

ISTRUZIONI PER IL CORRETTO USO E MANUTENZIONE DEI CUSCINETTI



Leader nella produzione e nello sviluppo tecnologico di cuscinetti volventi, prodotti lineari ed automotive e di sistemi sterzanti, NSK è un'organizzazione presente in ogni continente – con stabilimenti di produzione, uffici vendite e centri tecnici pronti a soddisfare le esigenze dei clienti attraverso canali di comunicazione diretti, servizi in loco e consegne rapide.



NSK - l'azienda

NSK è stato il primo produttore giapponese di cuscinetti volventi. L'attività di produzione è iniziata nel 1916. Da allora, abbiamo costantemente esteso e migliorato non solo il nostro portafoglio di soluzioni, ma anche la gamma di servizi per svariati settori industriali. Sviluppiamo tecnologie innovative per cuscinetti volventi, sistemi lineari, componenti per il settore automobilistico e sistemi mecatronici. I nostri centri di ricerca e di produzione in Europa, America ed Asia lavorano in sinergia all'interno di

una rete tecnologica globale. Non ci concentriamo solo nello sviluppo di nuove tecnologie, ma anche nell'ottimizzazione costante della qualità – nell'ambito dell'intero processo.

Le nostre attività comprendono la progettazione dei prodotti, la simulazione delle applicazioni tramite svariati sistemi analitici, lo sviluppo di acciai e lubrificanti speciali.

Partnership basata sulla Fiducia – e Fiducia basata sulla Qualità

Qualità Totale NSK: La sinergia della rete globale dei Centri Tecnologici di NSK.
Ecco un esempio di come riusciamo a garantire elevati standard di qualità totale.

NSK è un'azienda leader che vanta una consolidata esperienza nello sviluppo di applicazioni brevettate per componenti di macchine. I nostri centri di ricerca situati in tutto il mondo non si dedicano solo allo sviluppo di tecnologie innovative, ma anche al miglioramento costante delle nostre tecnologie

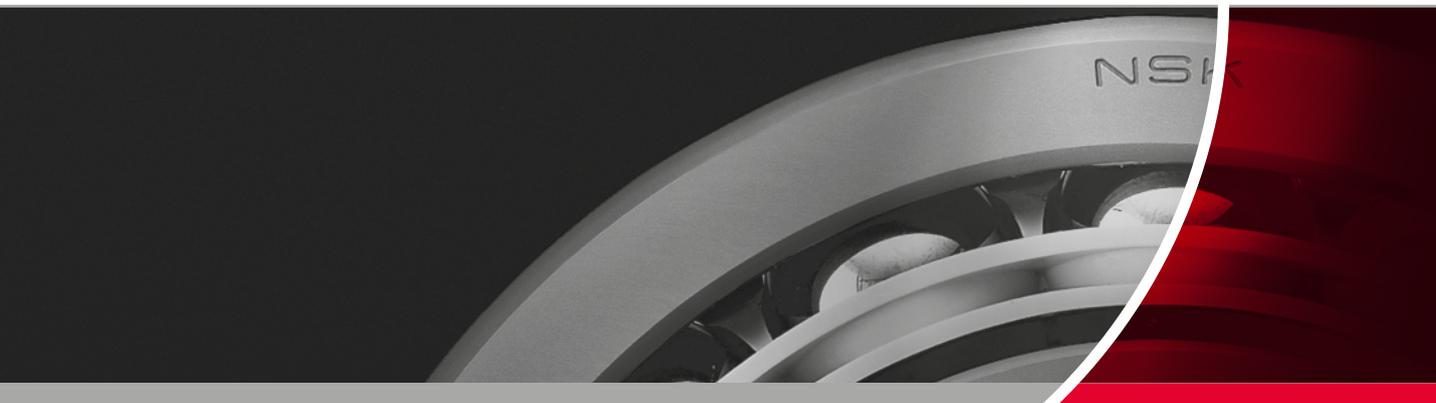
chiave – tribologia, ingegneria dei materiali, tecnologia di analisi e meccatronica.

