFUGA

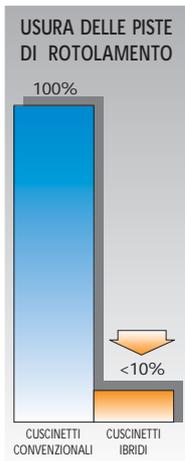
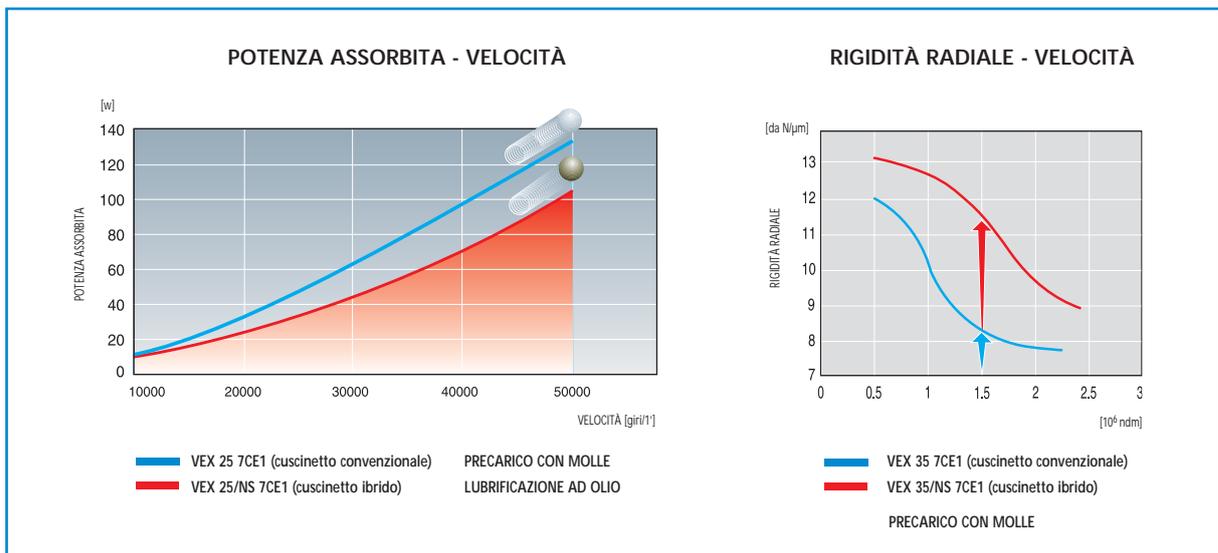


CUSCINETTI "NS": tutti i vantaggi della ceramica



Una perfetta combinazione di densità, resistenza e durata è quella garantita dalle sfere realizzate in nitruro di silicio (Si₃N₄), un materiale ceramico che, sottoposto a procedimenti particolari, raggiunge un elevato grado di durezza e di omogeneità. La fabbricazione delle sfere di materiale ceramico è oggi così avanzata, che lo standard di qualità ha

raggiunto o superato quello delle sfere di acciaio: l'attrito delle sfere in materiale ceramico è inferiore a quello delle sfere di acciaio, per tanto i cuscinetti ibridi, ovvero i cuscinetti aventi sfere in materiale ceramico, hanno bisogno di una minore quantità di olio per la lubrificazione. Non solo: tutti questi elementi comportano un notevole abbattimento della potenza assorbita.



Dati caratteristici del materiale		Nitruro di silicio Si ₃ N ₄	Acciaio per cuscinetti
Densità	ρ [g/cm ³]	3,19	7,80
Coefficiente di dilatazione lineare	α [10 ⁻⁶ /°C]	20 - 1000 °C	-
		20 - 300 °C	11
Modulo di elasticità	E [kN/mm ²]	20 °C	210
Modulo di Poisson	ν		0,30
Durezza HV10		20 °C	700
Resistenza alla resilienza	K _{IC} [MN/m ^{1.5}]	20 °C	25
Conducibilità termica	λ [W/m °C]	20 °C	40-50
Temperatura limite d'impiego	[°C]	ca. 1000	ca. 300
Durezza a caldo		buona	insufficiente
Stabilità dimensionale		buona	buona
Resistenza alla corrosione		buona	insufficiente
Magnetismo		assente	presente
Isolamento elettrico		buono	insufficiente

CUSCINETTI SCHERMATI: protetti e affidabili



Affidabilità, sicurezza e lunga durata sono i segni particolari dei cuscinetti schermati SNFA, interamente prodotti nel rispetto delle dimensioni della serie ISO 10 e ISO 19.

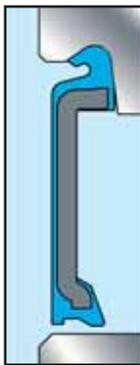
Normalmente la contaminazione con particelle esterne durante il lavaggio, l'umidità residua dopo l'asciugatura, l'inquinamento del lubrificante, l'utilizzo di grassi lubrificanti non idonei per elevate velocità o l'asportazione e il deterioramento del lubrificante da parte dei flussi di aria generati dalle tenute pneumatiche durante il funzionamento, sono le cause che riducono la reale durata di servizio del cuscinetto. La presenza delle tenute laterali protegge invece il cuscinetto dall'infiltrazione di particelle contaminanti e dal deterioramento del lubrificante, mentre lo spazio esistente tra la gabbia e gli schermi crea una riserva di grasso che garantisce al cuscinetto prestazioni elevate e una maggiore durata operativa. Gli schermi sono stati appositamente realizzati ottimizzando gli ingombri interni e l'affidabilità di funzionamento del cuscinetto.



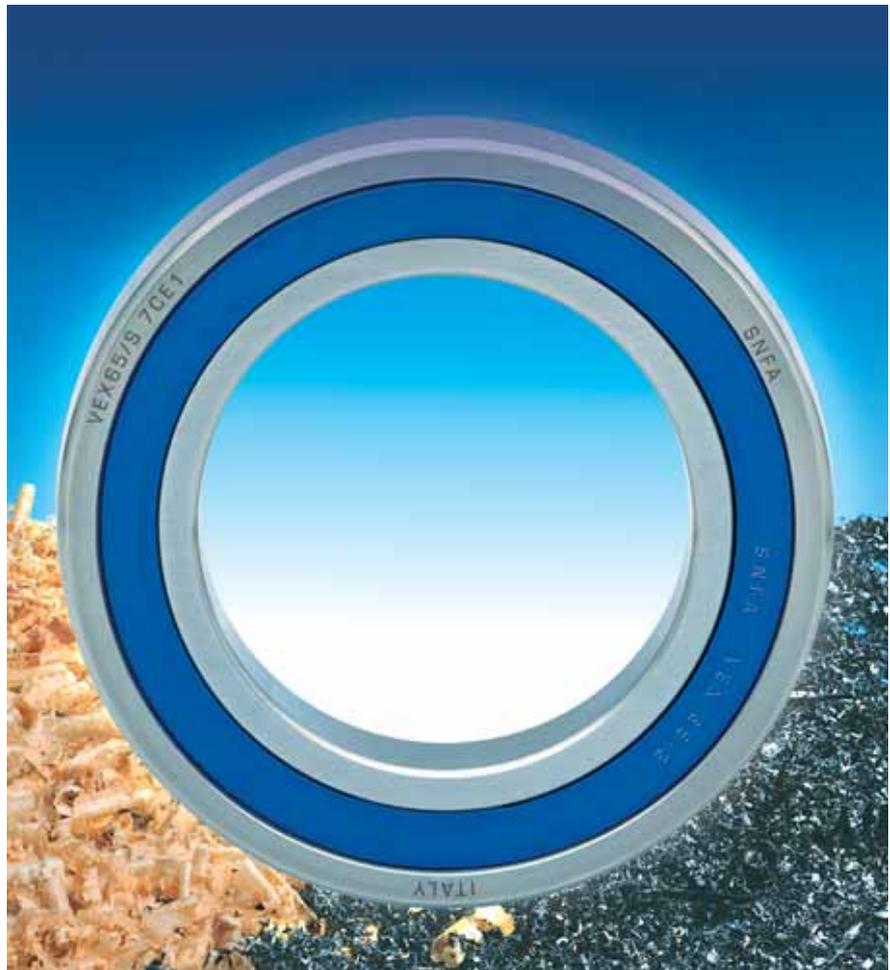


Le principali cause che riducono la reale durata di servizio del cuscinetto sono:

- contaminazione dei cuscinetti con particelle esterne durante il lavaggio;
- umidità residua dopo asciugatura;
- inquinamento del lubrificante;
- utilizzo di grassi lubrificanti non idonei per elevate velocità, oppure le cui proprietà si sono degradate durante l'immagazzinamento;
- asportazione e deterioramento del lubrificante da parte dei flussi d'aria generati dalle tenute pneumatiche durante il funzionamento.



Le serie che SNFA sta attualmente producendo sono state concepite nella versione più idonea per l'alta velocità di rotazione, settore dove è più importante garantire che all'interno dei cuscinetti non ci siano agenti inquinanti, che la pulizia sia rigorosa, e che il tipo e la quantità del grasso siano corretti.



Tolleranze dimensionali e funzionali dei cuscinetti ABEC5 - ABEC 7 - ABEC 7/9 - ABEC9 (ABMA STD 20)

Anello interno

(valori in micron)

Diametro nominale del foro in mm		> 0	>10	>18	>30	>50	>80	> 120	> 150	> 180	>250	> 315	> 400
		≤10	≤ 18	≤ 30	≤ 50	≤ 80	≤ 120	≤ 150	≤ 180	≤ 250	≤ 315	≤ 400	≤ 500
Δ_{dmp}	ABEC 5	-5	-5	-6	-8	-9	-10	-13	-13	-15	-18	-23	
	ABEC 7	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-10	-10	-12			
	ABEC 9	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-4	-5	-7	-7	-8			
K_{ia}	ABEC 5	4	4	4	5	5	6	8	8	10	13	15	
	ABEC 7	2.5	2.5	3	4	4	5	6	6	8			
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5			
S_{ia}	ABEC 5	7	7	8	8	8	9	10	10	13	15	20	
	ABEC 7	3	3	4	4	5	5	7	7	8			
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5			
S_d	ABEC 5	7	7	8	8	8	9	10	10	11	13	15	
	ABEC 7	3	3	4	4	5	5	6	6	7			
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5			
V_{Bs}	ABEC 5	5	5	5	5	6	7	8	8	10	13	15	
	ABEC 7	2.5	2.5	2.5	3	4	4	5	5	6			
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5			
Δ_{Bs}	ABEC 5	-40	-80	-120	-120	-150	-200	-250	-250	-300	-350	-400	
	ABEC 7	-40	-80	-120	-120	-150	-200	-250	-250	-300			
	ABEC 9	-40	-80	-120	-120	-150	-200	-250	-250	-300			
Δ_{B1s}	ABEC 5	-250	-250	-250	-250	-250	-380	-380	-380	-500	-500	-630	
	ABEC 7	-250	-250	-250	-250	-250	-380	-380	-380	-500			
	ABEC 9												

ABEC 7/9 = Tolleranze dimensionali corrispondenti a ABEC 7 e funzionali corrispondenti a ABEC 9.

Anello esterno

(valori in micron)

Diametro nominale esterno in mm		> 0	> 6	>18	>30	>50	>80	>120	> 150	> 180	>250	> 315	> 400
		≤ 6	≤ 18	≤ 30	≤ 50	≤ 80	≤ 120	≤ 150	≤ 180	≤ 250	≤ 315	≤ 400	≤ 500
ΔD_{mp}	ABEC 5	-5	-5	-6	-7	-9	-10	-11	-13	-15	-18	-20	-23
	ABEC 7	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-13	-15	
	ABEC 9	-2.5	-2.5	-4	-4	-4	-5	-5	-7	-8	-8	-10	
K_{ea}	ABEC 5	5	5	6	7	8	10	11	13	15	18	20	23
	ABEC 7	3	3	4	5	5	6	7	8	10	11	13	
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5	5	5	7	7	8	
S_{ea}	ABEC 5	8	8	8	8	10	11	13	14	15	18	20	23
	ABEC 7	5	5	5	5	5	6	7	8	10	10	13	
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5	5	5	7	7	8	
S_D	ABEC 5	8	8	8	8	8	9	10	10	11	13	13	15
	ABEC 7	4	4	4	4	4	5	5	5	7	8	10	
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	4	5	7	
V_{Cs}	ABEC 5	5	5	5	5	6	8	8	8	10	11	13	15
	ABEC 7	2.5	2.5	2.5	2.5	3	4	5	5	7	7	8	
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	4	5	7	
Δ_{Cs} Δ_{C1s}	ABEC 5	STESSI VALORI DELL'ANELLO INTERNO											
	ABEC 7	STESSI VALORI DELL'ANELLO INTERNO											
	ABEC 9	STESSI VALORI DELL'ANELLO INTERNO											

ABEC 7/9 = Tolleranze dimensionali corrispondenti a ABEC 7 e funzionali corrispondenti a ABEC 9.

Nota: su richiesta si possono fornire cuscinetti con tolleranze speciali.

Δ_{dmp} = Scostamento del diametro medio del foro dal valore nominale ($\Delta_{dmp} = d_{mp} - d$).

ΔD_{mp} = Scostamento del diametro esterno medio dal valore nominale ($\Delta D_{mp} = D_{mp} - D$).

K_{ia}, K_{ea} = Difetto radiale di rotazione dell'anello interno, e, rispettivamente, di quello esterno misurabile sul cuscinetto completo.

S_{ia}, S_{ea} = Difetto di rotazione della facciata laterale rispetto alla pista dell'anello interno, e, rispettivamente, dell'anello esterno, misurabile sul cuscinetto completo.

S_d = Difetto di quadratura della facciate rispetto al foro (dell'anello interno).

S_D = Variazione dell'inclinazione esterna: variazione di inclinazione della superficie cilindrica esterna rispetto alla facciata laterale dell'anello esterno.

V_{Bs}, V_{Cs} = Variazione della larghezza dell'anello; differenza tra i valori massimi e minimi delle misure singole dell'anello interno, e, rispettivamente, dell'anello esterno.

Δ_{Bs}, Δ_{Cs} = Scostamento di una misura singola della larghezza dell'anello interno o dell'anello esterno dal valore nominale ($\Delta_{Bs} = B_s - B$ ecc.).

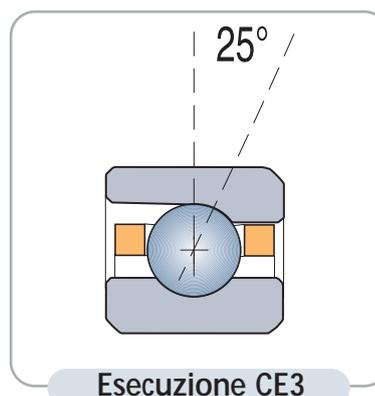
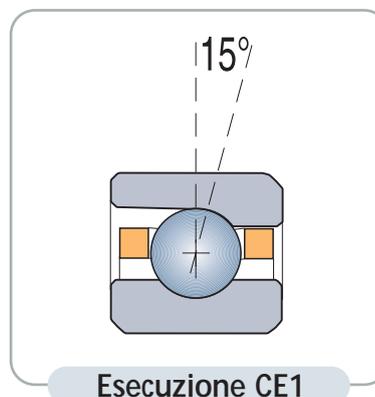
$\Delta_{B1s}, \Delta_{C1s}$ = Scostamento di una misura singola della larghezza dell'anello interno e, rispettivamente, dell'anello esterno di cuscinetti costruiti per il montaggio in coppie e di cuscinetti universali ($\Delta_{B1s} = B_s - B$ ecc.).

Angolo di contatto

Nei cuscinetti a sfere con contatto obliquo la retta che unisce i punti di contatto della sfera con l'anello esterno e con l'anello interno, sotto l'effetto di una spinta assiale, forma un angolo con un piano perpendicolare all'asse del cuscinetto; tale angolo è chiamato "angolo di contatto α ".

I cuscinetti SNFA possono essere forniti con angolo di 12° , 15° , 18° , 25° ; fanno eccezione i cuscinetti della serie BS200 e BS speciali che, dovendo sopportare elevate spinte assiali, hanno l'angolo di contatto di 62° . Durante il funzionamento il comportamento dei cuscinetti a sfere con contatto obliquo è fortemente influenzato dall'angolo α . Con l'aumentare di α aumentano la rigidità e la capacità di carico assiale del cuscinetto, a scapito di quella radiale. Un elevato valore è invece controproducente alle alte velocità di rotazione.

La scelta dell'angolo di contatto, pertanto, richiede un attento studio dell'applicazione, tenendo presenti le caratteristiche finali desiderate.



ANGOLO DI CONTATTO	CODICE SNFA
12°	0
15°	1
18°	2
25°	3
62°	62



Tra i differenti tipi, i cuscinetti a sfere a contatto obliquo sono quelli che consentono le velocità di rotazione più elevate.

I valori di velocità indicati nelle tabelle dei dati dei cuscinetti SNFA rappresentano il limite al quale i cuscinetti possono funzionare in maniera continuativa, con una temperatura stazionaria che non comporta rischi di danneggiamento (Velocità di riferimento termico).

Tale temperatura varia in funzione del tipo di lubrificazione: per quella a grasso, a causa della deteriorabilità del lubrificante, la temperatura accettabile ha un valore inferiore a quella dell'olio.

Pertanto la velocità-limite consentita dalla lubrificazione a grasso è all'incirca il 65% di quella raggiungibile con lubrificazione ad olio.

I limiti di temperatura, a cui si è fatto riferimento nella determinazione dei valori di velocità dei cuscinetti SNFA, sono più bassi di quelli comunemente usati per i cuscinetti normali (non di precisione) allo scopo di garantire caratteristiche di alta precisione ed affidabilità.

I limiti di velocità dei cuscinetti variano a seconda delle

dimensioni e delle serie di appartenenza ovvero della configurazione interna che li caratterizza.

Altri elementi che condizionano il limite di velocità del cuscinetto sono:

- precarico;
- precisione;
- composizione del gruppo e tipo di accoppiamento: le soluzioni che prevedono l'accoppiamento faccia a faccia (FF, TF, 3TF, TFT) sono le più penalizzate quanto a limite di velocità;
- angolo di contatto.

I valori delle velocità massime indicate nelle tabelle dei "dati caratteristici" si riferiscono a cuscinetti singoli.

Fanno eccezione i valori relativi alle unità a cartuccia che, invece, si riferiscono al gruppo di cuscinetti ingrassati e precaricati.

Per il calcolo della velocità dei cuscinetti, in altre varianti non indicate nelle tabelle, si applicano i fattori correttivi sotto indicati.

Calcolo della velocità limite

$$n_{max} [rpm] = V_h \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

	K ₁		K ₂		K ₃		K ₄	
	Disposizione e precarico		Precisione		Lubrificante		Angolo di contatto	
	SEA - SEB - VEB EX - VEX - E200 BS200 - BS	HB	SEA - SEB - VEB EX - VEX E200 - HB	BS200 - BS	TUTTE LE SERIE	SEA - SEB - VEB EX - VEX E200 - HB	BS200 - BS	
T (*)	0.90	0.90						
DDL - FFL	0.80 - 0.77	0.83 - 0.80						
TDL - TFL	0.72 - 0.66	0.75 - 0.66	ABEC 9	1.00		Olio	1.00	15°
TDTL - TFTL	0.64 - 0.62	0.67 - 0.64						
DDM - FFM	0.65 - 0.61	0.78 - 0.74	ABEC 7	0.90	1.00			62°
TDM - TFM	0.58 - 0.49	0.70 - 0.60						1
TDTM - TFTM	0.53 - 0.48	0.64 - 0.60				Grasso	0.65	25°
DDF - FFF	0.40 - 0.36	0.58 - 0.54	ABEC 5	0.81	0.90			
TDF - TFF	0.36 - 0.24	0.52 - 0.40						
TDTF - TFTF	0.32 - 0.27	0.48 - 0.41						

V_h: vedere tabelle dati della serie (olio)

(*) per gruppi di cuscinetti precaricati con molle

Es.: la velocità massima teorica di un set di cuscinetti EX 50 9CE3 TDM (disposizione a tandem-dorso; gioco da 3, ABEC 9, precarico medio) con lubrificazione con grasso sarà = 8.700 giri/min, cioè

$$n_{max.} = 25.500 \times 0.58 \times 0.65 \times 0.9 = 8.700 \text{ giri/min (TDM) (grasso) (25°)}$$

I valori menzionati sono valori indicativi, validi per un precarico fisso in condizioni di lavoro ottimale, dipenderanno, cioè, dalle tolleranze, dal montaggio, dalla temperatura, dalla lubrificazione, eccetera.

Importante per un buon comportamento è lo stato di equilibratura dinamica.

Temperatura di funzionamento



Il limite massimo di temperatura per un cuscinetto, inteso come valore al di sotto del quale non avvengono modifiche geometriche e strutturali, varia a seconda dei materiali e dei trattamenti adottati.

Nei cuscinetti a sfere, a contatto obliquo, SNFA, gli anelli e le sfere sono "stabilizzati" per una temperatura di $150 \div 160^{\circ}\text{C}$; le gabbie in resina fenolica "C" e in poliammide "P" possono sopportare una temperatura non superiore a 120°C .

Poiché durante il funzionamento la temperatura interna del cuscinetto raggiunge valori più elevati di quelli rilevati con sonde poste in prossimità degli anelli, potendosi verificare un pericoloso surriscaldamento localizzato nelle aree di contatto sfere-piste, che porterebbe al grippaggio dei cuscinetti, per sicurezza è opportuno che la temperatura rilevata dalla sonda sia ben al di sotto dei valori sopra indicati.

Nel caso di cuscinetti lubrificati a grasso, la situazione diventa già critica quando gli anelli superano la soglia di circa 55°C , causa il rapido deterioramento del grasso.

Con la lubrificazione ad olio i limiti di temperatura sono notevolmente più elevati e variano in funzione del sistema adottato.

Il livello vibrazionale di un cuscinetto è indice significativo dello stato di danneggiamento del cuscinetto stesso, e, più in generale, della macchina su cui è assemblato.

Infatti, spesso un danneggiamento dei cuscinetti od un malfunzionamento di una macchina rotante si traducono, in pratica, in un aumento del livello vibrazionale generale.

Utilizzando degli strumenti per l'analisi delle vibrazioni, confrontando lo spettro acquisito dallo strumento con le frequenze caratteristiche dei cuscinetti, è possibile capire se le vibrazioni anomale sono dovute a danneggiamenti del cuscinetto o ad altri componenti della macchina.

Le frequenze caratteristiche dei cuscinetti sono legate alla loro geometria e si calcolano attraverso le seguenti formule:

Frequenza di passaggio delle sfere sull'anello esterno:

$$BPFO = \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2} \left(1 - \frac{\emptyset}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) \text{ [Hz]}$$

Frequenza di passaggio delle sfere sull'anello interno:

$$BPFI = \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2} \left(1 + \frac{\emptyset}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) \text{ [Hz]}$$

Frequenza di rotazione delle sfere sul proprio asse:

$$BSF = 0.5 \cdot \frac{n}{60} \left(\frac{d_m}{\emptyset} - \frac{\emptyset}{d_m} \cdot \cos^2 \alpha \right) \text{ [Hz]}$$

Frequenza di rotazione della gabbia:

$$FTF = 0.5 \cdot \frac{n}{60} \left(1 - \frac{\emptyset}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) \text{ [Hz]}$$

n: velocità di rotazione dell'anello interno [giri/min] **α:** angolo di contatto [grad]

Z: numero di sfere - **∅:** diametro sfera [mm] - **dm:** diametro medio cuscinetto [mm]

Di seguito riportiamo una tabella per una prima analisi della causa di vibrazione anomala:

Difetto	Frequenza dominante	Direzione di misurazione della vibrazione	Note
Corpo volvente danneggiato	BSF	Radiale	I difetti sui corpi volventi generano dei picchi di vibrazione alla frequenza di rotazione sul loro asse ed alle successive armoniche (BSF, 2xBSF, 3xBSF ecc.). Inoltre tali frequenze sono spesso modulate dalla frequenza di rotazione della gabbia (FTF), presentando picchi minori in corrispondenza di BSF±FTF, 2xBSF±FTF ecc.
Gabbia danneggiata	BSF - FTF	Radiale - Assiale	La frequenza della vibrazione varia continuamente. Inoltre i corpi volventi guidati dalla gabbia generano vibrazioni anomale alla BSF.
Anelli danneggiati	BPFO -BPFI	Radiale	In presenza di un difetto sulle piste di rotolamento le sfere generano una vibrazione in corrispondenza della loro frequenza di passaggio, BPFI e BPFO rispettivamente se il danneggiamento è sull'anello interno o sull'esterno. Generalmente il fenomeno evolve nel tempo danneggiando anche i corpi volventi che generano, quindi, anche segnali alla BSF e sue armoniche (vedasi: Corpo volvente danneggiato).
Lubrificazione	Variabile	Radiale - Assiale	In caso di lubrificazione carente si possono presentare dei picchi nel campo di qualche kHz di frequenza, dovuti ai contatti tra le microasperità delle superfici.
Rotore sbilanciato	n/60	Radiale	La causa più comune di vibrazione dei rotori è la presenza di una massa rotante sbilanciata. Questo porta l'asse di rotazione del rotore a non coincidere con il suo asse d'inerzia, generando elevate vibrazioni alla frequenza di rotazione.
Disallineamento	n/60	Radiale - Assiale	Un'altra comune causa di vibrazione è il non perfetto allineamento assiale dei supporti del rotore. Qualora i supporti del rotore non siano perfettamente coassiali, si generano tanto più ampie vibrazioni, quanto più disallineati sono i supporti ed elevata è la velocità, alla frequenza di rotazione del rotore ed alle sue armoniche successive.
Eccessivo gioco	0.5 x n/60	Radiale - Assiale	Qualora vi sia un eccessivo gioco tra due particolari meccanici accoppiati (ad es. cuscinetto-sede) si generano vibrazioni elevate alla frequenza di rotazione dell'albero ed in corrispondenza delle sue subarmoniche (0,5 x n/60).

Calcolo della durata teorica L_{10} ; Coefficiente di carico dinamico C_{33}

(Norma ISO 281)

Per durata di un cuscinetto s'intende il numero di giri o di ore di funzionamento che il cuscinetto può raggiungere prima che si verifichi il primo segno di cedimento.

Se si escludono i danneggiamenti dovuti a grossolani difetti ed errori, nelle applicazioni pratiche le modalità più comuni di cedimento dei cuscinetti risultano essere: usura, grippaggio, impronte permanenti, surriscaldamento, fatica del materiale per gli sforzi ciclici di lavoro (sfaldature, erosioni delle piste).

Tali fenomeni sono complessi e spesso tra loro collegati, e non esistono sicuri modelli di calcolo a cui far riferimento per una loro valutazione.

Fa eccezione il cedimento per fatica del materiale delle piste, di cui esistono una teoria nonché il metodo di calcolo descritto dalla norma ISO 281, che da tale teoria deriva.

Nei settori applicativi in cui il maggiore impegno dei cuscinetti è l'elevata velocità di rotazione (es. mandrini ed elettromandrini ad alta frequenza) la causa più frequente di cedimento non risulta essere la fatica delle piste, bensì i danneggiamenti per surriscaldamento e grippaggio.

In tali settori risulta pertanto necessario dare priorità a quei fattori del disegno che migliorano le prestazioni del cuscinetto alle alte velocità, quali, ad esempio, una riduzione della potenza dissipata, una migliore possibilità di lubrificazione e raffreddamento, anche se, in qualche caso, ciò può manifestarsi a scapito delle capacità portanti del cuscinetto.

Ciò premesso, in fase di progettazione è comunque doveroso verificare che i cuscinetti siano idonei a sopportare i carichi di lavoro senza manifestare segni di fatica, calcolando la "durata teorica L_{10} ", secondo le indicazioni della norma ISO 281.

Calcolo

Seguendo la norma ISO 281, la durata teorica di un gruppo di "i" cuscinetti a sfere, dello stesso tipo ed angolo di contatto, viene calcolata applicando le seguenti formule:

$$L_{10} = \left(\frac{K \cdot C_{33}}{P_e} \right)^3 \quad \text{(milioni di giri)}$$

$$L_{10h} = \frac{(L_{10} \cdot 10^6)}{(60 \cdot n)} \quad \text{(ore)}$$

Simboli:

L_{10} Durata di base, in milioni di giri, con probabilità di cedimenti del 10% (sopravvivenza 90%).

L_{10h} Durata di base, in ore, con probabilità di cedimenti del 10% (sopravvivenza 90%).

C_{33} Capacità di carico dinamico di un cuscinetto singolo (in daN); essa esprime il carico (radiale od assiale a seconda che il cuscinetto sia radiale od assiale), a cui corrisponde una durata di 1 milione di giri con una probabilità di cedimento del 10% (sopravvivenza del 90%). L'ISO 281 indica una formula per calcolare il valore C_{33} di cuscinetti di buona qualità con sfere ed anelli in acciaio, in funzione della geometria interna dei cuscinetti stessi; tali valori sono riportati nelle tabelle dei dati dei cuscinetti.

Per i cuscinetti NS e XN sono stati utilizzati gli stessi valori di capacità di carico dinamica C_{33} calcolati per i cuscinetti di acciaio, in mancanza di metodi di calcolo standard.

Il calcolo della durata viene corretto utilizzando fattori ottenuti sperimentalmente (vedere pag. 20).

K Coefficiente maggiorativo della capacità di carico per un gruppo di "i" cuscinetti: $K = i^{0.7}$.

P_e Carico dinamico equivalente (in daN); carico che esercita lo stesso effetto sulla durata del carico assiale F_a e radiale F_r agenti realmente sul gruppo di "i" cuscinetti.

F_a Carico assiale agente sul gruppo di cuscinetti (daN).

F_r Carico radiale agente sul gruppo di cuscinetti (daN).

n Velocità di rotazione del gruppo (giri/min).



- Poiché la norma ISO indica il metodo per valutare la capacità ($K \cdot C_{33}$) di un gruppo di cuscinetti uguali, qualora un supporto sia composto da cuscinetti di carico e di precarico diversi, per numero od esecuzione, è necessario valutare sia la frazione di carico agente sui cuscinetti di carico, sia quella agente sui cuscinetti di precarico, e calcolare separatamente la durata dei due gruppi.

- Le "durate di base" L_{10} e L_{10h} sono determinate da carichi e velocità di lavoro, e dal C_{33} , cioè dal disegno del cuscinetto. La norma ISO 281 accenna alla possibilità di valutare delle durate che tengano conto di altri fattori. Tali durate, indicate L_{10a} e L_{10ha} , sono ottenute moltiplicando le "durate di base" per opportuni coefficienti correttivi "a". È possibile calcolare fattori correttivi "a" che tengano in conto:
 - la viscosità e il grado di pulizia del lubrificante
 - il grado di pulizia dell'acciaio
 - il limite a fatica dell'acciaio dei cuscinetti.Tali calcoli possono comportare difficoltà, a causa dell'incertezza dei dati. Qualora sia necessario valutare gli effetti dei suddetti fattori, è consigliabile interpellare i Servizi Tecnici della SNFA.

- Il metodo di calcolo ISO 281 è valido per cuscinetti con sfere di acciaio e per velocità di rotazione tali che le forze centrifughe sulle sfere siano di fatto trascurabili rispetto alle forze prodotte dai carichi di lavoro. Qualora non siano verificate tali ipotesi è necessario usare sofisticati programmi per elaboratore, disponibili presso gli Uffici Tecnici SNFA, basati sulla stessa teoria dei cedimenti a fatica da cui deriva l'ISO 281.

Calcolo del carico dinamico equivalente Pe

(Norma ISO 281)

Il valore del carico dinamico equivalente è definito dalla formula seguente:

$$P_e = X F_r + Y F_a \quad (\text{daN})$$

I valori di X e Y sono riportati nella tabella sottostante.

Nota: nel caso di un gioco di cuscinetti precaricati, tenere presente che:

1) se il supporto è sottoposto unicamente ad un carico radiale, il carico assiale è uguale al precarico:

$$F_a = P_r \quad (\text{daN})$$

2) se il supporto è sottoposto ad un carico esterno combinato, radiale e assiale:

- se il gruppo è precaricato rigidamente:
 - a) con $F_a \text{ esterno} \leq 3 P_r$ considerate $F_a = 2/3 F_a \text{ esterno} + P_r$
 - b) con $F_a \text{ esterno} > 3 P_r$ considerate $F_a = F_a \text{ esterno}$

- se i cuscinetti sono precaricati con molle:

$$F_a = F_a \text{ esterno} + P_r \text{ molle}$$

Cuscinetti singoli o accoppiati in tandem (T)

α	$\frac{F_a}{i C_o}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
			X	Y	X	Y
			15°	0,015	0,38	1
0,029	0,40	1,40				
0,058	0,43	1,30				
0,087	0,46	1,23				
0,12	0,47	1,19				
0,17	0,50	1,12				
0,29	0,55	1,02				
0,44	0,56	1,00				
0,58	0,56	1,00				
25°	-	0,68		1	0	
62°	-	2,65	2,06	0,54	0,98	1

Durata L10 combinata

Si calcola quando il cuscinetto è soggetto ad un ciclo di lavoro di cui si conosce lo spettro (carichi F, velocità di rotazione n, percentuale di utilizzo u); cioè siano noti:

F1	n1	u1
F2	n2	u2
F3	n3	u3
Fn	nn	un

Calcolate le durate L10 per ogni condizione del ciclo, si può valutare la durata del cuscinetto usando la formula seguente:

$$L_{10 \text{ combinata}} = \frac{100}{\frac{u_1}{L_{10_1}} + \frac{u_2}{L_{10_2}} + \dots + \frac{u_n}{L_{10_n}}}$$

Fattore di affidabilità

(Norma ISO 281)

È possibile valutare la durata corrispondente ad un diverso grado di affidabilità, moltiplicando L10 (grado di affidabilità 90%) per il coefficiente correttivo relativo al grado di affidabilità richiesto, come indicato nella tabella sottostante:

Affidabilità	Durata	Coefficiente
50%	L50	= 5
90%	L10	= 1
95%	L5	= 0.62
96%	L4	= 0.53
97%	L3	= 0.44
98%	L2	= 0.33
99%	L1	= 0.21

· L10

Tali coefficienti sono il risultato della teoria posta alla base della norma ISO 281, la quale asserisce che la distribuzione statistica dei cedimenti per fatica di una popolazione di cuscinetti uguali, in eguali condizioni di lavoro, segue una legge ben definita: la cosiddetta "Distribuzione di Weibull".

Verifica statica del cuscinetto; Coefficiente di carico statico C_0



Il coefficiente di carico statico " C_0 " viene usato per verificare se un cuscinetto sia in grado di sopportare, da fermo o ruotando a velocità molto basse, elevati carichi di breve durata, quali quelli che possono derivare da urti o manovre, senza subire danneggiamenti.

Nel settore delle macchine utensili, ad esempio, tale coefficiente è usato per controllare se i cuscinetti dei mandrini delle fresatrici sono in grado di sopportare i carichi derivanti dalla manovra di estrazione del "portautensile".

In conformità con la norma ISO 76-1987 il coefficiente di carico statico C_0 è definito come il carico statico che produce una sollecitazione di 420 daN/mm^2 nella zona di contatto tra la sfera più caricata e la pista.

Sollecitazioni pari o più elevate producono, nei cuscinetti obliqui a sfere, deformazioni permanenti ("brinellature").

Il carico C_0 è da considerare puramente radiale per cuscinetti radiali e puramente assiale e centrato per quelli assiali.

I valori di C_0 sono riportati nelle tabelle dei dati dei cuscinetti.



Verifica statica e carico statico equivalente Po

Scopo della "verifica statica" è di controllare che carichi esterni statici eccezionali, agenti su un cuscinetto od un gruppo di "i" cuscinetti, non provochino deformazioni permanenti sulle piste (brinellature).

Per eseguire tale verifica, i carichi esterni, aventi una componente radiale Fr ed una assiale Fa, debbono essere trasformati in un carico statico equivalente Po, per essere

confrontati con la capacità di carico statico Co del cuscinetto o del gruppo.

Per carico statico equivalente Po s'intende quel carico (radiale per i cuscinetti radiali, assiale per i cuscinetti assiali) che, se applicato, provocherebbe lo stesso danneggiamento causato dal carico reale.

Secondo la norma ISO, Po si ottiene usando la formula:

$$P_o = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a \quad (\text{daN})$$

Fr carico radiale effettivo (daN)

Fa carico assiale effettivo (daN)

Xo fattore relativo al carico radiale

Yo fattore relativo al carico assiale

I valori di Xo e Yo sono riportati nella tabella 1 per cuscinetti obliqui a sfere singoli o accoppiati in tandem (T), e nella tabella 2 per cuscinetti accoppiati Dorso a Dorso (DD) oppure Faccia a Faccia (FF).

Tabella 1 - Cuscinetti singoli o accoppiati in Tandem (T)

α	Xo	Yo
15°	0.50	0.46
25°	0.50	0.38

Tabella 2 - Cuscinetti accoppiati Dorso a Dorso (DD) o Faccia a Faccia (FF)

α	Xo	Yo
15°	1	0.92
25°	1	0.76

Noto il carico statico equivalente Po, si controlla che la capacità di carico statico Co sia adeguata, verificando che venga rispettata la relazione seguente:

$$i \cdot C_o / P_o \geq S_o$$

ove:

i Numero di cuscinetti del gruppo su cui agiscono le forze Fa e Fr;

i · Co Capacità di carico statico del gruppo di "i" cuscinetti;

So Fattore di sicurezza che, nel caso di cuscinetti obliqui a sfere di precisione, dovrà avere i seguenti valori:

So = 2 per funzionamento regolare

So = 3 per sollecitazioni statiche molto frequenti.

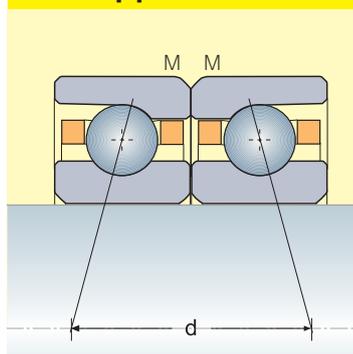
Metodi avanzati di calcolo mediante elaboratore, basati sulla valutazione delle sollecitazioni nella zona di contatto tra le sfere e le piste in funzione dei carichi esterni e della deformazione dell'albero, sono disponibili presso i servizi tecnici della SNFA, qualora sia necessaria una valutazione più accurata o nel caso in cui si montino cuscinetti "ibridi".

Una particolarità importante dei cuscinetti a sfere, di precisione, a contatto obliquo, è consentire la formazione di "Gruppi", di due o più unità, aventi capacità di carico e rigidità fortemente incrementate, senza penalizzare sensibilmente il limite di velocità raggiungibile dal cuscinetto singolo.

Il tipo di accoppiamento più semplice è rappresentato dal duplex, ossia da due cuscinetti abbinati tra loro nelle diverse configurazioni possibili.

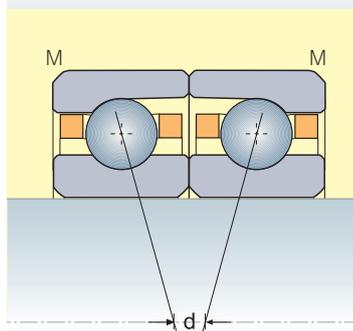
Nella pagina seguente sono illustrati gli accoppiamenti multipli, usati soprattutto nelle applicazioni caratterizzate da elevati carichi di lavoro.

Accoppiamenti costituiti da due cuscinetti



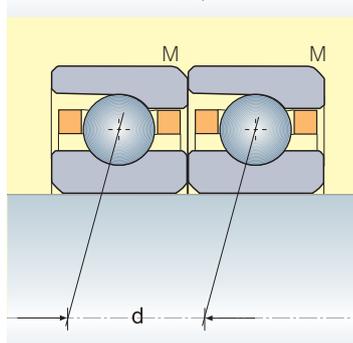
Dorso a Dorso (DD)

- accoppiamento di tipo simmetrico;
- possibilità di sopportare carichi radio-assiali nei due sensi;
- elevata rigidità angolare.



Faccia a Faccia (FF)

- accoppiamento di tipo simmetrico;
- possibilità di sopportare carichi radio-assiali nei due sensi;
- ridotta rigidità angolare.



Tandem (T)

- i cuscinetti devono essere identici;
- possibilità di sopportare forti carichi assiali in un solo senso;
- necessità di contrapporre cuscinetti di precarico.

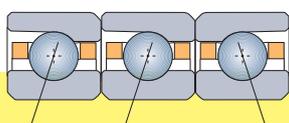
M = lato marcatura anello esterno

Accoppiamenti multipli

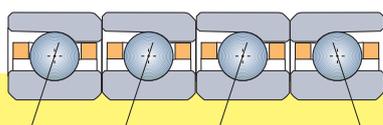
Per le applicazioni dove è richiesta una maggiore rigidità, oppure sono presenti forti carichi, si può ricorrere ad un accoppiamento MULTIPLO, anziché DUPLEX.

Esempi di accoppiamenti multipli:

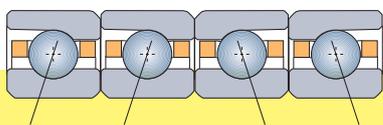
TD



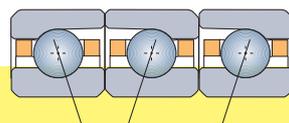
3TD



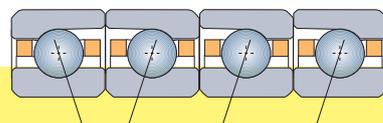
TDT



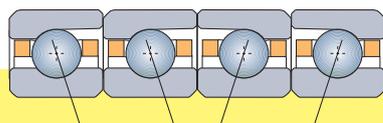
TF



3TF



TFT



Esempio di denominazione:

EX 80 7CE3 T / EX 75 7CE1 DL

Terna formata da 2 cuscinetti serie EX, in tandem, foro 80 mm, con angolo di contatto 25° e da 1 cuscinetto serie EX, foro 75 mm, angolo di contatto 15°, contrapposto Dorso a Dorso.