**Per maggiori informazioni, visitate il
sito NSK www.nskeurope.it o
telefonateci al numero 02-99.519.1**



Istruzioni per il Corretto Uso e Manutenzione dei Cuscinetti





Indice

1. Precauzioni per la Corretta Manipolazione dei Cuscinetti	6
2. Montaggio	7
2.1 Accoppiamenti e gioco interno	7
2.2 Forza per calettamento mediante pressa e temperatura per calettamento a caldo.....	11
2.3 Calettamento.....	12
2.4 Montaggio dei cuscinetti con foro conico	14
2.5 Montaggio nell'alloggiamento	16
2.6 Montaggio con applicazione di precarico.....	20
2.7 Precauzioni generali per il montaggio	21
2.8 Lubrificazione	23
2.9 Prova di funzionamento	32
3. Manutenzione Preventiva.....	28
3.1 Procedure di manutenzione preventiva	28
3.2 Metodi di lubrificazione	29
3.3 Cedimenti dei cuscinetti.....	31
4. Smontaggio	37
4.1 Smontaggio degli anelli esterni.....	38
4.2 Smontaggio degli anelli interni	39
4.3 Pulizia	40
5. Stoccaggio.....	41
6. Appendici Tecniche	42

1. Precauzioni per la Corretta Manipolazione dei Cuscinetti

I cuscinetti volventi possono essere utilizzati in svariate condizioni operative, in presenza di carichi leggeri o elevati. Trattandosi di componenti meccanici di elevata precisione, devono essere manipolati correttamente; lo scopo per il quale vengono utilizzati è importante tanto quanto la corretta manipolazione.

Gli errori nel montaggio e nella manipolazione dei cuscinetti costituiscono le cause principali dei fenomeni di cedimento prematuro.

Di conseguenza, una manipolazione adeguata ed un corretto utilizzo del cuscinetto sono fondamentali.

Le precauzioni per la corretta manipolazione dei cuscinetti volventi sono riportate di seguito:

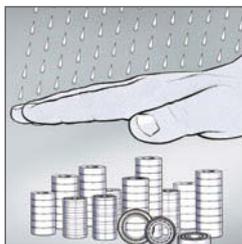
1. Mantenere puliti i cuscinetti ed i relativi componenti.
2. Verificare che le dimensioni e le finiture superficiali dei componenti siano corrette per l'utilizzo desiderato.
3. Tenere i cuscinetti lontano da sostanze nocive, proteggendoli da particelle estranee e dall'umidità.
4. Assicurarsi che i cuscinetti vengano utilizzati per lo scopo prestabilito ed in condizioni operative adeguate.
5. Utilizzare gli strumenti corretti per le operazioni di montaggio e smontaggio.
6. Evitare di provocare danni o deformare il cuscinetto durante il montaggio o lo smontaggio.
7. Utilizzare quantità di lubrificante adeguate.

8. Assicurarsi di avere le mani pulite quando si maneggia un cuscinetto, per evitare fenomeni di corrosione. Si consiglia di indossare guanti, se possibile

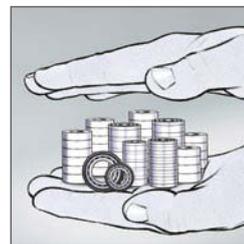
Nonostante non siano richiesti strumenti sofisticati per la manipolazione dei cuscinetti, è necessario utilizzare attrezzature adeguate a seconda delle applicazioni, per garantire operazioni efficienti ed ottime prestazioni. I tecnici che si occupano di manutenzione e di controlli preventivi devono conoscere a fondo i metodi di manipolazione e di montaggio. Proteggere i cuscinetti da ogni potenziale danneggiamento e garantire che svolgano le proprie funzioni nel modo più efficiente possibile. Sono questi gli obiettivi di una corretta manipolazione.



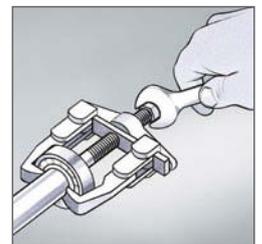
Mantenete puliti i cuscinetti e l'ambiente di lavoro!