Gruppi formati con cuscinetti di diverso tipo

Gli accoppiamenti Duplex e Multipli possono essere formati da cuscinetti diversi per serie di appartenenza, dimensioni ed angolo di contatto. Se il gruppo prevede cuscinetti disposti in tandem, questi, come di regola, debbono essere uguali.

I gruppi così formati offrono le seguenti possibilità:

- ottimizzazione della capacità di carico e della rigidità;
- adozione di precarichi più leggeri e, quindi, incremento della velocità di funzionamento (ad esempio, se i cuscinetti di carico hanno un angolo di contatto 25° e quelli di precarico hanno un angolo di contatto 15°, si può ridurre il precarico del gruppo senza abbassare il valore del carico di distacco Pd);
- ridotto ingombro (es. cuscinetti di precarico aventi minor ingombro rispetto a quelli di carico).

Gruppo composto da:

2 cuscinetti universali	=	DU
3 cuscinetti universali	=	TU
4 cuscinetti universali	=	4U
5 cuscinetti universali	=	5U

Particolarità dei cuscinetti accoppiati all'origine dalla SNFA



Le prestazioni dei cuscinetti accoppiati dipendono in massima parte dall'accuratezza in base alla quale vengono abbinata le singole unità.

Per soddisfare tale esigenza, i "gruppi" dei cuscinetti accoppiati dalla SNFA vengono formati con le seguenti caratteristiche:

- massima precisione del precarico, grazie ad una tolleranza molto ridotta della luce tra le facciate dei cuscinetti contrapposti;
- angolo di contatto uniforme;
- minima differenza del diametro effettivo, sia del foro, sia del diametro esterno (1/3 della rispettiva tolleranza).

Diventa pertanto importante attenersi alle seguenti raccomandazioni quando si applicano i gruppi di cuscinetti SNFA:

- non scambiare tra loro i cuscinetti appartenenti a gruppi diversi;
- assemblare il gruppo di cuscinetti rispettando il posizionamento individuale previsto (es.: Tandem/Tandem - Dorso a Dorso), ben evidenziato dalla "V" marcata sulla superficie diametrale esterna dei cuscinetti (**tale simbolo ha il vertice orientato nel verso che riceverà la spinta assiale predominante F_a , agente sugli anelli interni**).

L'asse della "V" è posizionato nel punto di massima eccentricità (massimo spessore radiale) dell'anello esterno di ogni cuscinetto.



Cuscinetti universali

Sono definiti Universali "U" i cuscinetti che, sottoposti al precarico assiale previsto, che può essere leggero (L), medio (M) oppure forte (F), presentano le facciate sullo stesso piano, da entrambi i lati.

A seconda del precarico, i cuscinetti universali SNFA assumono il suffisso UL, UM, UF ed offrono all'utilizzatore la possibilità di formare coppie, oppure gruppi di cuscinetti, secondo i bisogni immediati, attingendo dalle proprie disponibilità di magazzino e senza operazioni di taratura e selezionatura.

Come conseguenza della loro caratteristica costruttiva, il precarico risultante dei gruppi di cuscinetti "U" si ricava moltiplicando il precarico del cuscinetto "U" per i coefficienti sotto indicati:

Accoppiamento	Coefficiente
DD - FF	1,00
TD - TF	1,35
3TD - 3TF	1,60
TDT - TFT	2,00

I cuscinetti singoli universali SNFA, pur essendo fabbricati con tolleranze estremamente ridotte (dell'angolo di contatto, delle dimensioni di ingombro, del salto delle facciate sotto il precarico previsto), non consentono la formazione casuale di gruppi altrettanto precisi di quelli accoppiati all'origine dalla SNFA.

Esiste tuttavia una variante, costituita dai cuscinetti universali in coppia (Duplex), denominata, in funzione del precarico, DUL, DUM e DUF, che offre i seguenti vantaggi:

- i cuscinetti di una stessa coppia possono essere abbinati tra loro in qualsiasi configurazione (DD, FF, T);

- la differenza d'angolo di contatto tra i due cuscinetti è minima (vantaggio significativo per la configurazione in tandem);

- la differenza del diametro effettivo del foro e della superficie cilindrica esterna, tra i due cuscinetti, è assai ridotta (1/3 della tolleranza totale).

I cuscinetti Duplex universali, di gruppi diversi, non possono essere scambiati fra loro.

I valori di velocità, di precarico e di rigidità indicati nelle tabelle si riferiscono ai cuscinetti "accoppiati SNFA". Per i gruppi asimmetrici (TD - TF), formati da cuscinetti singoli universali, tali valori devono essere calcolati tenendo conto dei coefficienti correttivi del precarico sopra indicati.

Il precarico può essere definito come un carico assiale, permanentemente applicato ai cuscinetti, allo scopo di garantirne il corretto funzionamento sotto l'effetto dei carichi esterni.

Il precarico può essere di tipo rigido (cuscinetti contrapposti, con o senza anelli distanziatori), oppure di tipo elastico (presenza di molle).

Il precarico di tipo rigido comporta la formazione di un interstizio, o luce di precarico, tra le facciate dei cuscinetti contrapposti: luce che viene annullata al momento del bloccaggio assiale dei cuscinetti.

Nel primo caso, durante il funzionamento l'entità del precarico può variare per effetto delle dilatazioni termiche. Nel caso del precarico elastico, invece, le dilatazioni vengono assorbite dalle molle e le variazioni del precarico sono trascurabili.

Nei cuscinetti il valore del precarico è di fondamentale importanza per la sua diretta influenza sui limiti di velocità raggiungibili, sulla rigidità e sui carichi di lavoro applicabili.

I precarichi comunemente proposti per soddisfare tutte le esigenze applicative sono Leggero (L), Medio (M) e Forte (F) e sono indicati nelle tabelle dei dati dei cuscinetti.

Per esigenze applicative specifiche i cuscinetti possono essere forniti con precarico speciale.

Nelle tabelle dei dati vengono inoltre indicate, per ogni tipo di precarico, le rigidità assiali Ra per coppie e terne di cuscinetti.

Sovente il precarico rigido che s'instaura in funzionamento è superiore a quello costruttivo, di catalogo, che viene assegnato ai cuscinetti in fase di fabbricazione.



Angolo di contatto e precarico

L'angolo di contatto viene controllato al 100% con uno strumento particolare, il cui grado di precisione è inferiore a 30'. Il precarico dei cuscinetti di una coppia oppure di un gruppo è misurato con speciali "presse" appositamente costruite, che consentono un rigoroso controllo del salto facciale. L'errore massimo dell'"interstizio", ossia della luce facciale di precarico fra i cuscinetti contrapposti, è inferiore 1 μm .

A farlo aumentare concorrono, rispettivamente:

- l'interferenza degli anelli nelle relative sedi;
- la dilatazione differenziata degli anelli per temperatura e forza centrifuga;
- effetti dinamici nelle sfere.

In questi casi, per evitare la precoce distruzione del cuscinetto, è consigliabile adottare un precarico iniziale più basso affinché assuma il valore previsto a regime raggiunto.

Carico di distacco

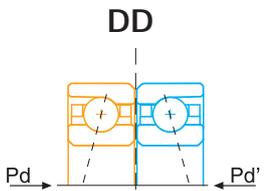
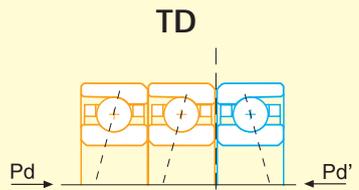
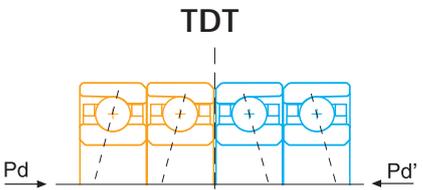
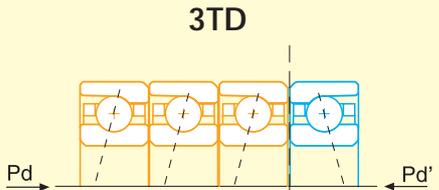
Il carico di distacco "Pd" corrisponde al carico assiale esterno che, in una coppia oppure in un gruppo precaricato, provoca la perdita di contatto tra sfere e piste nei cuscinetti di reazione, opposti al carico. L'effetto può comportare lo strisciamento delle sfere sulle piste ed il danneggiamento delle superfici di lavoro.

Nella realtà questo fenomeno non si manifesta in modo così drastico, poiché la presenza di un carico radiale, anche se di piccola entità, evita il totale distacco delle sfere.

Nelle applicazioni ove il carico assiale di lavoro è prevalente in un solo verso (per es. in alcune macchine utensili) si può elevare il limite del carico di distacco Pd ricorrendo all'impiego di una coppia o gruppo di cuscinetti con angolo promiscuo (C3/C1).

In una coppia, per esempio, sarà il cuscinetto assialmente più rigido (C3) a sopportare la spinta di lavoro e quello meno rigido (C1) a costituire elemento di reazione.

Il carico di distacco "Pd" si calcola come segue:

CONFIGURAZIONE		ANGOLI DI CONTATTO	
Cuscinetti di carico α_1	Cuscinetti di precarico α_2	$\alpha_1 = \alpha_2$	$\alpha_1 = 25^\circ; \alpha_2 = 15^\circ$
DD 		$Pd = 2,83 \cdot Pr$ $Pd' = 2,83 \cdot Pr$	$Pd = 5,9 \cdot Pr$ $Pd' = 1,75 \cdot Pr$
TD 		$Pd = 4,16 \cdot Pr$ $Pd' = 2,08 \cdot Pr$	$Pd = 9,85 \cdot Pr$ $Pd' = 1,45 \cdot Pr$
TDT 		$Pd = 2,83 \cdot Pr$ $Pd' = 2,83 \cdot Pr$	$Pd = 5,9 \cdot Pr$ $Pd' = 1,75 \cdot Pr$
3TD 		$Pd = 5,4 \cdot Pr$ $Pd' = 1,8 \cdot Pr$	$Pd = 13,66 \cdot Pr$ $Pd' = 1,33 \cdot Pr$

Nota:

- Pr, precarico del gruppo
- La tabella sopra riportata può essere utilizzata anche per le corrispondenti configurazioni "faccia a faccia" (FF, TF, TFT, 3TF) con il semplice accorgimento di attribuire a Pd il valore di Pd'.

Rigidità assiale

La rigidità "Ra" di un cuscinetto a sfere a contatto obliquo si identifica con l'entità del carico esterno assiale che provoca il cedimento di 1 micron (daN/μm).

In una coppia o gruppo di cuscinetti il valore Ra si può anche definire come il rapporto tra il valore del carico di distacco Pd ed il corrispondente cedimento assiale δa2 dei cuscinetti (fig. 1).

La rigidità assiale è pressoché costante fino a quando il carico esterno non supera il valore del carico di distacco Pd.

La rigidità assiale Ra varia in funzione dell'angolo di contatto e del precarico dei cuscinetti.

Conoscendo le curve dei cedimenti dei cuscinetti precaricati, risulta possibile determinare graficamente il valore della rigidità assiale e del carico di distacco, nel modo seguente:

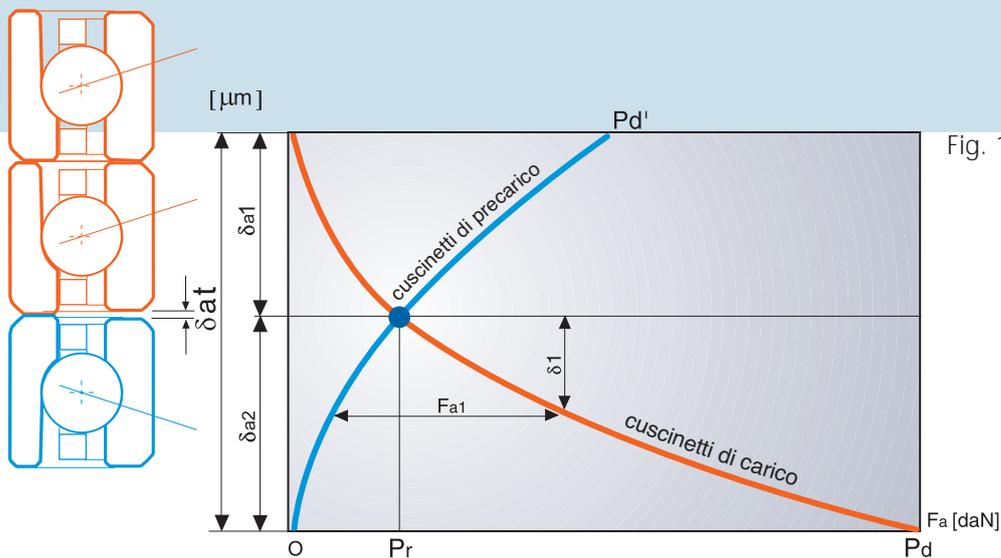


Fig. 1

δat : salto facciale dei cuscinetti, equivalente al precarico (interstizio o luce di precarico);

δ1 : cedimento assiale del gruppo sotto l'effetto di un carico assiale Fa1;

δa1 : cedimento assiale dei cuscinetti di carico in un gruppo precaricato;

δa2 : cedimento assiale dei cuscinetti di precarico in un gruppo precaricato.

$$R_a = \frac{F_{a1}}{\delta_1} = \frac{P_d}{\delta_{a2}}$$

Rigidità radiale

Anche la rigidità radiale "Rr" dei cuscinetti a sfere a contatto obliquo varia in funzione dell'angolo di contatto e del precarico; ma, in antitesi con quella assiale, la rigidità radiale diminuisce con l'aumentare dell'angolo di contatto e varia notevolmente in funzione del rapporto tra il carico assiale e radiale esterni applicati sul cuscinetto.

Il valore della rigidità radiale di una coppia di cuscinetti ("dorso a dorso" oppure "faccia a faccia") si può, con buona approssimazione, calcolare nel modo seguente:

$$\begin{aligned} \alpha = 15^\circ & \quad R_r = 6 \cdot R_a & \text{dove: } R_a = \text{rigidità assiale} \\ \alpha = 25^\circ & \quad R_r = 2 \cdot R_a & \text{dove: } R_r = \text{rigidità radiale} \end{aligned}$$

Distanziali

L'interposizione dei distanziali tra i cuscinetti accoppiati può rendersi opportuna quando si vogliono ottenere i seguenti vantaggi:

- aumentare la rigidità angolare, allontanando i punti di reazione dei cuscinetti;
- migliorare la dissipazione del calore generato dai cuscinetti;
- disporre dello spazio utile all'installazione degli ugelli per l'olio o di distanziali con funzioni particolari.

La preparazione dei distanziali richiede una particolare accuratezza per assicurare:

- parallelismo e planarità delle facciate entro tolleranze ridotte (vedi Tolleranze delle sedi dei cuscinetti);
- uguaglianza di spessore dei distanziali esterno ed interno (è consigliabile rettificarli simultaneamente) per mantenere invariato il precarico di costruzione dei cuscinetti;
- buona equilibratura del distanziale rotante.

Normalmente, per applicazioni impegnative, si consiglia l'impiego di materiali appropriati per effettuare l'indurimento (> 45 HRc) delle superfici, oppure la tempra a cuore; con siffatto trattamento si evita il rischio di deteriorare le superfici del distanziale durante il montaggio ed il successivo funzionamento.

Numerosi sono i materiali adatti alla costruzione dei distanziali, ad esempio:

- ISO 100 Cr 6 (SAE 52100) : temprato a cuore
- UNI 38 Ni Cr Mo 4 (SAE 9840) : bonificato e temprato in superficie
- UNI 18 Ni Cr Mo 7 (SAE 4320) : cementato e temprato

Se lo si desidera, si può modificare il precarico nel modo seguente:

Accoppiamento dorso a dorso (DD):

- Per aumentare il precarico: ridurre la larghezza del distanziale interno.
- Per ridurre il precarico: ridurre la larghezza del distanziale esterno.

Accoppiamento faccia a faccia (FF):

- Per aumentare il precarico: ridurre la larghezza del distanziale esterno.
- Per ridurre il precarico: ridurre la larghezza del distanziale interno.

Per il calcolo dell'adeguamento della larghezza dei distanziali si possono ricavare, dalle tabelle che seguono, i valori del cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarichi standard.

I valori intermedi del precarico si possono calcolare secondo la formula che segue:

$$\delta a = k_a \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot Pr^{2/3} \cdot Z^{-2/3} \cdot \emptyset^{-1/3} (\sin \alpha)^{-5/3}$$

dove:

sfere acciaio	sfere ceramiche		δa = cedimento assiale	(mm)
$k_a = 1$	0.9	(SEA, SEB, EX, E200)	Pr = precarico	(daN)
1.18	1.06	(VEB, VEX)	Z = numero sfere	
1.16	1.04	(HB)	\emptyset = diametro sfere	(mm)
1.12	1.01	(BS)	α = angolo di contatto	(gradi)

Nel caso di accoppiamenti MULTIPLI occorre tener presente che il cedimento δa del gruppo di cuscinetti in TANDEM, sotto l'azione del precarico, è inferiore al cedimento del cuscinetto singolo.

Il cedimento del gruppo in TANDEM sarà quindi:

$$\delta a_{(TANDEM)} = W \cdot \delta a_{(SINGOLO)}$$

dove

Numero dei cuscinetti in TANDEM	1	2	3	4
W	1	0.63	0.48	0.40

Il valore della luce di precarico sarà pertanto:

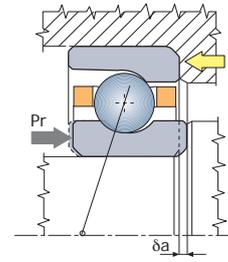
$$\delta a_t = \delta a_1 + \delta a_2$$

dove:

- δa_t = luce totale di precarico
- δa_1 = cedimento dei cuscinetti di carico
- δa_2 = cedimento dei cuscinetti di precarico

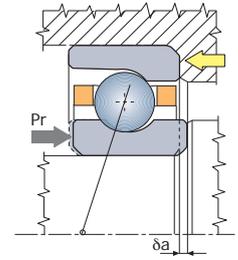
Il valore di riduzione del distanziale per la modifica del precarico sarà dato, quindi, dalla differenza tra i valori δa_t relativi al precarico iniziale ed a quello che si desidera realizzare.

Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico



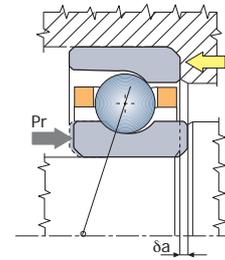
d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]
10	1.0	2.6	1.6	1.7	3.0	4.9	4.8	3.3	6.0	7.2	10.0	5.2
12	1.1	2.5	1.7	1.6	3.3	4.8	5.3	3.2	6.6	7.0	10.5	4.9
15	1.2	2.3	1.9	1.5	3.6	4.5	5.8	3.0	7.2	6.6	11.5	4.6
17	1.2	2.2	2.0	1.5	3.7	4.4	6.0	3.0	7.5	6.5	12.0	4.6
20	2.0	3.0	3.2	1.9	6.0	5.7	10.0	4.0	12.0	8.5	20.0	6.1
25	2.2	2.9	3.5	1.8	6.6	5.5	10.5	3.7	13.2	8.2	21.0	5.7
30	2.3	2.7	3.7	1.7	7.0	5.3	11.0	3.5	14.0	7.8	22.0	5.3
35	2.5	2.6	3.9	1.6	7.5	5.1	11.5	3.3	15.0	7.6	23.0	5.1
40	2.6	2.5	4.0	1.6	7.8	4.9	12.0	3.2	15.5	7.3	24.0	4.9
45	2.7	2.5	4.1	1.5	8.0	4.8	12.5	3.1	16.0	7.1	25.0	4.8
50	4.0	3.1	6.0	1.9	12.0	6.0	18.0	3.8	24.0	8.9	36.0	5.8
55	5.5	3.6	8.7	2.3	16.5	7.1	26.0	4.6	33.0	10.6	52.0	7.2
60	7.0	4.2	11.4	2.7	21.0	8.1	34.0	5.4	42.0	12.1	68.0	8.3
65	7.1	4.1	11.5	2.6	21.5	8.1	34.5	5.3	43.0	12.0	69.0	8.2
70	7.3	4.0	11.7	2.5	22.0	7.9	35.0	5.1	44.0	11.7	70.0	8.0
75	7.6	4.0	12.0	2.5	22.5	7.7	36.0	5.0	45.0	11.5	72.0	7.8
80	7.8	3.9	12.3	2.4	23.5	7.6	37.0	4.9	47.0	11.4	74.0	7.6
85	11.5	5.1	18.3	3.2	34.5	10.0	55.0	6.5	69.0	14.9	110.0	10.1
90	11.6	5.0	18.4	3.2	35.0	9.9	55.5	6.4	70.0	14.8	111.0	10.0
95	11.7	5.0	18.6	3.1	35.5	9.8	56.0	6.4	71.0	14.6	112.0	9.8
100	12.0	4.9	19.0	3.0	36.0	9.5	57.0	6.2	72.0	14.3	114.0	9.6
105	13.0	5.0	20.0	3.1	39.0	9.8	60.0	6.3	78.0	14.7	120.0	9.7
110	16.0	5.7	26.0	3.6	50.0	11.5	80.0	7.5	100.0	17.3	160.0	11.7
120	18.0	5.8	28.0	3.6	55.0	11.6	85.0	7.4	110.0	17.3	170.0	11.5
130	21.0	6.3	33.0	3.9	62.0	12.2	98.0	7.9	123.0	18.3	196.0	12.3
140	24.0	6.7	38.0	4.2	72.0	13.2	114.0	8.5	144.0	19.8	228.0	13.2
150	27.0	7.1	43.0	4.4	82.0	14.0	130.0	9.1	163.0	21.0	259.0	14.1
160												
170												
180												

Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico



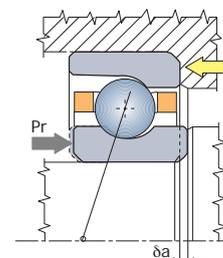
d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]
17	2.7	4.0	4.3	2.6	8.1	7.7	13.0	5.2	16.0	11.3	26.0	8.0
20	3.9	4.6	6.3	3.0	12.0	9.0	19.0	6.0	24.0	13.3	38.0	9.3
25	4.0	4.5	6.4	2.9	12.0	8.7	19.0	5.8	24.0	12.8	38.0	8.9
30	4.2	4.3	6.8	2.8	12.5	8.2	20.5	5.6	25.0	12.2	41.0	8.6
35	5.8	4.9	9.3	3.1	17.5	9.5	28.0	6.3	35.0	14.0	56.0	9.7
40	7.4	5.5	12.0	3.5	22.5	10.7	36.0	7.1	45.0	15.9	72.0	11.0
45	7.8	5.3	12.5	3.4	23.5	10.3	37.5	6.9	47.0	15.3	75.0	10.6
50	10.0	5.9	16.0	3.7	30.0	11.4	48.0	7.5	60.0	16.9	96.0	11.6
55	12.5	6.4	20.0	4.0	38.0	12.5	60.0	8.2	76.0	18.5	120.0	12.6
60	13.0	6.2	21.0	3.9	39.0	12.0	63.0	8.0	78.0	17.9	126.0	12.3
65	13.5	6.2	21.0	3.8	40.0	11.9	63.5	7.8	80.0	17.8	127.0	12.1
70	18.5	7.4	29.0	4.6	55.0	14.2	88.0	9.4	110.0	21.2	176.0	14.5
75	18.5	7.2	30.0	4.6	56.0	14.1	89.0	9.2	112.0	21.0	178.0	14.3
80	19.0	7.1	30.0	4.5	57.0	13.9	90.0	9.1	114.0	20.7	180.0	14.0
85	24.5	8.2	39.5	5.2	74.0	16.1	118.0	10.6	148.0	24.0	236.0	16.4
90	25.0	8.1	40.0	5.1	75.0	15.9	120.0	10.4	150.0	23.7	240.0	16.1
95	25.5	8.0	40.5	5.1	76.5	15.7	122.0	10.3	153.0	23.5	244.0	15.9
100	32.0	9.2	51.0	5.8	96.0	17.9	153.0	11.7	192.0	26.8	306.0	18.2
110	33.0	8.9	53.0	5.7	99.0	17.5	158.0	11.4	198.0	26.1	316.0	17.7
120	39.0	10.1	62.5	6.4	118.0	19.8	186.0	12.9	236.0	29.6	376.0	20.1
130	40.5	9.8	64.5	6.2	121.0	19.2	193.0	12.6	242.0	28.8	386.0	19.5
140	41.5	9.6	66.0	6.0	125.0	18.8	198.0	12.2	250.0	28.2	396.0	19.0
150	63.0	13.3	101.0	8.4	190.0	26.1	302.0	17.1	380.0	39.1	604.0	26.4
160	66.0	13.0	105.0	8.2	198.0	25.5	315.0	16.6	396.0	38.2	630.0	25.8
170	66.5	12.8	106.0	8.0	200.0	25.1	318.0	16.3	400.0	37.6	637.0	25.4
180	85.5	15.1	136.0	9.5	256.0	29.6	408.0	19.3	512.0	44.3	816.0	29.9
190	86.5	14.8	138.0	9.3	260.0	29.1	414.0	19.0	520.0	43.7	828.0	29.4
200	106.0	17.1	169.0	10.8	318.0	33.6	507.0	21.9	636.0	50.4	1014.0	34.0
220	110.0	16.7	175.0	10.5	330.0	32.8	525.0	21.3	660.0	49.1	1050.0	33.0
230	113.0	16.2	182.0	10.2	340.0	31.9	545.0	20.8	680.0	47.9	1090.0	32.3
240	115.0	16.0	185.0	10.1	350.0	31.8	555.0	20.6	700.0	47.7	1110.0	32.0
260	152.0	19.3	242.0	12.1	456.0	38.0	726.0	24.6	912.0	57.2	1452.0	38.3
280	154.0	19.0	244.0	11.9	460.0	37.4	732.0	24.2	920.0	56.3	1463.0	37.5

Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico



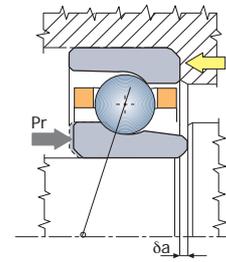
d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]
6	0.8	3.4	1.5	2.3	2.5	6.9	4.0	4.4	5.0	10.5	8.0	6.9
7	1.0	3.8	1.7	2.4	3.0	7.5	5.0	4.9	6.0	11.5	10.0	7.7
8	1.6	4.5	2.5	2.8	5.0	9.1	8.0	5.9	10.0	13.5	16.0	9.2
9	1.8	4.5	3.0	2.9	5.5	8.9	9.0	5.9	11.0	13.4	18.0	9.2
10	2.0	4.2	3.3	2.7	6.0	8.3	10.0	5.6	12.0	12.5	20.0	8.7
12	2.7	5.2	4.5	3.4	8.0	10.1	13.0	6.7	16.0	15.2	26.0	10.3
15	3.0	4.9	5.0	3.2	9.0	9.7	15.0	6.5	18.0	14.6	30.0	10.1
17	4.0	5.7	6.5	3.6	12.0	11.2	19.5	7.4	24.0	16.9	39.0	11.4
20	5.0	6.3	8.0	4.0	15.0	12.5	24.0	8.1	30.0	18.8	48.0	12.6
25	6.5	6.9	10.5	4.3	19.5	13.6	32.0	9.0	39.0	20.5	64.0	13.9
30	8.0	7.6	13.0	4.8	24.0	15.1	38.5	9.8	48.0	22.7	77.0	15.2
35	10.0	7.0	16.5	4.6	30.5	13.7	49.0	9.2	61.0	20.3	98.0	14.1
40	10.5	7.0	17.0	4.5	32.0	13.6	51.0	9.0	63.5	20.0	102.0	13.9
45	14.0	8.3	23.0	5.4	42.5	16.1	69.0	10.9	85.0	23.9	137.0	16.7
50	14.5	8.1	23.5	5.2	44.0	15.9	70.5	10.6	88.0	23.5	141.0	16.3
55	19.5	9.4	31.5	6.0	58.5	18.2	94.0	12.2	117.0	27.1	188.0	18.8
60	20.0	9.2	32.5	5.9	60.5	18.0	97.0	11.9	120.5	26.6	194.0	18.4
65	21.0	9.2	33.0	5.8	62.0	17.6	99.0	11.7	124.0	26.2	199.0	18.1
70	27.0	10.4	42.5	6.5	80.0	20.0	128.0	13.3	160.0	29.7	255.0	20.4
75	27.5	10.2	43.5	6.4	82.0	19.7	131.0	13.0	164.0	29.3	262.0	20.1
80	33.0	11.4	52.5	7.2	98.5	22.1	157.5	14.6	197.0	32.9	315.0	22.6
85	34.0	11.3	54.0	7.1	101.0	21.8	162.0	14.4	202.0	32.4	323.0	22.2
90	36.0	11.0	57.0	6.9	107.0	21.2	171.0	14.0	214.0	31.6	341.0	21.6
95	42.0	12.1	67.0	7.7	127.0	23.7	202.0	15.6	253.0	35.3	404.0	24.1
100	43.0	11.9	69.0	7.6	130.0	23.4	207.0	15.3	259.0	34.8	415.0	23.8
105	50.0	13.2	80.0	8.4	150.0	25.7	240.0	17.0	300.0	38.4	480.0	26.2
110	59.0	14.3	95.0	9.1	177.0	27.9	285.0	18.5	354.0	41.6	570.0	28.6
120	60.0	14.0	97.0	8.9	180.0	27.4	291.0	18.1	360.0	40.9	582.0	28.1
130	78.0	16.4	125.0	10.4	234.0	32.0	375.0	21.1	468.0	47.8	750.0	32.6
140	80.0	16.2	128.0	10.2	240.0	31.6	384.0	20.7	480.0	47.2	768.0	32.1
150	90.0	17.1	144.0	10.8	270.0	33.4	432.0	21.9	540.0	50.0	864.0	34.0
160	102.0	18.2	162.0	11.4	306.0	35.6	486.0	23.2	612.0	53.2	972.0	36.0
170	110.0	18.8	176.0	11.9	330.0	36.8	528.0	24.1	660.0	55.0	1056.0	37.3
180	123.0	19.3	197.0	12.2	369.0	37.8	591.0	24.7	738.0	56.7	1182.0	38.4
190	126.0	19.0	200.0	11.9	378.0	37.4	600.0	24.3	756.0	56.0	1200.0	37.7
200	160.0	23.0	250.0	14.2	480.0	45.1	750.0	29.0	960.0	67.6	1500.0	44.9
220	180.0	24.2	280.0	14.9	540.0	47.5	840.0	30.4	1080.0	71.4	1680.0	47.2
240	190.0	23.5	300.0	14.7	570.0	46.3	900.0	29.9	1140.0	69.7	1800.0	46.4

Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico



d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]	Pr [daN]	δa [μm]
7	2.0	4.5	3.0	2.8	6.0	8.6	9.0	5.6	12.0	12.6	18.0	8.6
8	2.3	5.1	3.5	3.2	7.0	9.9	10.5	6.4	14.0	14.5	21.0	9.9
9	2.9	5.1	4.7	3.3	8.7	9.7	14.0	6.6	17.0	14.0	28.0	10.1
10	3.5	5.9	5.6	3.8	10.5	11.3	17.0	7.7	21.0	16.5	34.0	11.8
12	3.5	5.5	6.0	3.7	11.5	11.1	18.5	7.5	23.0	16.3	37.0	11.5
15	4.8	6.5	8.0	4.3	14.4	12.4	23.7	8.5	28.8	18.2	47.4	13.0
17	6.0	7.2	9.6	4.6	18.0	13.8	29.0	9.4	36.0	20.3	58.0	14.4
20	7.0	7.0	11.5	4.6	21.0	13.5	34.0	9.1	42.0	19.8	68.0	14.0
25	9.0	7.6	15.0	5.0	27.0	14.5	44.0	9.9	54.0	21.5	87.0	15.1
30	12.0	9.7	20.0	5.7	36.5	16.8	60.0	11.5	73.0	24.9	120.0	17.6
35	13.5	8.5	22.0	5.5	41.0	16.5	66.5	11.1	82.0	24.4	132.5	17.0
40	18.0	9.7	29.5	6.3	54.5	18.9	88.0	12.7	109.0	28.1	176.0	19.6
45	18.7	9.6	30.0	6.1	56.0	18.5	90.0	12.3	112.0	27.4	180.0	19.0
50	22.8	10.9	36.7	7.0	68.5	21.2	110.0	14.1	137.0	31.4	220.0	21.8
55	29.0	12.3	46.0	7.8	87.0	23.9	138.0	15.8	174.0	35.4	276.0	24.4
60	30.5	12.2	48.0	7.7	92.0	23.7	144.0	15.5	184.0	35.1	288.0	24.0
65	35.5	13.1	57.3	8.3	107.0	25.4	172.0	17.0	214.0	37.7	344.0	26.1
70	37.0	12.9	59.5	8.2	111.0	25.0	178.5	16.6	222.0	37.2	357.0	25.6
75	38.5	12.7	61.7	8.1	115.0	24.6	185.0	16.3	230.0	36.6	370.0	25.2
80	46.0	13.9	75.0	8.9	138.0	27.0	225.0	18.0	276.0	40.1	450.0	27.9
85	51.5	15.1	82.5	9.6	154.5	29.4	247.5	19.5	309.0	43.8	495.0	30.1
90	65.5	17.6	105.3	11.2	196.0	34.2	316.0	22.7	392.0	50.9	632.0	35.1
95	61.5	15.9	99.0	10.1	185.0	31.1	297.0	20.6	370.0	46.3	594.0	31.8
100	77.0	18.4	124.2	11.7	231.0	35.8	372.5	23.8	462.0	53.4	745.0	36.7
105	89.0	19.8	143.0	12.6	267.0	38.5	429.0	25.5	534.0	57.4	858.0	39.5
110	92.0	19.5	148.0	12.4	276.0	37.9	444.0	25.1	552.0	56.5	888.0	38.8
120	95.0	19.2	150.0	12.0	280.0	37.0	450.0	24.4	560.0	55.2	900.0	37.8
130	107.0	20.8	171.0	13.1	320.0	40.5	513.0	26.7	641.0	60.6	1027.0	41.3
140	121.0	21.4	194.0	13.5	363.0	41.8	582.0	27.4	726.0	62.5	1164.0	42.5

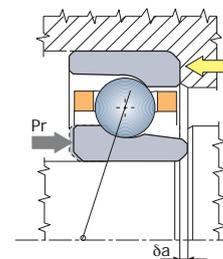
Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico



d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
VEB	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]
8	0.9	3.4			2.7	6.7			5.5	10.4		
10	1.1	3.4	1.7	2.1	3.2	6.6	5.0	4.2	6.5	10.2	10.0	6.5
12	1.1	3.2	1.8	2.0	3.4	6.5	5.5	4.2	6.8	9.9	11.0	6.5
15	1.7	4.0	2.8	2.5	5.1	7.9	8.4	5.1	10.2	12.1	17.0	8.1
17	1.8	3.9	2.9	2.4	5.4	7.8	8.7	5.0	10.8	11.9	17.5	7.8
20	2.6	4.5	4.2	2.8	7.9	9.0	13.0	5.9	15.7	13.8	25.0	8.9
25	2.8	4.3	4.5	2.7	8.5	8.7	14.0	5.6	17.0	13.3	27.0	8.6
30	3.0	4.2	4.8	2.6	9.0	8.4	14.5	5.3	18.0	12.8	29.0	8.3
35	4.1	4.7	6.6	2.9	12.5	9.6	20.0	6.1	25.0	14.7	40.0	9.5
40	5.2	5.3	8.4	3.3	15.7	10.7	25.0	6.7	31.5	16.4	50.5	10.6
45	5.5	5.1	8.8	3.2	16.6	10.4	26.5	6.5	33.1	15.9	52.9	10.3
50	6.9	5.8	11.0	3.5	21.0	11.7	33.0	7.3	41.0	17.7	66.0	11.4
55	8.3	6.3	13.3	3.9	25.0	12.7	40.0	8.0	50.0	19.5	80.0	12.5
60	8.7	6.1	13.9	3.8	26.2	12.3	41.8	7.8	52.3	18.9	83.6	12.2
65	8.9	6.0	14.2	3.7	26.6	12.1	42.5	7.6	53.2	18.6	85.0	12.0
70	12.0	7.3	19.0	4.5	36.0	14.8	57.0	9.3	71.0	22.5	113.0	14.4
75	12.0	7.1	19.2	4.4	36.1	14.4	57.7	9.1	72.2	22.1	115.0	14.2
80	12.3	7.0	19.5	4.3	37.0	14.2	59.0	8.9	74.0	21.9	117.0	13.9
85	16.0	8.2	25.5	5.0	47.9	16.5	76.5	10.4	95.7	25.4	152.9	16.3
90	16.3	8.1	26.0	5.0	48.8	16.3	78.0	10.2	97.7	25.1	156.0	16.1
95	16.6	8.0	26.5	4.9	50.0	16.1	79.5	10.1	99.5	24.7	159.0	15.8
100	20.8	9.1	33.2	5.6	62.4	18.4	99.6	11.5	125.0	28.3	199.0	18.1
110	22.0	9.0	34.0	5.4	65.0	17.9	103.0	11.2	130.0	27.6	207.0	17.6
120	25.0	9.9	41.0	6.2	76.0	20.2	122.0	12.7	153.0	31.2	244.0	19.9

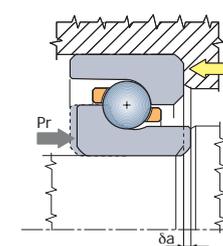
d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
HB	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]
30	1.6	2.5	2.5	1.5	3.1	3.8	5.0	2.4	9.4	7.7	15.0	4.9
35	1.7	2.3	2.7	1.4	3.4	3.7	5.4	2.3	10.2	7.3	16.5	4.7
40	1.8	2.3	2.9	1.4	3.6	3.5	5.7	2.2	10.7	7.0	17.0	4.4
45	2.4	2.6	3.9	1.6	4.9	4.2	7.9	2.6	14.8	8.4	23.5	5.3
50	2.6	2.7	4.0	1.6	5.1	4.1	8.1	2.5	15.3	8.2	24.5	5.2
55	3.3	3.0	5.3	1.9	6.6	4.7	10.6	2.9	20.0	9.5	31.5	6.0
60	3.4	2.9	5.4	1.8	6.8	4.6	10.9	2.9	20.5	9.2	32.5	5.9
65	3.5	2.9	5.6	1.8	7.0	4.5	11.2	2.8	21.0	9.0	33.5	5.7
70	4.5	3.3	7.2	2.0	9.0	5.1	14.4	3.2	27.0	10.2	43.0	6.5
75	4.6	3.2	7.4	2.0	9.3	5.0	14.8	3.1	28.0	10.0	44.5	6.4
80	5.2	3.4	8.2	2.1	10.4	5.3	16.5	3.3	31.0	10.5	49.5	6.7
85	5.4	3.3	8.6	2.0	10.8	5.1	17.1	3.2	32.0	10.2	51.5	6.5
90	5.9	3.5	9.3	2.1	11.7	5.4	18.7	3.3	35.0	10.8	56.0	6.9
95	6.0	3.4	9.6	2.1	12.0	5.3	19.2	3.3	36.0	10.6	57.5	6.7
100	7.2	3.8	11.5	2.3	14.4	5.9	23.0	3.6	43.0	11.8	69.0	7.5
110	8.6	4.1	13.7	2.5	17.2	6.4	27.4	4.0	51.5	12.9	82.0	8.1
120	9.0	4.0	14.3	2.4	18.0	6.2	28.7	3.8	54.0	12.4	86.0	7.9

Cedimento assiale dei cuscinetti singoli sotto precarico



d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)											
	PRECARICO LEGGERO				PRECARICO MEDIO				PRECARICO FORTE			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]
6	1.0	3.9			2.5	6.9			5.0	10.5		
7	1.0	3.8			3.0	7.5			6.0	11.5		
8	1.5	4.8			3.5	8.1			7.5	12.8		
9	1.5	4.4			4.0	8.2			8.0	12.4		
10	1.5	3.9			4.8	8.1			9.5	12.2		
12	2.0	4.7			6.0	9.4			12.0	14.4		
15	2.5	4.8			7.0	9.2			14.0	14.1		
17	3.0	5.2			9.0	10.4			18.5	16.2		
20	4.0	6.0			12.0	12.1			23.5	18.2		
25	4.5	5.9	7.0	3.6	13.0	11.5	21.0	7.3	26.0	17.6	43.0	11.7
30	5.0	5.5	8.0	3.4	15.0	11.1	24.0	7.0	30.0	17.0	48.0	11.0
35	6.0	6.0	10.0	3.8	18.0	12.1	30.0	7.9	37.0	18.9	59.0	12.2
40	6.5	5.9	10.5	3.7	20.0	12.1	31.0	7.5	39.0	18.2	63.0	11.8
45	7.0	5.8	11.0	3.5	21.0	11.7	33.0	7.3	41.0	17.7	66.0	11.4
50	8.5	6.4	13.0	3.8	25.0	12.7	40.0	8.0	50.0	19.5	80.0	12.5
55	9.0	6.1	14.0	3.7	27.0	12.2	43.0	7.7	54.0	18.8	86.0	12.1
60	9.2	6.0	15.0	3.7	27.5	12.1	44.0	7.6	55.0	18.6	87.0	11.8
65	11.0	6.6	17.0	4.0	33.0	13.2	52.0	8.2	65.0	20.1	104.0	12.9
70	13.0	7.1	20.0	4.3	38.0	14.1	61.0	8.9	76.0	21.7	122.0	14.0
75	14.0	6.9	22.0	4.2	42.0	13.8	67.0	8.8	84.0	21.1	134.0	13.7
80	18.0	8.0	28.0	4.8	55.0	16.1	85.0	10.0	109.0	24.6	170.0	15.7
85	18.5	7.9	29.0	4.8	56.0	15.9	89.0	10.0	111.0	24.2	178.0	15.7
90	19.0	7.7	30.0	4.7	58.0	15.5	92.0	9.8	115.0	23.7	184.0	15.3
95	23.0	8.7	38.0	5.5	70.0	17.7	113.0	11.3	140.0	27.1	227.0	17.7
100	24.0	8.8	39.0	5.5	72.0	17.6	115.0	11.1	144.0	27.0	231.0	17.5
110	25.0	8.4	40.0	5.2	76.0	17.1	121.0	10.7	152.0	26.1	242.0	16.8
120	31.0	9.5	49.0	5.9	93.0	19.2	148.0	12.1	185.0	29.3	295.0	18.9

d	CEDIMENTO ASSIALE (δa)					
	PRECARICO LEGGERO		PRECARICO MEDIO		PRECARICO FORTE	
	62°		62°		62°	
	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]	Pr [daN]	δa [μ m]
BS 200						
12	17.0	2.3	50.0	4.8	100.0	7.6
15	23.0	2.3	70.0	4.8	140.0	7.6
17	27.0	2.7	82.0	5.6	165.0	8.9
20	38.0	3.0	115.0	6.3	230.0	10.0
25	47.0	3.1	140.0	6.3	280.0	10.0
30	60.0	3.5	180.0	7.2	360.0	11.3
35	79.0	3.8	236.0	8.0	473.0	12.6
40	101.0	4.2	302.0	8.7	605.0	13.9
45	107.0	4.2	320.0	8.8	640.0	13.9
50	112.0	4.2	335.0	8.7	675.0	13.9
60	170.0	5.3	520.0	11.2	1040.0	17.7
75	220.0	5.4	655.0	11.2	1310.0	17.7



**SERIE BS 200
BS (SPECIALE)**

BS (speciali)						
17/47	38.0	3.0	115.0	6.3	230.0	10.0
20/47	38.0	3.0	115.0	6.3	230.0	10.0
25/62	60.0	3.5	180.0	7.2	360.0	11.3
30/62	60.0	3.5	180.0	7.2	360.0	11.3
35/72	79.0	3.8	236.0	8.0	475.0	12.6

Le tolleranze delle sedi dei cuscinetti sono molto importanti sia dal punto di vista del montaggio dei cuscinetti, sia dal punto di vista funzionale.