Protegete i cuscinetti dalla corrosione!



Maneggiate i prodotti con cura!



Utilizzate attrezzature adeguate!

2. Montaggio

2.1 Accoppiamenti e Gioco Interno

I cuscinetti industriali con foro cilindrico vengono normalmente calettati sull'albero attraverso un accoppiamento forzato. E' quindi necessario applicare una forza elevata per calettare mediante pressa l'anello interno sull'albero. E' consigliabile utilizzare un certo grado di interferenza per il montaggio, dato che l'anello interno potrebbe espandersi, riducendo complessivamente il gioco interno in proporzione all'espansione dell'anello interno.

Nonostante il gioco interno dei cuscinetti a rulli conici possa essere registrato dopo le operazioni di montaggio, non è possibile fare lo stesso per i cuscinetti a sfere e per i cuscinetti radiali a rulli cilindrici. Perciò, i cuscinetti devono essere selezionati con un gioco interno adeguato in base al livello di interferenza. I cuscinetti vengono generalmente prodotti con un gioco interno normale che li rende idonei per condizioni di carico standard.

Se l'accoppiamento è molto forzato rispetto al gioco interno, è necessario selezionare cuscinetti con un gioco interno maggiorato (C3, C4, ecc.).

In generale, la diminuzione del gioco interno che deriva dall'accoppiamento tra l'anello interno e l'albero può essere espressa mediante le seguenti equazioni (1 e 2):

Per alberi torniti:

$$\delta_i = k \cdot \Delta d = k \cdot \frac{d}{d+3} \cdot \Delta d_a \dots \dots \dots (1)$$

Per alberi rettificati:

$$\delta_i = k \cdot \Delta d = k \cdot \frac{d}{d+2} \cdot \Delta d_a \dots \dots \dots (2)$$

Dove

- δ_i : Riduzione del gioco dovuta all'accoppiamento (mm)
- d : Interferenza effettiva (mm)
- d_a : Interferenza apparente per misurazione (mm)
- k : $d/D_i =$ da 0.70 a 0.90
- d : Diametro nominale del foro (mm)
- D_i : Diametro della pista di rotolamento dell'anello interno (mm)