I valori indicati nelle tabelle seguenti sono un valido riferimento a cui attenersi nella costruzione degli alberi e degli alloggiamenti.

Poiché i cuscinetti a sfere obliqui di precisione sono diffusamente applicati nelle macchine utensili, le tolleranze di lavorazione per alberi ed alloggiamenti riguardano questo settore in cui, generalmente, è l'albero che ruota, mentre l'anello esterno è stazionario.

Ovviamente, presentandosi la situazione contraria, sarà l'alloggiamento a richiedere maggior interferenza, per evitare fenomeni di scorrimento (creep) durante il funzionamento.

Analogo accorgimento dovrà essere adottato per gli alberi sottoposti a forti carichi rotanti (es. alberi di bobinatrici).

I valori indicati nella tabella sono orientativi e valgono per alberi ed alloggiamenti di acciaio o materiale simile.

Si possono peraltro verificare applicazioni "critiche" per incidenza termica (elevata differenza di temperatura tra albero ed alloggiamento) che impongono tolleranze speciali per evitare un eccessivo precarico dei cuscinetti e, quindi, il loro cedimento.

Alberi e alloggiamenti per cuscinetti in precisione ABEC 7 - ABEC 9

ALBERI IN ACCIAIO (rotanti)

Diametro nominale dell'albero in mm	\geq	6	10	18	30	50	80	120	180	250
	$<$	10	18	30	50	80	120	180	250	315
Tolleranza del diametro dell'albero in μm		0	0	0	0	0	+2	+3	+4	+5
		-4	-4	-4	-5	-5	-4	-5	-6	-7
ISO		-	-	h3	-	h3	-	-	-	-

ALLOGGIAMENTI IN ACCIAIO

Diametro nominale dell'alloggiamento in mm	\geq	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	$<$	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Supporto bloccato assialmente	Tolleranze in μm	+5	+6	+7	+8	+7	+9	+11	+13	+15
		0	0	0	0	-3	-3	-3	-3	-3
	ISO	H4	H4	H4	H4	-	-	-	-	-
Supporto libero assialmente	Tolleranze in μm	+7	+8	+9	+10	+10	+12	+14	+16	+18
		+2	+2	+2	+2	0	0	0	0	0
	ISO	-	-	-	-	H4	H4	H4	H4	H4

N.B. Per applicazioni speciali consultare il nostro "Servizio Tecnico".

Alberi e alloggiamenti per cuscinetti in precisione ABEC 5

ALBERI IN ACCIAIO (rotanti)

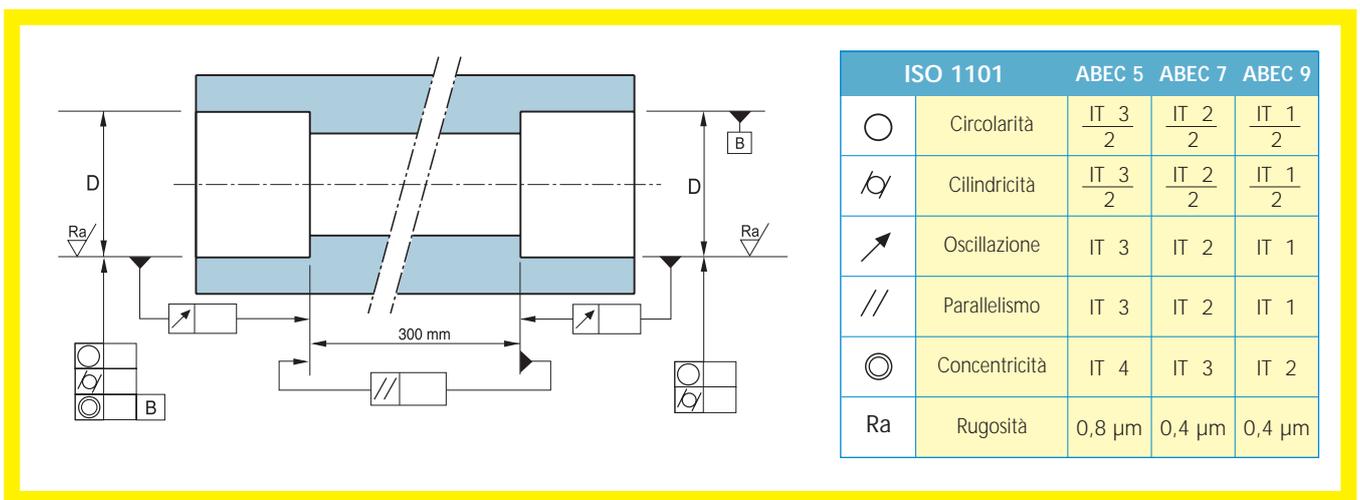
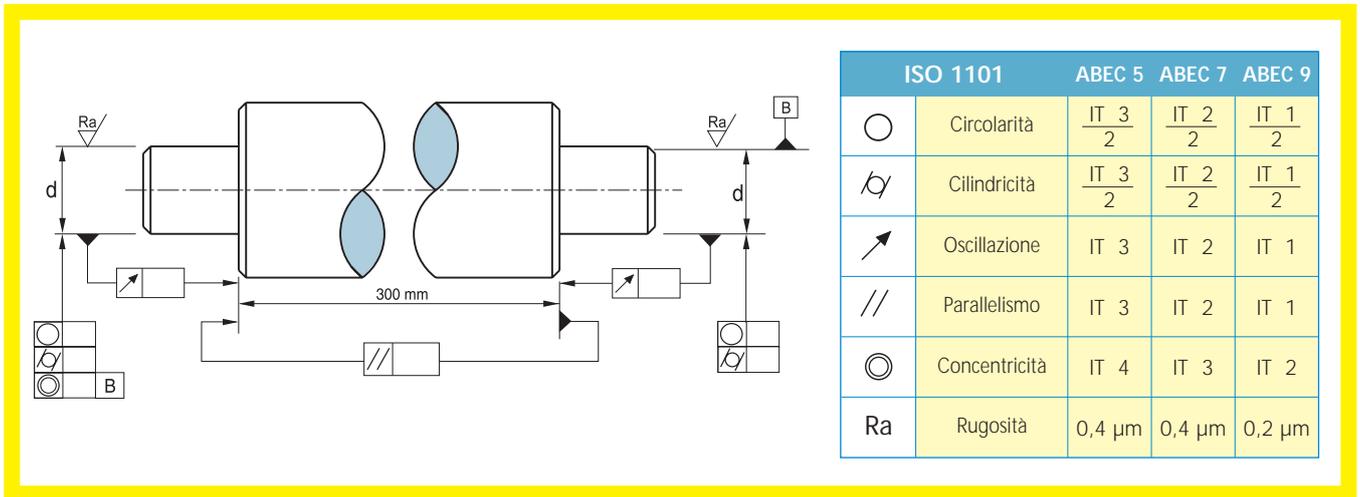
Diametro nominale dell'albero in mm	\geq	6	10	18	30	50	80	120	180	250
	$<$	10	18	30	50	80	120	180	250	315
Tolleranza del diametro dell'albero in μm		0	0	0	0	0	+3	+4	+5	+6
		-5	-5	-6	-7	-8	-7	-8	-9	-10
ISO		-	h4	h4	h4	h4	-	-	-	-

ALLOGGIAMENTI IN ACCIAIO

Diametro nominale dell'alloggiamento in mm	\geq	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	$<$	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Supporto bloccato assialmente	Tolleranze in μm	+8	+9	+11	+13	+12	+14	+16	+19	+21
		0	0	0	0	-3	-4	-4	-4	-4
	ISO	H5	H5	H5	H5	-	-	-	-	-
Supporto libero assialmente	Tolleranze in μm	+10	+11	+13	+15	+15	+18	+20	+23	+25
		+2	+2	+2	+2	0	0	0	0	0
	ISO	-	-	-	-	H5	H5	H5	H5	H5

N.B. Per applicazioni speciali consultare il nostro "Servizio Tecnico".

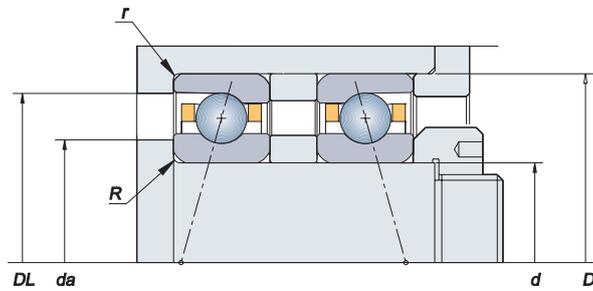
Errori di forma (scostamenti teorici massimi ammissibili)



Diametro nominale in mm	≥	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	<	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Errore di forma in micron	IT 0	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	-	-
	IT 1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7
	IT 2	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9
	IT 3	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13
	IT 4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18

Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo delle sedi

(I raggi massimi delle sedi dovranno corrispondere ai rispettivi r_{min} e R_{min} del cuscinetto)

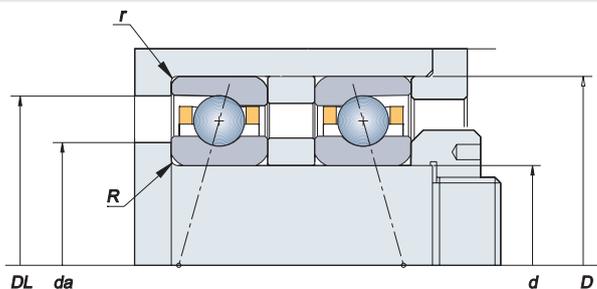


d	SERIE SEA					SERIE SEB					SERIE EX					SERIE E 200					
	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	
6											17	8.5	14.5	0.15	0.3						
7											19	9.5	16.5	0.15	0.3	22	11.0	19.0	0.15	0.3	
8											22	11.0	19.0	0.15	0.3	24	11.0	21.0	0.15	0.3	
9											24	12.5	20.5	0.15	0.3	26	13.0	23.0	0.15	0.3	
10	19	12.0	17.0	0.1	0.3						26	13.5	22.5	0.3	0.3	30	14.5	25.5	0.3	0.6	
12	21	14.0	19.0	0.1	0.3						28	15.0	25.0	0.15	0.3	32	16.5	27.5	0.3	0.6	
15	24	17.0	22.0	0.1	0.3						32	19.0	28.5	0.15	0.3	35	18.5	31.5	0.3	0.6	
17	26	19.0	24.0	0.1	0.3	30	19.5	27.5	0.15	0.3	35	20.5	31.5	0.15	0.3	40	21.5	35.5	0.3	0.6	
20	32	23.0	29.0	0.1	0.3	37	24.0	33.5	0.15	0.3	42	24.5	37.5	0.3	0.6	47	26.5	40.5	0.6	1.0	
25	37	28.0	34.0	0.1	0.3	42	29.0	38.5	0.15	0.3	47	29.0	43.0	0.3	0.6	52	30.5	46.5	0.6	1.0	
30	42	33.0	39.0	0.1	0.3	47	34.0	43.5	0.15	0.3	55	34.5	50.5	0.3	1.0	62	36.5	55.5	0.6	1.0	
35	47	38.0	44.0	0.1	0.3	55	39.5	50.5	0.3	0.6	62	40.5	56.5	0.3	1.0	72	44.0	63.0	0.6	1.1	
40	52	43.0	49.0	0.1	0.3	62	44.5	57.5	0.3	0.6	68	46.0	62.0	0.3	1.0	80	49.0	71.0	0.6	1.1	
45	58	48.5	54.5	0.1	0.3	68	50.0	63.0	0.3	0.6	75	50.5	69.5	0.3	1.0	85	54.0	76.0	0.6	1.1	
50	65	53.5	61.5	0.1	0.3	72	54.0	68.0	0.3	0.6	80	55.5	74.5	0.3	1.0	90	57.5	83.0	0.6	1.1	
55	72	58.5	68.5	0.1	0.3	80	59.5	75.5	0.3	1.0	90	61.5	83.5	0.6	1.1	100	63.0	92.0	0.6	1.5	
60	78	63.5	74.5	0.1	0.3	85	64.5	80.5	0.3	1.0	95	66.5	88.5	0.6	1.1	110	71.5	100.5	1.0	1.5	
65	85	69.5	80.5	0.3	0.6	90	69.5	85.5	0.3	1.0	100	71.5	93.5	0.6	1.1	120	76.5	108.5	1.0	1.5	
70	90	74.5	85.5	0.3	0.6	100	75.5	94.5	0.3	1.0	110	77.5	103.0	0.6	1.1	125	81.5	113.5	1.0	1.5	
75	95	79.5	90.5	0.3	0.6	105	80.5	99.5	0.3	1.0	115	82.5	108.0	0.6	1.1	130	86.5	118.5	1.0	1.5	
80	100	84.5	95.5	0.3	0.6	110	85.5	104.5	0.3	1.0	125	88.0	117.0	0.6	1.1	140	92.5	128.0	1.0	2.0	
85	110	90.5	104.5	0.3	1.0	120	91.5	113.5	0.6	1.1	130	93.0	122.0	0.6	1.1	150	98.5	137.0	1.0	2.0	
90	115	95.5	109.5	0.3	1.0	125	96.5	118.5	0.6	1.1	140	100.5	130.0	1.0	1.5	160	103.0	147.0	1.0	2.0	
95	120	100.5	114.5	0.3	1.0	130	101.5	123.5	0.6	1.1	145	104.0	136.0	1.0	1.5	170	112.0	153.0	1.1	2.1	
100	125	105.5	119.5	0.3	1.0	140	107.5	133.0	0.6	1.1	150	109.0	141.0	1.0	1.5	180	116.0	164.0	1.1	2.1	
105	130	110.5	124.5	0.3	1.0						160	115.0	150.0	1.0	2.0	190	122.0	173.0	1.1	2.1	
110	140	116.5	134.0	0.3	1.0	150	117.5	143.0	0.6	1.1	170	121.0	159.0	1.0	2.0	200	130.0	181.0	1.1	2.1	
120	150	126.5	144.0	0.3	1.0	165	128.0	157.0	0.6	1.1	180	131.0	169.0	1.0	2.0	215	143.0	192.0	1.1	2.1	
130	165	138.0	157.0	0.6	1.1	180	140.0	170.0	0.6	1.5	200	143.0	188.0	1.0	2.0	230	152.0	209.0	1.5	3.0	
140	175	148.0	167.0	0.6	1.1	190	151.0	180.0	0.6	1.5	210	153.0	198.0	1.0	2.0	250	165.0	225.0	1.5	3.0	
150	190	159.0	181.0	0.6	1.1	210	161.0	199.0	1.0	2.0	225	164.0	212.0	1.0	2.1						
160						220	171.0	209.0	1.0	2.0	240	175.0	226.0	1.0	2.1						
170						230	181.0	219.0	1.0	2.0	260	188.0	242.0	1.0	2.1						
180						250	192.0	238.0	1.0	2.0	280	201.0	259.0	1.0	2.1						
190						260	202.0	248.0	1.0	2.0	290	211.0	269.0	1.0	2.1						
200						280	215.0	266.0	1.0	2.1	310	220.0	290.0	1.0	2.1						
220						300	234.0	286.0	1.0	2.1	340	242.0	319.0	1.5	3.0						
230						310	244.0	296.0	1.0	2.1											
240						320	254.5	305.5	1.0	2.1	360	262.0	339.0	1.5	3.0						
260						360	278.5	342.0	1.0	2.1											
280						380	299	361	1.0	2.1											

Valori in mm

Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo delle sedi

(I raggi massimi delle sedi dovranno corrispondere ai rispettivi r_{min} e R_{min} del cuscinetto)

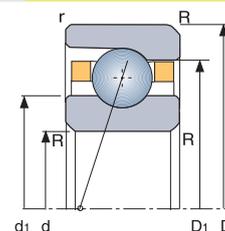


d	SERIE VEB - HB					SERIE VEX					SERIE BS 200					SERIE BS (speciale)					
	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	D	d _{amin}	DL _{max}	r _{max}	R _{max}	
6						17	8.5	14.5	0.15	0.3											
7						19	9.5	16.5	0.15	0.3											
8	19	10.5	16.5	0.15	0.3	22	11.0	19.0	0.15	0.3											
9						24	12.5	20.5	0.15	0.3											
10	22	13.0	19.0	0.15	0.3	26	13.5	22.5	0.3	0.3											
12	24	15.0	21.0	0.15	0.3	28	15.0	25.0	0.15	0.3	32	17.0	26.5	0.6	0.6						
15	28	17.5	25.5	0.15	0.3	32	19.0	28.5	0.15	0.3	35	20.0	30.0	0.6	0.6						
17	30	19.5	27.5	0.15	0.3	35	20.5	31.5	0.15	0.3	40	23.0	34.0	0.6	0.6	47	23.5	40.0	1.0	1.0	
20	37	24.0	33.5	0.15	0.3	42	24.5	37.5	0.3	0.6	47	27.0	40.0	0.6	1.0	47	27.0	40.0	1.0	1.0	
25	42	29.0	38.5	0.15	0.3	47	29.5	42.0	0.3	0.6	52	32.0	45.0	0.6	1.0	62	34.0	53.5	1.0	1.0	
30	47	34.0	43.5	0.15	0.3	55	36.5	48.5	0.6	1.0	62	39.0	53.5	0.6	1.0	62	39.0	53.5	1.0	1.0	
35	55	39.5	50.5	0.3	0.6	62	41.5	55.5	0.6	1.0	72	45.0	61.5	0.6	1.1	72	45.0	61.5	1.1	1.1	
40	62	44.5	57.5	0.3	0.6	68	47.0	61.0	0.6	1.0	80	51.0	69.0	0.6	1.1						
45	68	50.0	63.0	0.3	0.6	75	53.0	67.0	0.6	1.0	85	56.0	74.0	0.6	1.1						
50	72	54.0	68.0	0.3	0.6	80	57.5	72.5	0.6	1.0	90	61.0	79.0	0.6	1.1						
55	80	59.5	75.5	0.3	1.0	90	64.5	80.5	0.6	1.1											
60	85	64.5	80.5	0.3	1.0	95	69.5	85.5	0.6	1.1	110	74.0	96.0	0.6	1.5						
65	90	69.5	85.5	0.3	1.0	100	74.0	91.0	0.6	1.1											
70	100	75.5	94.5	0.3	1.0	110	80.5	99.5	0.6	1.1											
75	105	80.5	99.5	0.3	1.0	115	85.5	104.5	0.6	1.1	130	91.0	114.0	0.6	1.5						
80	110	85.5	104.5	0.3	1.0	125	91.5	113.5	0.6	1.1											
85	120	91.5	113.5	0.6	1.1	130	96.5	118.5	0.6	1.1											
90	125	96.5	118.5	0.6	1.1	140	104.0	126.0	1.0	1.5											
95	130	101.5	123.5	0.6	1.1	145	107.3	132.5	1.0	1.5											
100	140	107.5	133.0	0.6	1.1	150	112.5	137.5	1.0	1.5											
105																					
110	150	117.5	143.0	0.6	1.1	170	127.5	152.5	1.0	2.0											
120	165	128.0	157.0	0.6	1.1	180	135.5	164.0	1.0	2.0											
130																					
140																					
150																					
160																					
170																					
180																					
190																					
200																					
220																					
240																					
260																					
280																					

Valori in mm



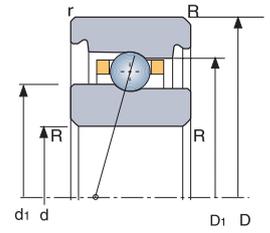
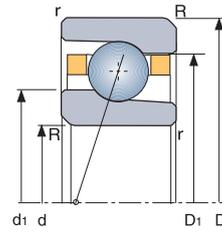
Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo dei cuscinetti



d	SERIE SEA					SERIE SEB					SERIE EX					SERIE E 200				
	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}
6											17	9.2	14.0	0.15	0.3					
7											19	10.3	15.7	0.15	0.3	22	12.1	17.9	0.15	0.3
8											22	12.1	17.9	0.15	0.3	24	13.1	18.8	0.15	0.3
9											24	13.6	19.4	0.15	0.3	26	14.8	21.3	0.15	0.3
10	19	13.1	16.1	0.1	0.3						26	15.6	20.4	0.3	0.3	30	16.3	23.7	0.3	0.6
12	21	15.1	18.1	0.1	0.3						28	17.0	23.3	0.15	0.3	32	18.0	26.0	0.3	0.6
15	24	18.1	21.1	0.1	0.3						32	20.7	26.9	0.15	0.3	35	20.8	29.1	0.3	0.6
17	26	20.1	23.0	0.1	0.3	30	21.1	25.9	0.15	0.3	35	22.7	29.3	0.15	0.3	40	24.2	32.8	0.3	0.6
20	32	24.1	28.1	0.1	0.3	37	25.7	32.0	0.15	0.3	42	27.2	34.8	0.3	0.6	47	29.0	38.0	0.6	1.0
25	37	29.1	33.1	0.1	0.3	42	30.7	36.4	0.15	0.3	47	31.7	40.3	0.3	0.6	52	33.8	43.2	0.6	1.0
30	42	34.1	38.1	0.1	0.3	47	35.8	41.4	0.15	0.3	55	37.9	47.2	0.3	1.0	62	40.3	51.7	0.6	1.0
35	47	39.1	43.1	0.1	0.3	55	41.7	48.3	0.3	0.6	62	43.9	53.2	0.3	1.0	72	47.8	59.2	0.6	1.1
40	52	44.1	48.1	0.1	0.3	62	47.2	54.8	0.3	0.6	68	49.2	58.8	0.3	1.0	80	53.3	66.8	0.6	1.1
45	58	49.6	53.6	0.1	0.3	68	52.7	60.3	0.3	0.6	75	54.3	65.7	0.3	1.0	85	58.8	71.5	0.6	1.1
50	65	55.1	60.0	0.1	0.3	72	56.7	65.3	0.3	0.6	80	59.3	70.8	0.3	1.0	90	62.4	77.7	0.6	1.1
55	72	60.7	66.5	0.1	0.3	80	62.8	72.3	0.3	1.0	90	65.8	79.2	0.6	1.1	100	69.0	86.1	0.6	1.5
60	78	65.7	72.5	0.1	0.3	85	67.8	77.3	0.3	1.0	95	70.8	84.2	0.6	1.1	110	77.4	94.6	1.0	1.5
65	85	71.7	78.5	0.3	0.6	90	72.8	82.3	0.3	1.0	100	75.8	89.2	0.6	1.1	120	83.0	102.0	1.0	1.5
70	90	76.7	83.5	0.3	0.6	100	79.3	90.5	0.3	1.0	110	82.4	97.6	0.6	1.1	125	88.0	107.0	1.0	1.5
75	95	81.7	88.5	0.3	0.6	105	84.3	95.5	0.3	1.0	115	87.4	102.6	0.6	1.1	130	93.0	112.0	1.0	1.5
80	100	86.7	93.5	0.3	0.6	110	89.3	100.5	0.3	1.0	125	94.0	111.0	0.6	1.1	140	99.4	120.6	1.0	2.0
85	110	93.2	102.1	0.3	1.0	120	96.0	109.2	0.6	1.1	130	99.0	116.0	0.6	1.1	150	106.0	129.0	1.0	2.0
90	115	98.2	107.1	0.3	1.0	125	101.0	114.2	0.6	1.1	140	106.4	123.6	1.0	1.5	160	113.9	136.4	1.0	2.0
95	120	103.2	112.1	0.3	1.0	130	106.0	119.2	0.6	1.1	145	110.5	129.5	1.0	1.5	170	120.1	144.9	1.1	2.1
100	125	108.2	117.0	0.3	1.0	140	112.4	127.5	0.6	1.1	150	115.5	134.5	1.0	1.5	180	126.5	153.5	1.1	2.1
105	130	113.2	122.0	0.3	1.0						160	122.0	143.6	1.0	2.0	190	132.3	162.7	1.1	2.1
110	140	119.8	130.6	0.3	1.0	150	122.4	137.5	0.6	1.1	170	128.5	151.5	1.0	2.0	200	139.7	170.3	1.1	2.1
120	150	129.8	140.6	0.3	1.0	165	134.0	151.0	0.6	1.1	180	138.5	161.5	1.0	2.0	215	152.3	182.7	1.1	2.1
130	165	141.8	153.2	0.6	1.1	180	146.4	163.6	0.6	1.5	200	151.7	178.3	1.0	2.0	230	162.8	197.1	1.5	3.0
140	175	151.3	163.7	0.6	1.1	190	156.4	173.6	0.6	1.5	210	161.7	188.3	1.0	2.0	250	177.0	213.0	1.5	3.0
150	190	163.3	176.7	0.6	1.1	210	168.6	191.5	1.0	2.0	225	173.2	201.8	1.0	2.1					
160						220	178.6	201.5	1.0	2.0	240	185.0	215.0	1.0	2.1					
170						230	188.6	211.5	1.0	2.0	260	199.0	231.0	1.0	2.1					
180						250	201.7	228.4	1.0	2.0	280	212.9	247.2	1.0	2.1					
190						260	211.7	238.4	1.0	2.0	290	222.9	257.2	1.0	2.1					
200						280	224.8	255.2	1.0	2.1	310	234.1	275.9	1.0	2.1					
220						300	244.8	275.2	1.0	2.1	340	257.2	302.8	1.5	3.0					
230						310	254.8	285.2	1.0	2.1										
240						320	264.8	295.2	1.0	2.1	360	277.2	322.8	1.5	3.0					
260						360	291.0	329.1	1.0	2.1										
280						380	311.0	349.0	1.0	2.1										

Valori in mm

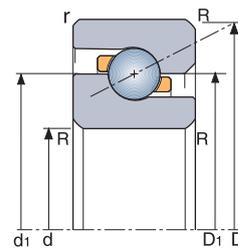
Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo dei cuscinetti



d	SERIE VEB					SERIE HB					SERIE VEX				
	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}
6											17	9.2	14.0	0.15	0.3
7											19	10.3	15.7	0.15	0.3
8	19	11.3	15.7	0.15	0.3						22	12.1	17.9	0.15	0.3
9											24	13.6	19.4	0.15	0.3
10	22	14.0	17.9	0.15	0.3						26	15.6	20.4	0.3	0.3
12	24	16.0	19.9	0.15	0.3						28	17.0	23.3	0.15	0.3
15	28	19.1	23.9	0.15	0.3						32	20.7	26.9	0.15	0.3
17	30	21.1	25.9	0.15	0.3						35	22.7	29.3	0.15	0.3
20	37	25.7	32.0	0.15	0.3						42	27.2	34.8	0.3	0.6
25	42	30.7	36.4	0.15	0.3						47	32.2	39.8	0.3	0.6
30	47	35.8	41.4	0.15	0.3	47	36	41.2	0.15	0.3	55	38.7	46.3	0.6	1.0
35	55	41.7	48.3	0.3	0.6	55	42.5	47.7	0.3	0.6	62	44.2	52.8	0.6	1.0
40	62	47.2	54.8	0.3	0.6	62	48.5	53.7	0.3	0.6	68	49.7	58.2	0.6	1.0
45	68	52.7	60.3	0.3	0.6	68	53.5	59.7	0.3	0.6	75	55.7	64.2	0.6	1.0
50	72	56.7	65.3	0.3	0.6	72	58	64.2	0.3	0.6	80	60.2	69.8	0.6	1.0
55	80	62.8	72.3	0.3	1.0	80	63.9	71.3	0.3	1.0	90	67.7	77.3	0.6	1.1
60	85	67.8	77.3	0.3	1.0	85	68.9	76.3	0.3	1.0	95	72.7	82.3	0.6	1.1
65	90	72.8	82.3	0.3	1.0	90	73.9	81.3	0.3	1.0	100	77.3	87.7	0.6	1.1
70	100	79.3	90.5	0.3	1.0	100	80.9	89.3	0.3	1.0	110	84.3	95.3	0.6	1.1
75	105	84.3	95.5	0.3	1.0	105	85.9	94.3	0.6	1.0	115	89.3	100.7	0.6	1.1
80	110	89.3	100.5	0.3	1.0	110	90.7	99.6	0.6	1.0	125	95.8	109.2	0.6	1.1
85	120	96.0	109.2	0.6	1.1	120	98.2	107	0.6	1.1	130	100.8	114.2	0.6	1.1
90	125	101.0	114.2	0.6	1.1	125	102.9	112.3	0.6	1.1	140	108.3	121.7	1.0	1.5
95	130	106.0	119.2	0.6	1.1	130	107.9	117.3	0.6	1.1	145	112.4	127.6	1.0	1.5
100	140	112.4	127.5	0.6	1.1	140	114.9	125.3	0.6	1.1	150	117.4	132.6	1.0	1.5
105															
110	150	122.4	137.5	0.6	1.1	150	124.4	135.9	0.6	1.1	170	132.4	147.6	1.0	2.0
120	165	134.0	151.0	0.6	1.1	165	136.9	148.4	0.6	1.1	180	141.4	158.6	1.0	2.0
130															
140															
150															
160															
170															
180															
190															
200															
220															
240															
260															
280															

Valori in mm

Diametri spalleggiamenti e raggio di raccordo dei cuscinetti



d	SERIE BS 200					SERIE BS (SPECIALE)				
	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}	D	d1	D1	r _{min}	R _{min}
6										
7										
8										
9										
10										
12	32	22.0	22.1	0.6	0.6					
15	35	25.0	25.1	0.6	0.6					
17	40	28.5	28.6	0.6	0.6	47	33.5	33.6	1.0	1.0
20	47	33.5	33.6	0.6	1.0	47	33.5	33.6	1.0	1.0
25	52	38.5	38.6	0.6	1.0	62	46.0	46.1	1.0	1.0
30	62	46.0	46.1	0.6	1.0	62	46.0	46.1	1.0	1.0
35	72	53.5	53.6	0.6	1.1	72	53.5	53.6	1.1	1.1
40	80	60.0	60.1	0.6	1.1					
45	85	65.0	65.1	0.6	1.1					
50	90	70.0	70.1	0.6	1.1					
55										
60	110	85.0	85.1	0.6	1.5					
65										
70										
75	130	102.5	102.7	0.6	1.5					

Valori in mm

Scopo della lubrificazione

Ingrassaggio dei cuscinetti

Per realizzare le condizioni di massima pulizia, è prevista la possibilità di fornire al Committente i cuscinetti ingrassati all'origine, anche nella versione senza tenute laterali.

L'operazione viene effettuata in ambiente protetto, con apposita apparecchiatura, immediatamente dopo il lavaggio, assicurando un dosaggio preciso ed una distribuzione uniforme del grasso.



Scopo della lubrificazione è di separare le superfici metalliche anche in presenza di elevate pressioni riducendo l'attrito e la formazione di calore all'interno dei cuscinetti.

Lubrificazione a grasso

È il tipo di lubrificazione più diffuso perché molto vantaggioso in termini di semplicità ed economia d'impiego.

Quando le condizioni operative (velocità, temperatura, pulizia) rientrano nei limiti indicati dal fabbricante del grasso, i cuscinetti non richiedono una manutenzione particolare, né successive aggiunte (si può quindi parlare di "lubrificazione a vita").

La scelta del tipo di grasso è d'importanza basilare per il buon funzionamento dei cuscinetti, con effetto determinante su:

- temperatura di funzionamento;
- durata;
- protezione;
- livello di rumorosità.

La gamma dei grassi sintetici di elevata qualità, reperibili in commercio, è piuttosto ampia.

Per i cuscinetti delle macchine utensili vengono frequentemente adottati grassi rispondenti alle caratteristiche indicate nella sottostante tabella.

I cuscinetti che funzionano in applicazioni a temperatura elevata, quali, ad es., quelli in uso negli elettromandri, devono essere lubrificati con un grasso che non si deteriora, il cui olio base possiede una adeguata viscosità ed elevate proprietà antiusura.

APPLICAZIONE		GRASSO	
Velocità (ndm)	Carico	Consistenza NLGI	Addensante
fino a 600.000	leggero/medio	2	litio
fino a 600.000	elevato	2	calcio/litio
fino a 900.000	medio	2	calcio/bario/litio
oltre 900.000	leggero	2	calcio/bario/litio

Durata d'impiego del grasso

L'efficienza del grasso degrada nel tempo, per effetto delle condizioni di funzionamento (temperatura, sollecitazioni, grado d'inquinamento) e in funzione delle proprie caratteristiche chimico-fisiche.

Valutare questi fenomeni è alquanto problematico; pertanto il calcolo della durata "Lg" d'impiego del grasso (in ore) si basa prevalentemente su dati statistici.

Il diagramma della fig. 1 riporta gli elementi per una valutazione della durata dei grassi sintetici di buona qualità in condizioni di funzionamento ottimali; la parte superiore della curva delle durate si riferisce a condizioni di funzionamento con temperatura moderata (es. mandrini con trasmissione a cinghia), la parte inferiore, invece, riguarda le applicazioni dove la presenza di un'altra fonte di calore (ad es. elettromandrino) incrementa sensibilmente la temperatura del cuscinetto con effetto deleterio sul lubrificante.

Dal diagramma risulta evidente che nelle applicazioni con temperatura di funzionamento elevata la durata dei cuscinetti può essere più subordinata a quella del grasso che a fenomeni di fatica dei materiali.

Rodaggio

È un'operazione molto importante per il buon funzionamento dei cuscinetti, soprattutto quando la lubrificazione è a grasso.

Il rodaggio consente un assestamento definitivo delle parti statiche e dinamiche dei cuscinetti e del mandrino; inoltre, quando la lubrificazione è a grasso, ha l'indispensabile funzione di garantire un'omogenea ripartizione del lubrificante. La vita e le prestazioni del cuscinetto e del lubrificante sono strettamente connesse con le modalità di esecuzione del rodaggio.

Per la lubrificazione a grasso è importante attenersi alle seguenti indicazioni:

1 - Partire con un regime di rotazione n_1 ridotto:

$$n_1 \leq n_{max} \cdot 0,1$$

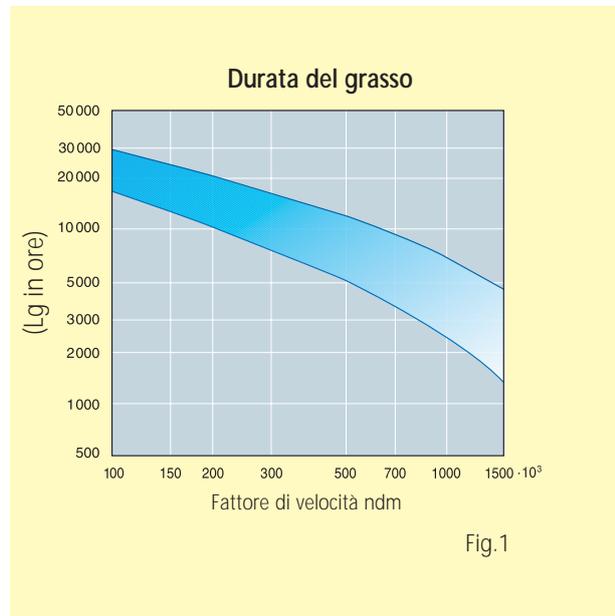


Fig.1

2 - Aumentare gradualmente la velocità di rotazione, con incrementi progressivi Δn pari a circa il 15% della velocità massima da raggiungere:

$$\Delta n \cong n_{max} \cdot 0,15$$

Prima d'incrementare la velocità, è necessario attendere almeno 15 minuti dopo che la temperatura di esercizio dei cuscinetti si è stabilizzata.

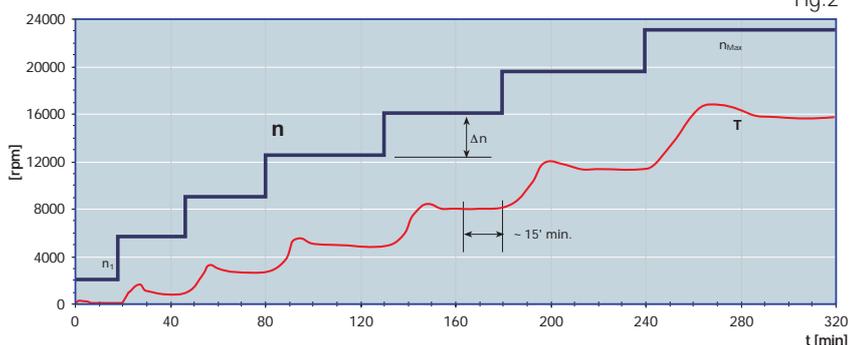
Durante il rodaggio è indispensabile monitorare la temperatura T raggiunta, tramite sonde a contatto oppure in prossimità dei cuscinetti (fig. 2).

Se l'anello esterno del cuscinetto supera la temperatura di 55° circa, è raccomandabile interrompere la prova e lasciare raffreddare il mandrino, riprendendo il rodaggio dalla fase precedente, aumentando il regime di rotazione con incrementi dimezzati.

La temperatura di 55° C è cautelativa - il cuscinetto può infatti sostenere temperature uniformi fino a circa 75° C, ma è bene non superare tale limite perché, internamente al cuscinetto, la temperatura può essere momentaneamente molto più alta.

Rodaggio di SNFA VEX40 9CE1 DDL con lubrificazione a grasso

Fig.2



Quantità di grasso La quantità di grasso da introdurre dipende dal tipo di cuscinetto e dalla velocità di funzionamento. La quantità si calcola pertanto moltiplicando il fattore K (funzione della massima velocità di rotazione prevista, espressa in "ndm" - fig. 3) per il valore della "quantità di riferimento" evidenziato nella tabella 4.

Esempio

Tipo di cuscinetto VEX 70 7 CE 1 DDL
 Dimensioni 70 x 110 x 20
 Velocità massima 10.000 giri/min

$$\text{ndm} = 10.000 \times \left[\frac{70 + 110}{2} \right] = 900.000$$

per ndm = 900.000, k (secondo il diagramma 3) = 0,36
 quantità base (secondo la tabella 4) = 6,9 cm³
 quantità di grasso = 2,48 cm³ per ciascun cuscinetto (0,36 x 6,9)

Distribuzione del grasso

Nei cuscinetti di piccole dimensioni dove è prevista un'esigua quantità di grasso, è consigliabile eseguire, prima dell'introduzione del lubrificante, un'immersione del cuscinetto in una miscela di solvente e grasso (3 - 5 %), seguita da evaporazione in aria libera.

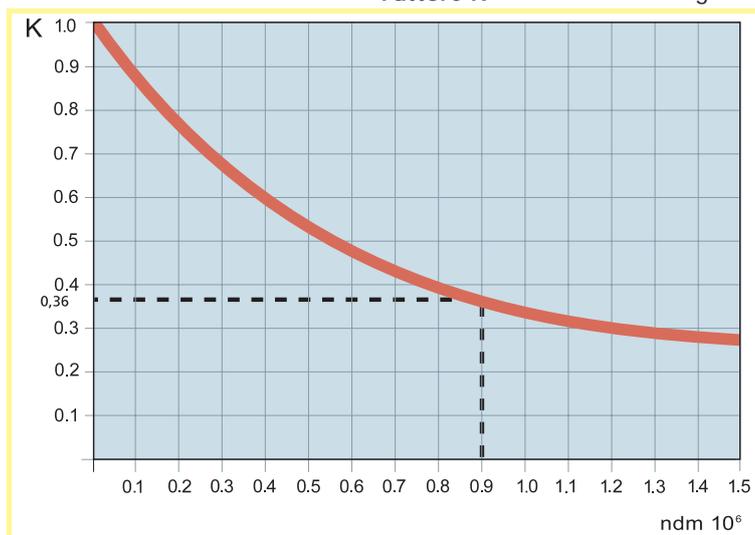
Tale procedura assicura una successiva deposizione uniforme del lubrificante su tutte le superfici del cuscinetto.

I cuscinetti SNFA, molto frequentemente, vengono forniti con il tipo e la quantità di grasso richiesti dalla Committenza.

Con questa soluzione, che comporta vantaggi operativi ed economici per l'utilizzatore, l'introduzione del grasso avviene durante il ciclo produttivo, a tutto vantaggio della precisione quantitativa/qualitativa e della corretta distribuzione all'interno del cuscinetto.