2. Montaggio

2.1 Accoppiamenti e Gioco Interno

Table 1: Accoppiamenti Consigliati sull'Albero – Cuscinetti Radiali

Condizioni di carico	Esempi applicativi	Diametro dell'albero (mm)			Tolleranza	Note	
		Cuscinetti a sfere	Cuscinetti a rulli cilindrici ed a rulli conici	Cuscinetti orientabili a due corone di rulli			
Cuscinetti Radiali con Foro Cilindrico							
Carico rotante per l'anello esterno	Anello interno assialmente libero sull'albero	Ruote su assali stazionari (es. carrelli da forno)	Qualsiasi dimensione			g6	Utilizzare i valori g5 ed h5 solo dove si richiede precisione. La tolleranza f6 garantisce, nel caso di grossi cuscinetti, una maggiore libertà assiale sull'albero.
	Anello interno assialmente poco libero sull'albero	Pulegge tendicinghia, carrucole				h6	
Carico rotante per l'anello interno o carico di direzione indeterminata	Carico leggero o carico variabile ($\leq 0.06 Cr^{(1)}$)	Motori elettrici, pompe, ventilatori, trasportatori, macchine utensili	≤ 18	-	-	js5	È possibile utilizzare i valori k6 e m6 anziché k5 e m5 per i cuscinetti a rulli conici e per i cuscinetti a sfere a contatto obliquo, ad una corona, dove non è necessario considerare la riduzione di gioco dovuta all'accoppiamento con interferenza.
			18~100	≤ 40	-	js6 (j6)	
			100~200	40~140	-	k6	
	-	140~200	-	m6			
	Carichi normali (da 0.06 a 0.13 $Cr^{(1)}$)	Applicazioni generali, motori elettrici di medie e grandi dimensioni, turbine, pompe, cuscinetti di banco di motori endotermici, riduttori, macchine per la lavorazione del legno	≤ 18	-	-	js5~6 (j5~6)	
			18~100	≤ 40	≤ 40	k5~6	
			100~140	40~100	40~65	m5~6	
			140~200	100~140	65~100	m6	
			200~280	140~200	100~140	n6	
	Carico elevato o carico d'urto ($\geq 0.13 Cr^{(1)}$)	Boccole e motori di trazione per applicazioni ferrotorranviarie, veicoli industriali, macchinari di cantiere, frantoi.	-	200~400	140~280	p6	
-			-	280~500	r6		
-			-	> 500	r7		
-			50~140	50~100	n6		
Solo carichi assiali			Qualsiasi dimensione			js6 (j6)	-
Cuscinetti Radiali con Foro Conico e relativa Bussola							
Qualsiasi tipo di carico	Applicazioni generali, boccole per applicazioni ferrotorranviarie.		Qualsiasi dimensione			h9/IT5	I valori IT5 ed IT7 indicano la precisione geometrica che deve avere l'albero, ovvero gli scostamenti ammessi per cilindricità e circolarità.
	Alberi di trasmissione, mandrini per macchine per la lavorazione del legno					h10/IT7	
Accoppiamenti consigliati sull'Albero per Cuscinetti Assiali							
Carico assiale centrato	Mandrini di tornitrici	Qualsiasi dimensione			h6 o js6 (j6)		
Carichi combinati radiali ed assiali (cuscinetti assiali orientabili a rulli)	Carico stazionario per l'anello interno	Frantoi a cono	Qualsiasi dimensione		js6 (j6)		
	Carico rotante per l'anello interno o carico di direzione indeterminata	Raffinatori per cartiere, estrusori per materie plastiche	≥ 200		k6		
			200 ~ 400		m6		
		> 400		n6			

Note:

- (1) Cr rappresenta il coefficiente di carico dinamico del cuscinetto.
- (2) Per i valori di IT consultare la Tabella 3 delle Appendici Tecniche.
- (3) Le tolleranze consigliate in questa tabella sono valide soltanto per accoppiamenti con alberi pieni.

Tabella 2: Accoppiamenti Consigliati nell'Alloggiamento – Cuscinetti Radiali

Condizioni di carico		Esempi	Tolleranze	Spostamento assiale dell'anello esterno	Note	
Cuscinetti radiali con alloggiamento						
Alloggiamento monoblocco	Carico rotante per l'anello esterno	Carichi elevati sul cuscinetto in alloggiamenti con pareti sottili o carichi d'urto elevati	Mozi ruota (cuscinetti a rulli) Ruote per gru mobili	P7	Impossibile	-
		Carico normale o elevato	Mozi ruota (cuscinetti a sfere) Vagli vibranti	N7		
		Carico leggero o variabile	Rulli trasportatori, carrucole, pulegge tendicinghia	M7		
Alloggiamento monoblocco o in due metà	Carico di direzione indeterminata	Carichi d'urto elevati	Motori di trazione		Impossibile	Se non è richiesto lo spostamento assiale dell'anello esterno
		Carico normale o elevato	Pompe, cuscinetti di banco per motori endotermici, motori elettrici di medie e grandi dimensioni	K7		
		Carico normale o leggero		JS7 (J7)		
	Carico rotante per l'anello interno	Qualsiasi tipo di carico	Applicazioni generali, boccole per applicazioni ferrotranviarie	H7	Facilmente possibile	-
		Carico normale o leggero	Supporti ritti	H8		
		Aumento di temperatura	Cilindri essiccatori di cartiere	G7		
Alloggiamento monoblocco	Carico di direzione indeterminata	Elevata precisione di rotazione in presenza di carico normale o leggero	Cuscinetti a sfere posteriori di mandrini per rettificazione	JS6 (J6)	Possibile	Per carichi elevati si utilizza un accoppiamento con un valore di interferenza maggiore di K. Quando si richiede un elevato grado di precisione si consiglia di adottare un accoppiamento con tolleranze ristrette (grado 5 o 4)
			Cuscinetti "liberi" di compressori			
	Carico di direzione indeterminata	Cuscinetti a sfere anteriori di mandrini per rettificazione, Cuscinetti "bloccati" di compressori centrifughi ad alta velocità		K6	Impossibile	
	Carico rotante per l'anello esterno	Basso livello di rumorosità	Elettrodomestici	H6	Facilmente possibile	