Fattore K

Fig. 3



Quantità base di grasso dei singoli cuscinetti
 Quantità base di grasso per ciascun cuscinetto delle serie in cm³
 (± 10% di tolleranza)

d	SEA	SEB	EX	E200	VEB	HB	VEX	BS200	BS (Speciale)
6			0.1				0.1		
7			0.1	0.1			0.1		
8			0.1	0.2	0.1		0.2		
9			0.2	0.2			0.2		
10	0.1		0.2	0.3	0.1		0.2		
12	0.1		0.2	0.4	0.1		0.3	0.6	
15	0.1		0.4	0.6	0.2		0.4	0.7	
17	0.1	0.2	0.5	0.8	0.2		0.5	1.0	1.6
20	0.2	0.4	0.8	1.1	0.5		0.9	1.6	1.6
25	0.2	0.5	1.0	1.4	0.6		1.0	2.2	2.7
30	0.3	0.6	1.4	2.2	0.6	0.7	1.4	2.7	2.7
35	0.3	0.9	1.8	2.6	0.9	0.9	1.9	3.7	3.7
40	0.3	1.3	2.1	3.6	1.5	1.2	2.4	4.8	
45	0.4	1.4	3.0	4.0	1.6	1.6	2.9	5.5	
50	0.5	1.7	3.3	5.3	1.9	1.7	3.2	6.2	
55	0.9	2.2	4.6	6.9	2.5	2.3	4.1		
60	1.3	2.4	5.0	8.2	2.7	2.5	4.4	11.0	
65	1.4	2.5	5.2	10.0	2.9	2.6	5.1		
70	1.5	4.0	7.3	11.0	4.7	4.0	6.9		
75	1.6	4.3	7.7	12.0	5.0	4.2	7.3	15.0	
80	1.7	4.5	10.0	15.0	5.3	4.7	9.5		
85	3.0	6.2	11.0	19.0	7.4	6.0	10.0		
90	3.2	6.5	12.0	22.0	7.7	6.3	12.0		
95	3.3	6.8	14.0	27.0	8.0	6.6	14.0		
100	3.5	9.2	14.0	31.0	11.0	8.8	14.0		
105	4.3		18.0	37.0					
110	5.5	10.0	22.0	44.0	12.0	10.0	19.0		
120	5.9	14.0	24.0	50.0	16.0	12.0	23.0		
130	9.7	16.0	37.0	59.0					
140	10.0	17.0	39.0	66.0					
150	14.0	29.0	47.0						
160		31.0	57.0						
170		32.0	71.0						
180		48.0	87.0						
190		50.0	89.0						
200		72.0	118.0						
220		78.0	163.0						
230		80.0							
240		82.0	171.0						
260		138.0							
280		149.0							

Tabella 4

Lubrificazione ad olio

La lubrificazione ad olio si rende indispensabile qualora risultino superati i limiti funzionali della lubrificazione con grasso. Sono previsti diversi sistemi di lubrificazione ad olio.

Con riferimento al settore delle macchine utensili i più noti sono:

- Iniezione d'olio;
- nebbia d'olio;
- minimale (aria - olio, solamente olio).

Iniezione d'olio

È preferita per i cuscinetti che devono funzionare a velocità molto elevate e con carichi gravosi, ovvero in condizioni che non consentono la lubrificazione a nebbia d'olio per la necessità di mantenere la temperatura di funzionamento su bassi livelli.

L'olio viene iniettato nei cuscinetti attraverso ugelli posti lateralmente, posizionati in modo da poter lubrificare la zona di contatto, tra sfere-piste, con fenomeni minimi di turbolenza.

Per evitare che nella zona a valle dei cuscinetti si ingeneri un ristagno d'olio con susseguente surriscaldamento, si devono prevedere canalizzazioni suppletive per lo scarico.

L'elevata quantità di olio refrigerato che investe i cuscinetti, oltre ad assicurare una buona lubrificazione, sottrae il calore generato dal "lavoro", mantenendo la temperatura dell'insieme sui valori controllati (**Lubrorefrigerazione**).

Nell'impianto sono inoltre da prevedere:

- un efficace filtraggio dell'olio;
- uno scambiatore in grado di dissipare il calore sottratto ai cuscinetti;
- un'adeguata riserva d'olio.

Un serbatoio capiente agevola la dispersione del calore e la decantazione di eventuali impurità, evitando altresì un invecchiamento precoce del lubrificante.

Tale sistema di lubrificazione richiede evidentemente un'accurata ed attenta progettazione. Per quanto riguarda il calcolo della quantità di olio (portata), esistono precise regole che tengono conto del tipo di cuscinetto da lubrificare (serie e diametro medio) e della composizione di montaggio.

Nel determinare il grado di viscosità dell'olio per un sistema ad iniezione, normalmente ci si attiene alla classe **ISO VG10** oppure **ISO VG15**.

Grado di viscosità ISO	Viscosità cinematica media a 40°C mm ² /s (cSt)	Limiti di viscosità cinematica a 40°C mm ² /s (cSt)	
		minimo	massimo
VG 2	2.2	1.98	2.42
VG 3	3.2	2.88	3.52
VG 5	4.6	4.14	5.06
VG 7	6.8	6.12	7.48
VG 10	10.0	9.00	11.00
VG 15	15.0	13.50	16.50
VG 22	22.0	19.80	24.20
VG 32	32.0	28.80	35.20
VG 46	46.0	41.40	50.60
VG 68	68.0	61.20	74.80
VG 100	100.0	90.00	110.00
VG 150	150.0	135.00	165.00

Quantitativo di olio per lubrificazione con raffreddamento

Foro (mm)	>	50	120
	≤	50	280
Quantità di olio (l/h)		2 ... 24	15 ... 120
			60 ... 300

Nebbia d'olio

La lubrificazione a nebbia d'olio assicura i seguenti vantaggi:

- buon livello di efficienza anche in presenza di una sistemazione complessa dei cuscinetti;
- moderata temperatura, ridotto assorbimento di potenza;
- semplicità costruttiva del mandrino (canalizzazioni, distanziali, ecc.);
- buona protezione dei cuscinetti contro le impurità esterne (ambiente pressurizzato).

Anche l'impianto di lubrificazione nebulizzata deve essere progettato seguendo norme precise (i costruttori delle centraline "Nebbia d'olio" sono in grado di fornire i dati specifici necessari) che tengono in considerazione le caratteristiche e la velocità dei cuscinetti da lubrificare.

L'olio raccomandato per la lubrificazione è del tipo **ISO VG32**.

Questo sistema può creare problemi di inquinamento ambientale e quindi necessita di un efficiente dispositivo di aspirazione delle nebbie oleose.

Minimale aria-olio

Una peculiarità importante di questo sistema è l'utilizzazione di un olio sintetico molto viscoso (generalmente **ISO VG68**), che, pur in piccole quantità, assicura la presenza di un tenace meato separatore tra i corpi volventi e le piste del cuscinetto.

Ciò significa ottenere, contemporaneamente, ridotta resistenza al rotolamento delle sfere e un buon comportamento anche in presenza di forti carichi.

Il sistema è scarsamente inquinante per le seguenti motivazioni:

- basso consumo di olio;
- effetto nebulizzante controllato.

In questo sistema, infatti, l'aria (elemento convogliatore) e l'olio raggiungono il cuscinetto tramite **ugelli laterali (fig. 1) oppure tramite fori nell'anello esterno del cuscinetto stesso** (vedere nella pagina seguente i cuscinetti in esecuzione "H1" e "G1"), senza miscelazione durante il percorso.

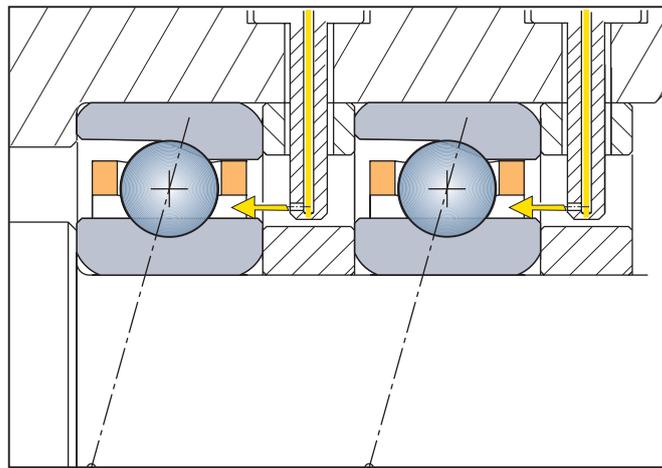


Fig. 1

Con la lubrificazione aria-olio si è pervenuti a sensibili risultati nel settore degli elettromandri ad alta frequenza e ad elevata potenza.

I cuscinetti per alta velocità VEB e VEX, in esecuzione ...NS/H1-...NS/G1 (sfere di materiale ceramico ed anello esterno con fori radiali di lubrificazione), e lubrificazione aria-olio, possono raggiungere alti valori di velocità di rotazione (oltre 2.500.000 ndm).

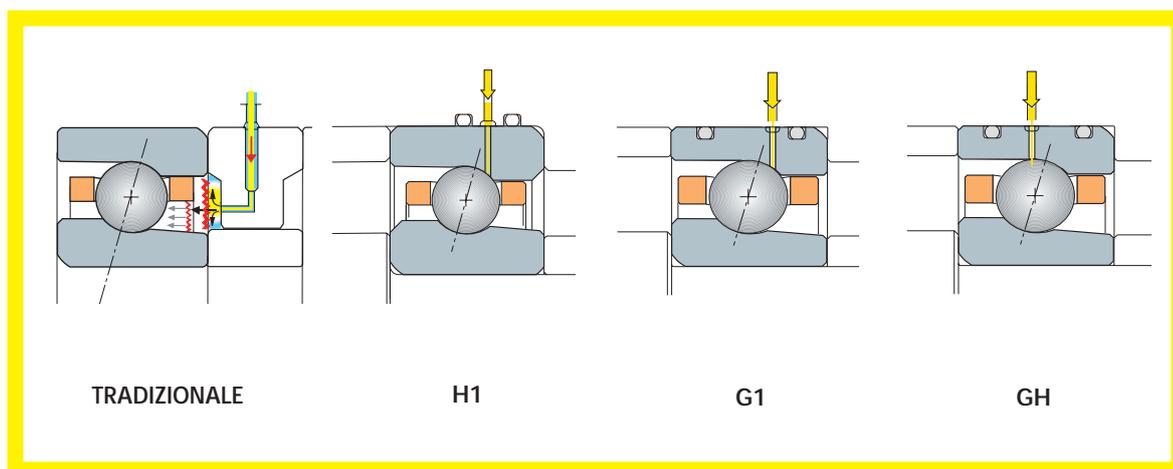
Il calcolo di massima della quantità d'olio (Q) necessaria si può effettuare adottando la formula seguente:

$$Q = 1.3 \cdot dm \quad [\text{mm}^3/\text{h}] \quad \text{per ogni cuscinetto}$$

dove **dm** è il diametro medio del cuscinetto (in mm)



L'adduzione del flusso aria-olio ai cuscinetti deve avvenire senza perdite lungo il percorso ed in modo omogeneo. È pertanto fortemente raccomandabile che ogni cuscinetto venga alimentato individualmente, anche se, a volte, si deve ricorrere ad un sistema di condutture più elaborato.



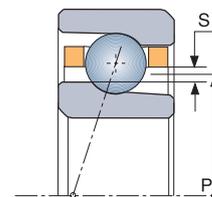
Minimale olio

Ogni sistema capace di inviare al cuscinetto la quantità di olio strettamente necessaria per il suo buon funzionamento può essere considerato "minimale". Anche per i cuscinetti ad alta velocità si può prevedere questo tipo di lubrificazione iniettando direttamente piccoli quantitativi di olio all'interno dei cuscinetti.

Tipo e dosaggio dell'olio sono controllati da una centralina e da un circuito che assicurano continuità di pressione e di flusso.

Posizione degli ugelli

In tutti i tipi di lubrificazione ad olio la massima efficienza si ottiene quando i getti di immissione del lubrificante raggiungono l'interno dei cuscinetti col minimo di turbolenza. È pertanto raccomandabile che i getti vengano posizionati secondo le indicazioni riportate nella tabella seguente:



Valori delle quote "P" ed "S" per l'immissione del lubrificante [in mm]

Diametro d	SERIE											
	SEA		SEB - VEB		EX		VEX		E 200		HB	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
6					10.10	0.90	10.10	0.90				
7					11.30	1.00	11.30	1.00				
8			12.10	0.85	13.30	1.20	13.30	1.20	13.10	1.00		
9					14.80	1.20	14.80	1.20	13.80	0.70		
10	13.40	0.30	14.80	0.75	16.50	0.90	16.50	0.90	16.10	1.30		
					16.50	0.90	16.50	0.90	17.90	1.55		
12	15.40	0.30	16.80	0.75	18.20	1.20	18.20	1.20	19.60	1.60		
15	18.40	0.30	19.80	1.15	21.90	1.20	21.90	1.20	22.30	1.45		
17	20.40	0.30	22.00	0.90	24.10	1.35	24.10	1.35	25.70	1.55		
20	24.50	0.35	26.70	1.05	28.70	1.50	28.70	1.50	30.80	1.75		
25	29.50	0.35	31.80	1.05	33.50	1.75	33.80	1.65	35.50	1.65		
30	34.50	0.35	36.80	1.00	39.70	1.90	40.30	1.65	42.40	2.05	37.0	1.02
35	39.50	0.35	43.00	1.25	45.70	1.90	46.10	1.90	49.90	2.05	43.5	1.02
40	44.50	0.35	48.70	1.45	51.10	1.90	51.60	1.85	55.80	2.50	49.5	1.02
45	50.00	0.35	54.20	1.45	56.60	2.30	57.60	1.85	60.90	2.10	54.7	1.20
50	55.60	0.45	58.40	1.65	61.60	2.30	62.30	2.10	65.20	2.75	59.2	1.20
55	61.30	0.55	64.60	1.85	68.10	2.30	69.60	1.90	72.20	3.15	65.4	1.40
60	66.40	0.65	69.60	1.85	73.10	2.30	74.60	1.85	80.20	2.80	70.4	1.40
65	72.40	0.65	74.50	1.75	78.10	2.30	79.30	2.05	86.00	3.00	75.4	1.40
70	77.40	0.65	81.50	2.20	85.20	2.80	86.50	2.15	91.00	3.00	82.6	1.60
75	82.40	0.65	86.50	2.15	90.20	2.80	91.50	2.25	95.80	2.75	87.6	1.60
80	87.40	0.65	91.50	2.15	97.00	3.00	98.50	2.70	102.70	3.30	92.5	1.70
85	94.10	0.90	98.60	2.55	102.00	3.00	103.50	2.70	110.00	4.00	99.9	1.70
90	99.10	0.90	103.50	2.50	109.50	3.10	111.00	2.65	116.00	2.05	104.8	1.80
95	104.10	0.90	108.50	2.50	113.60	3.10	115.40	3.05	123.80	3.70	109.8	1.80
100	109.10	0.90	115.40	3.00	118.80	3.25	120.40	3.05	130.30	3.75	117.0	2.00
105	114.60	1.40			126.00	4.00			137.20	4.85		
110	120.90	1.10	125.40	2.95	132.80	4.25	135.40	3.05	144.40	4.65	126.7	2.20
120	130.90	1.10	137.40	3.40	142.80	4.25	144.90	3.50	157.20	4.85	139.2	2.20
130	144.00	2.20	149.80	3.40	157.10	5.40			168.60	5.70		
140	153.20	1.85	159.80	3.35	167.10	5.40			182.50	5.50		
150	165.60	2.20	173.30	4.65	178.90	5.65						
160			183.30	4.65	190.80	5.75						
170			193.30	4.65	204.50	5.50						
180			207.40	5.65	219.50	6.55						
190			217.30	5.60	229.00	6.05						
200			231.10	6.30	240.30	6.20						
220			251.10	6.30	264.10	6.90						
230			261.00	6.20								
240			271.00	6.20	283.60	6.40						
260			298.90	7.95								
280			318.30	7.30								

Influenza del livello di contaminazione del lubrificante sul comportamento e sulla vita dei cuscinetti



Il grado di pulizia dei cuscinetti ne condiziona sia la durata, sia l'efficienza: è pertanto di vitale importanza realizzare un'applicazione ove i cuscinetti possano funzionare esenti da impurità.

Con la **lubrificazione a grasso** devono essere rispettate tutte le precauzioni prescritte per evitare che penetrino impurità nei cuscinetti sia durante la loro ingrassatura, sia durante il funzionamento. Un ruolo assai importante, pertanto, spetta alle protezioni laterali, estremamente efficienti in ambienti operativi che si prospettano inquinanti.



Con la **lubrificazione ad olio**, oltre alle precauzioni già menzionate, altre devono intervenire per verificare il **livello di contaminazione del lubrificante**.

Quest'ultimo, specialmente quando si tratta di sistema a ricircolazione d'olio, dipenderà dal tasso di ingresso delle impurezze e dal rendimento di filtrazione, e quindi dall'equilibrio che viene a instaurarsi tra il numero di particelle che entrano in circolazione nel fluido ed il numero di quelle che il filtro riesce ad eliminare.

Esiste un ulteriore rischio di inquinamento, non costituito da particelle solide, ma da fluidi (refrigeranti, oli da taglio, ecc.) che alterano le proprietà del lubrificante, con danni palesi, le cui cause possono essere eliminate con interventi già a livello costruttivo.

Per le **particelle inquinanti** sono disponibili classificazioni che ne determinano dimensioni e quantità limite, per un volume unitario.

Facendo riferimento alle classificazioni **ISO 4406** (fig.1), nel settore dell'alta precisione, ed in particolare in quello degli elettromandri con alte prestazioni, è consigliabile non superare un **livello massimo di inquinamento 10/7**, nei mandrini nuovi e **13/10**, dopo un lungo funzionamento, con una dimensione delle particelle mai superiore a 5 µm.

Livello di inquinamento ISO 4406

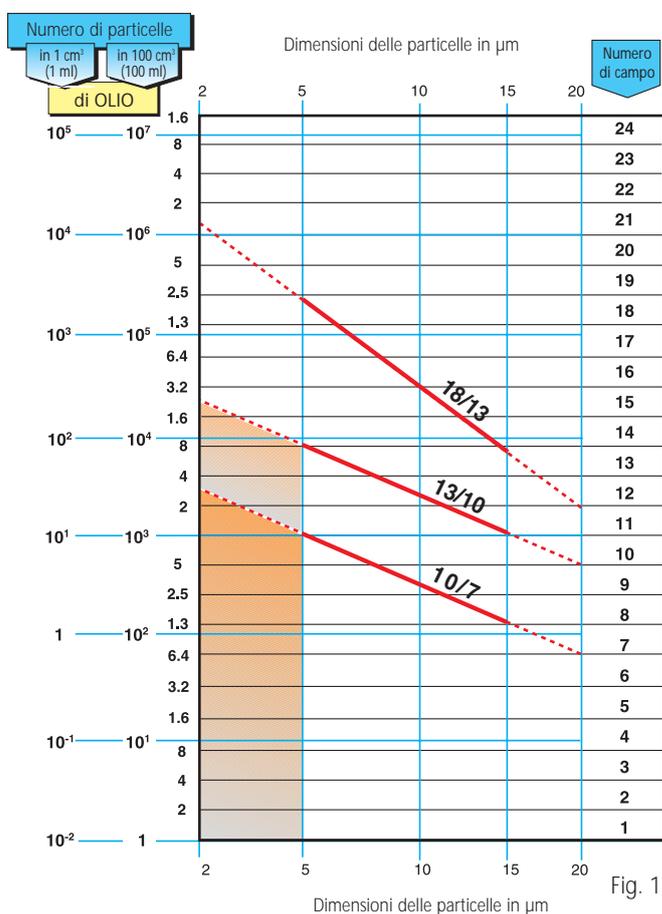


Fig. 1

Protezioni

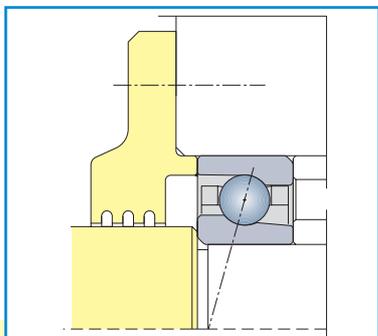
Il grado di pulizia dei cuscinetti ne condiziona sia la durata che l'efficienza, è pertanto di vitale importanza realizzare un'applicazione dove i cuscinetti possono funzionare esenti da impurità.

Fra i numerosi sistemi adottati per proteggere i cuscinetti in funzionamento, quello più semplice è rappresentato dall'applicazione di tenute reperibili in commercio, che lavorano per strisciamento, ed ove la guarnizione di gomma, o di materiale consimile, è sempre posta a contatto con l'albero in rotazione.

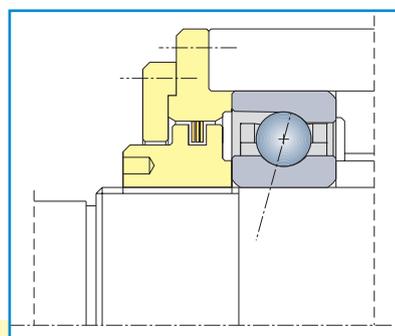
Questa soluzione, poiché genera attrito, è tuttavia da escludere nelle applicazioni ad alta velocità, dove la protezione dei cuscinetti viene ottenuta senza contatto diretto fra i componenti statici e quelli posti in rotazione.