Accoppiamenti consigliati nell'alloggiamento - Cuscinetti Assiali			
Carichi assiali puri	Cuscinetti assiali a sfere	Gioco radiale > 0.25 mm	Applicazioni generali
		H8	In caso di precisione richiesta
		Accoppiamento anello esterno - alloggiamento con gioco radiale	I carichi radiali sono sopportati da altri cuscinetti.
Carichi combinati radiali e assiali	Cuscinetti assiali orientabili a rulli	H7 o JS7 (J7)	-
		K7	Carichi normali
		M7	Carichi radiali di media entità

Note: (1) Le tolleranze consigliate in questa tabella sono valide solo per gli alloggiamenti in ghisa ed acciaio. Per alloggiamenti realizzati in lega leggera si consiglia l'uso di accoppiamenti con un valore di interferenza maggiore di quello indicato.
 (2) Per accoppiamenti speciali di astucci a rullini, consultare i cataloghi NSK dedicati.

2. Montaggio

2.1 Accoppiamenti e Gioco Interno

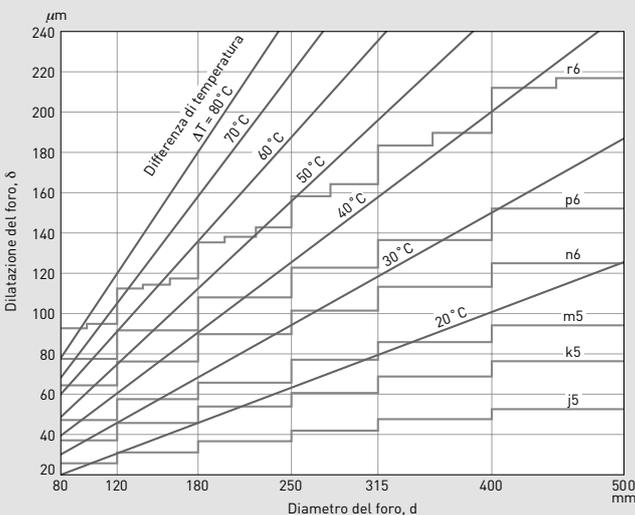
Tabella 3: Valori di μ

Esempio di applicazioni	Valore di μ (medio)
Calettamento con pressa dell'anello interno su albero cilindrico	0.120
Estrazione anello interno da albero cilindrico	0.180
Accoppiamento anello interno su albero conico	0.165
Estrazione anello interno da albero conico	0.135
Calettamento con pressa della bussola di trazione sull'area tra l'albero e il foro conico del cuscinetto	0.300
Estrazione della bussola di trazione dall'area tra l'albero e il foro conico del cuscinetto	0.330

Tabella 4: Valori di $(1-k^2)$

D/d	$(1 - k^2)$
1.5	0.25
2.0	0.41
2.5	0.52
3.0	0.61
3.5	0.67

Fig 1: Diagramma Temperatura-Dilatazione termica dell'anello interno di un cuscinetto



Ne consegue che la riduzione del gioco interno corrisponde a circa il 70 - 90% dell'interferenza. (Per i cuscinetti della Serie Diametro 4 si ha una riduzione inferiore del gioco interno). Inoltre, la differenza tra la temperatura dell'anello interno e quella dell'anello esterno varia generalmente da 5 a 10 °C. Se l'albero venisse riscaldato oppure se l'alloggiamento fosse raffreddato, la differenza di temperatura tra anello interno ed esterno risulterebbe superiore. La riduzione del gioco interno dovuta alla differenza di temperatura tra l'anello interno e quello esterno si può calcolare:

$$\delta_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot D_e \dots \dots \dots (3)$$

dove:

δ_t : Riduzione del gioco radiale per effetto differenza di temperatura tra l'anello interno e quello esterno (mm)