In questi casi assume grande rilevanza la realizzazione di efficaci labirinti di protezione, il cui disegno varia in relazione allo spazio disponibile, al tipo di lubrificante ed al grado di inquinamento dell'ambiente operativo.

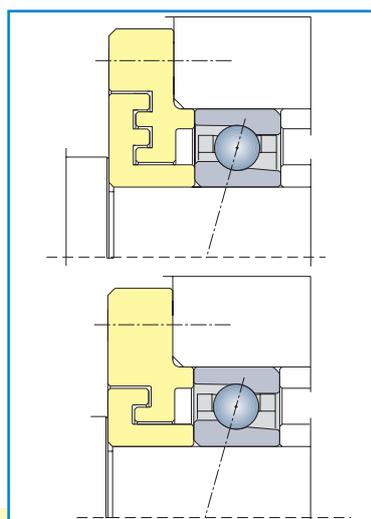
Le protezioni qui raffigurate sono assai diffuse nell'industria delle macchine utensili e sono valide anche per applicazioni in altri settori, qualora le condizioni operative siano simili.



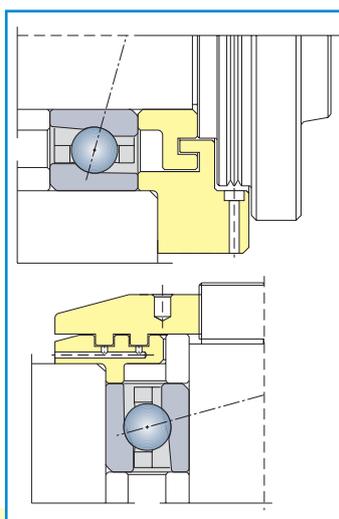
La protezione del cuscinetto è affidata alla semplice barriera creata dal coperchio, avente un'esigua luce con l'albero. È valida in ambienti moderatamente polverosi, ma è sconsigliabile in presenza di liquidi e viene spesso prevista in prossimità dei cuscinetti posteriori, lato comando.



Protezione leggermente più complessa, ma più efficace della precedente, per la presenza di una barriera interna supplementare, formata da anelli elastici reperibili in commercio, che si adattano alla sede statica. Gli anelli elastici non devono strisciare sui componenti ruotanti.

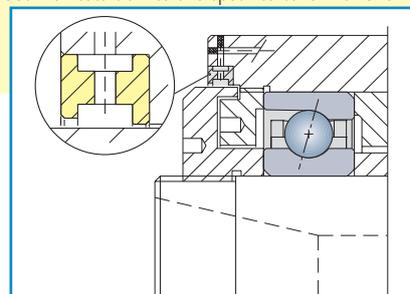


Protezioni con labirinto di tipo "singolo" e "multiplo", più elaborate delle precedenti, ma più efficaci, specialmente in presenza di liquido (getti) e di moderato pulviscolo.



In questi esempi i labirinti di tipo singolo e multiplo sono dotati di una canalizzazione di drenaggio per l'espulsione di eventuale liquido introdottosi per infiltrazione o formatosi per condensazione. Il coperchio superiore, rappresentato nella figura (asse verticale), funge da anello centrifugatore ed assicura una protezione supplementare contro le impurità che provengono dall'esterno.

La protezione qui rappresentata è molto efficace grazie alla presenza di una barriera d'aria in pressione ($p \approx 0,2 \text{ bar}$), nell'intercapedine del labirinto stesso. Questo sistema, particolarmente adatto nella lubrificazione a grasso, prevede l'invio di aria filtrata e deumidificata tramite una specifica canalizzazione.



Nelle applicazioni con lubrificazione ad olio, poiché i cuscinetti funzionano in ambiente pressurizzato, l'efficienza della protezione è meno imperativa di quando la lubrificazione è del tipo a grasso.

Anche con l'olio, tuttavia, è indispensabile evitare ogni forma di inquinamento, soprattutto se è previsto un circuito di ricircolazione.

I cuscinetti a sfere, di precisione, a contatto obliquo, SNFA, vengono prodotti, confezionati ed imballati in condizioni ambientali severamente controllate.

L'utilizzatore del cuscinetto può sfruttarne appieno le caratteristiche soltanto facendone uso appropriato ed attenendosi strettamente alle seguenti procedure:

- conservare i cuscinetti nell'imballaggio originale, in ambiente asciutto
 - pianificare le sequenze di montaggio
 - operare in ambiente idoneo
 - controllare l'esecuzione ed il grado di pulizia dei componenti attigui al cuscinetto
 - verificare la corrispondenza tra l'appellativo marcato sull'imballaggio del cuscinetto e quello indicato nel disegno dell'applicazione
 - aprire la confezione all'atto del montaggio
 - se la lubrificazione è a grasso, introdurre quest'ultimo nel cuscinetto in giusta quantità e distribuirlo con cura.
- Qualora si tratti di grasso sintetico, possono insorgere eventuali problemi di incompatibilità con l'olio protettivo del cuscinetto; pertanto, ove possibile, si deve ricorrere ad un accurato lavaggio ad opera di prodotti compatibili con l'ambiente ed il metallo, ed accuratamente filtrati; far seguire l'asciugatura immediata con getto d'aria compressa, ben essiccata e filtrata.
- eseguire il montaggio del cuscinetto seguendo le istruzioni accluse alla confezione (operazione da effettuarsi senza eccessivi forzamenti)
 - se necessario, preriscaldare il foro del cuscinetto oppure la sede dell'anello esterno.



Serraggio degli anelli dei cuscinetti

Gli anelli dei cuscinetti a sfere vengono bloccati assialmente nelle rispettive sedi con ghiera, o dischi con viti, che debbono avere le seguenti caratteristiche:

- elevata precisione geometrica;
- buona resistenza meccanica;
- irreversibilità (evitare l'allentamento in funzionamento).

La forza P_a di serraggio, ottenuta avvitando la ghiera oppure le viti del disco di chiusura, ha una rilevante importanza e deve essere tale da:

- scongiurare che sotto l'azione del carico di lavoro insorgano microspostamenti reciproci dei componenti ed evitare fenomeni di "fretting corrosion";
- assicurare un corretto posizionamento dei cuscinetti senza provocarne deformazioni;
- ridurre i fenomeni di fatica dei materiali.

Una corretta valutazione della forza P_a è resa problematica dall'incertezza dei parametri in gioco; tuttavia, a titolo orientativo, la forza di serraggio P_a , ed il conseguente valore della coppia C di serraggio per ghiera e viti, può essere calcolato con la regola seguente:

Calcolo della forza assiale di serraggio P_a

Un valore indicativo di P_a si ottiene usando la seguente formula:

$$P_a = F_s + (N_{cp} \cdot F_c) + P_r \quad \text{ove:}$$

P_a	Forza di serraggio (daN)
F_s	Forza assiale minima di chiusura (daN)
F_c	Forza assiale di calettamento (daN)
P_r	Precarico dei cuscinetti (daN)
N_{cp}	Numero dei cuscinetti di precarico

I valori di " F_s " e di " F_c " sono reperibili nella pagina seguente, in funzione della serie e del foro del cuscinetto. (Per un calcolo più accurato contattare il Servizio Tecnico-Commerciale SNFA).

Il valore del precarico P_r è indicato nelle tabelle dei dati dei cuscinetti, o, trattandosi di precarico speciale, nella designazione del cuscinetto.

Calcolo della coppia di serraggio

Valutato il valore della forza di serraggio assiale P_a , il valore della coppia di serraggio C (daN · mm) si calcola come segue:

$$C = K \cdot P_a \quad \text{per la ghiera}$$
$$C = K \cdot P_a / N_b \quad \text{per le viti del disco di bloccaggio}$$

K è funzione della filettatura secondo la tabella di pag. 66, ed N_b è il numero delle viti del disco di bloccaggio.

Nota: Il valore della coppia di serraggio C calcolato con il metodo su esposto è valido solo per:

- A) bloccaggio dei cuscinetti calettati con le tolleranze consigliate in questo catalogo;
- B) bloccaggio di soli cuscinetti e distanziali e non di altri componenti (es. ruote dentate);
- C) carico assiale massimo di lavoro inferiore a $2 \cdot P_a$;
- D) ghiera o viti di buona qualità, con la filettatura leggermente oleata.

Qualora non si verificano le suddette condizioni, gli uffici tecnici della SNFA potranno fornire la necessaria consulenza.

Calcolo della forza assiale di serraggio



d	SERIE SEA		SERIE SEB - VEB - HB		SERIE VEX - EX		SERIE E 200		SERIE BS 200 - BS (SPECIALI)	
	Fs	Fc	Fs	Fc	Fs	Fc	Fs	Fc	Fs	Fc

6					26	43				
7					31	41	49	55		
8			33	28	45	49	49	60		
9					60	49	65	60		
10	37	24	50	28	65	55	85	70		
12	43	21	60	28	70	47	100	70	120	75
15	55	18	65	28	100	49	95	60	140	75
17	60	16	75	28	100	49	130	70	190	80
20	95	25	130	40	160	65	230	85	260	95
25	120	21	160	34	180	50	240	75	320	95
30	140	18	190	30	250	55	340	80	480	95
35	160	21	260	44	330	75	550	120	650	130
40	180	18	310	50	410	75	600	120	800	140
45	240	19	380	48	450	75	700	120	900	130
50	290	18	310	38	500	65	600	100	1 000	130
55	330	23	410	43	600	80	750	110		
60	330	24	450	40	650	75	1 100	130	1 500	150
65	470	26	480	37	700	70	1 300	130		
70	500	24	650	50	850	80	1 400	130		
75	550	23	650	48	900	75	1 500	130	2 100	210
80	550	30	700	65	1 100	120	1 700	190		
85	750	55	900	90	1 100	140	1 900	250		
90	800	50	950	85	1 600	170	1 900	250		
95	800	48	1 000	85	1 400	150	2 700	300		
100	850	46	1 200	100	1 500	140	2 700	310		
105	900	45			1 700	160	3 100	330		
110	1100	60	1 300	90	2 000	180	3 700	360		
120	1200	60	1 600	120	2 200	190	4 500	430		
130	1700	90	2 300	160	2 700	270	4 800	450		
140	1600	80	2 400	150	2 900	250	5 900	500		
150	2100	100	2 700	180	3 400	270				
160			2 800	170	3 800	290				
170			3 000	160	5 100	350				
180			3 700	220	6 400	450				
190			3 900	260	6 800	500				
200			4 800	320	6 600	550				
220			5 200	290	7 900	600				
230			5 500	280						
240			5 700	270	8 600	550				
260			7 700	400						
280			8 300	400						

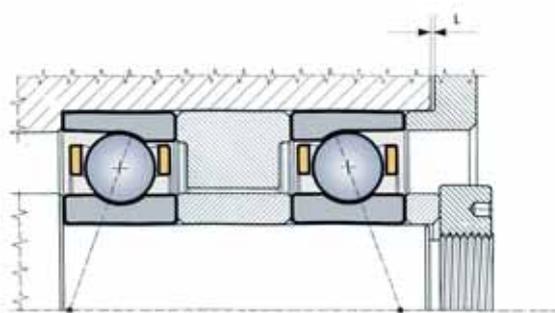
Chiusura con ghiera

- Serrare inizialmente, tramite chiave dinamometrica, la ghiera con una coppia circa 3 volte superiore a C (tale operazione è importante).
- Svitare la ghiera.
- Serrare nuovamente la ghiera con la coppia C prevista.
- Chiudere il dispositivo antisvitamento secondo le norme consigliate dal costruttore di tale particolare.

Chiusura con disco flangiato e viti

A serraggio avvenuto, con forza Pa, deve rimanere una luce residua fra il disco di bloccaggio e la facciata dell'alloggiamento (figura).

- Serrare le viti della flangia tramite chiave dinamometrica con una coppia 2-3 volte



superiore al valore consigliato C.

Tale operazione va eseguita gradualmente, serrando in maniera incrociata le viti del disco.

- Svitare le viti del disco.
- Serrare nuovamente le viti del disco con la coppia prevista C (gradualmente, in maniera incrociata).
- Misurare la luce residua "L" tra il disco e la superficie frontale dell'alloggiamento (vedere figura).
- Ridurre la profondità della flangia di una quota pari alla luce residua "L" o compensare la luce, con spessori.
- Serrare le viti gradualmente, in maniera incrociata, fino alla coppia MASSIMA consigliata dai costruttori di tali particolari.

È importante rammentare che la profondità della flangia ottenuta con la taratura su descritta è valida soltanto per il gruppo di cuscinetti che viene montato in quel particolare momento. In fase di revisione, montando nuovi cuscinetti, è necessario ripetere la taratura della profondità della flangia.

Distanziali

Una configurazione dei distanziali come in figura può essere consigliabile nei casi in cui i cuscinetti operino in assetto obliquo o verticale e si voglia garantire la permanenza del grasso in prossimità dei cuscinetti.

Coefficiente "K" per il calcolo della coppia di serraggio

FILETTATURA	FATTORE "K"		FILETTATURA	FATTORE "K"
	GHIERE	VITI		GHIERE
M 4		0.8	M 70	9.0
M 5		1.0	M 75	9.6
M 6		1.2	M 80	10.0
M 8		1.6	M 85	11.0
M 10	1.4	2.0	M 90	11.0
M 12	1.6	2.4	M 95	12.0
M 14	1.9	2.7	M 100	12.0
M 15	2.0	2.9	M 105	13.0
M 16	2.1	3.1	M 110	14.0
M 17	2.2		M 120	15.0
M 20	2.6		M 130	16.0
M 25	3.2		M 140	17.0
M 30	3.9		M 150	18.0
M 35	4.5		M 160	19.0
M 40	5.1		M 170	21.0
M 45	5.8		M 180	22.0
M 50	6.4		M 190	23.0
M 55	7.0		M 200	24.0
M 60	7.6		M 220 - 230	26.0
M 65	8.1		M 240	27.0
			M 260	29.0
			M 280	32.0

Nota: I valori di "K" della tabella sono validi per filettature con "passo fine".

Cuscinetti singoli e gruppi di cuscinetti

La denominazione del cuscinetto è marcata sulla facciata più ampia dell'anello esterno, secondo la codificazione in grassetto sotto indicata.

• Marchio:	SNFA
• Luogo di fabbricazione:	ITALY UK
• Tipo di cuscinetto: (serie di appartenenza)	SEA... SEB... EX... E2... HB...VEB... VEX... BS2...
• Sfere di materiale ceramico:	NS
• CHROMEX® 40	XN
• Classe di precisione:	
ABEC 5	5
ABEC 7	7
Precisione speciale	per es.: SQ
ABEC 7/9	7/9
ABEC 9	9
• Materiale della gabbia:	
Stratificato/tessil-resina	C
Poliammide 6.6	P
Ottone	L
Bronzo	B
Peek	K
Materiali speciali	X
• Centraggio gabbia:	
Su anello esterno	E
Su anello interno	I
Fori di lubrificazione sull'anello esterno	/H1
Fori di lubrificazione sull'anello esterno e O-Ring	/G1
Cuscinetti con schermi di protezione	/S
Fori di lubrificazione sull'anello esterno e O-Ring	/GH
• Angolo di contatto nominale:	
12°	0
15°	1
18°	2
25°	3
62°	62
• Tipo di accoppiamento:	
Tandem	T
Dorso a Dorso	DD
Tandem - Dorso a Dorso	TD
Faccia a Faccia	FF
Tandem - Faccia a Faccia	TF
Tandem - Dorso - Tandem	TDT
Tandem - Faccia - Tandem	TFT
Duplex Universale	DU
Universale	U
• Valore del precarico	
Leggero	L
Medio	M
Forte	F
Speciale	per es.: 250 daN (in caso di gioco valore in µm)



Marcatura dei cuscinetti

Nei gruppi di cuscinetti con dimensioni medie e grandi la denominazione completa, includente i codici delle varianti (angolo di contatto, grado di precisione, tipo di accoppiamento, ecc.) viene marcata su una sola unità.

Sui rimanenti cuscinetti del gruppo appare una marcatura parziale: tipo base, marchio e Paese di provenienza (es. SNFA - Italy).

Lo scostamento in micron dal valore nominale, sia del diametro foro, sia del diametro esterno di ogni cuscinetto, è marcato sulla superficie interessata, in

corrispondenza del punto dove l'errore di rotazione è massimo (massimo spessore radiale).

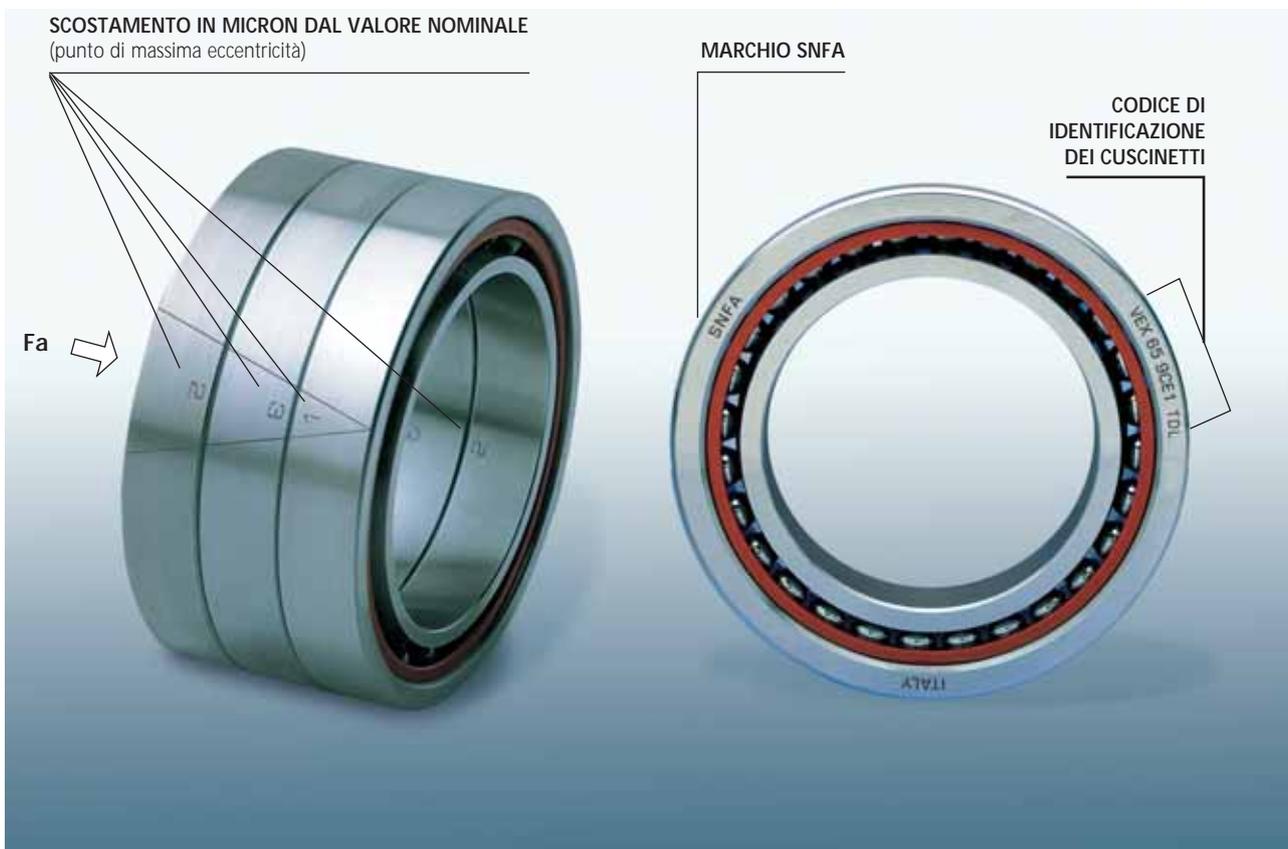
Posizionando questa zona a 180° rispetto a quella di massima eccentricità dell'albero o dell'alloggiamento, si ottiene un effetto compensativo, realizzandosi la massima concentricità dell'insieme.

Altri simboli che possono apparire sulle facciate degli anelli sono riferimenti di fabbricazione, es.: data di fabbricazione, numero di matricola, ecc.



La freccia "V" marcata sulla superficie diametrale esterna dei cuscinetti indica il verso della spinta applicabile agli anelli interni del "Gruppo" ed individua la posizione reciproca dei cuscinetti.

La freccia è situata nel punto di massima eccentricità (massimo spessore radiale) degli anelli esterni.



I cuscinetti appartenenti a gruppi possono essere confezionati singolarmente; in questo caso le scatole vengono raggruppate e unite tra loro.

Su ogni scatola viene affissa un'etichetta con le seguenti informazioni:

- **appellativo del cuscinetto**
- **denominazione del grasso** (se trattasi di cuscinetto ingrassato presso la SNFA)
- **data della confezione**
- **angolo di contatto effettivo** (solo cuscinetti universali)

CERAMIC

Quando i cuscinetti sono equipaggiati con sfere di materiale ceramico, la scatola viene contraddistinta da un'etichetta con la scritta "CERAMIC".

CHROMEX[®] 40

Anelli di CHROMEX[®] 40 e sfere di materiale ceramico.



Codice d'identificazione dei cuscinetti