α : Coefficiente di dilatazione termica lineare dell'acciaio per cuscinetti $12.5 \cdot 10^{-6}$ (1/°C)

Δt : Differenza di temperatura tra anello interno ed esterno (°C)

D_e : Diametro della pista di rotolamento dell'anello esterno (mm)

$$\text{Cuscinetti a rulli} = \frac{1}{4} \cdot (3D + d)$$

$$\text{Cuscinetti a sfere} = \frac{1}{5} \cdot (4D + d)$$

d: Diametro nominale del foro (mm)

D: Diametro esterno nominale del cuscinetto (mm)

Nelle **Tablelle 1 e 2** (pagina 8 e 9) sono riportati alcuni esempi relativi agli accoppiamenti consigliati in base alle condizioni di carico ed all'ambiente operativo. I cuscinetti con gioco interno C3 o C4 (superiori rispetto al gioco interno normale) devono essere selezionati in base all'accoppiamento ed alle temperature di esercizio.

2. Montaggio

2.2 Forza di Calettamento mediante Pressa e Temperatura per Calettamento a Caldo

In fase di calettamento mediante pressa dell'anello interno sull'albero, la forza da applicare sull'anello interno in direzione assiale varia in base all'interferenza ed al diametro dell'albero. Ad ogni modo, la forza è direttamente proporzionale alla pressione applicata alla superficie accoppiata ed al coefficiente di attrito. Se viene richiesta una forza maggiore, è possibile dilatare l'anello interno riscaldandolo in bagno d'olio prima del montaggio, ma in alcuni casi si procede con il calettamento dell'anello mediante una pressa od un utensile simile mentre si misura il grado di interferenza con la stessa procedura usata per misurare la forza di calettamento.

$$p_m = \frac{1 - k^2}{2} \cdot \Delta d \cdot E \dots \dots \dots (4)$$

$$k = \mu p_m \cdot \pi \cdot d \cdot B$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot E \cdot \pi \cdot B \cdot (1 - k^2) \cdot \Delta d \dots (5)$$

dove:

k: d/D_i

d: Diametro nominale del foro (mm)

D_i : Diametro della pista di rotolamento dell'anello interno (mm)

B: Larghezza nominale dell'anello interno (mm)

Δd : Interferenza effettiva (mm)

E: Modulo di elasticità longitudinale = 208 000 MPa

μ : Coefficiente di attrito della superficie accoppiata

L'attrito sulla superficie accoppiata varia sostanzialmente a seconda delle condizioni superficiali. I valori elencati nella **Tabella 3** si riferiscono al fattore μ . Inoltre, il valore di $(1 - k^2)$ rispetto a ogni rapporto D/d (diametro esterno/diametro del foro) di un cuscinetto può essere espresso approssimativamente secondo i valori elencati nella **Tabella 4**. Questo è il metodo per calcolare la forza per il calettamento mediante pressa di un anello interno sull'albero. Tuttavia, in molti casi, risulta più semplice montare l'anello interno dopo averlo scaldato in bagno d'olio per dilatare il foro. Nonostante i valori possano

variare a seconda dell'interferenza e del diametro dell'albero, è consigliabile riscaldare il cuscinetto ad una temperatura pari o inferiore a 120°C, poiché la durezza del cuscinetto diminuisce a temperature superiori ai 150°C. Il diagramma in **Figura 1** illustra la temperatura di riscaldamento e la dilatazione del diametro del foro, al variare del diametro dell'albero, in corrispondenza dei valori massimi di interferenza per i vari accoppiamenti. In fase di raffreddamento, il cuscinetto non può più essere montato sull'albero con facilità. Perciò, il cuscinetto deve essere scaldato ad una temperatura superiore di 20 - 30°C rispetto alla temperatura minima richiesta per il montaggio.

Si consiglia di immergere il cuscinetto in un bagno d'olio caldo per 20 minuti. Ad esempio, se un cuscinetto con diametro del foro pari a 120 mm viene montato su un albero con tolleranza n6, l'interferenza massima è di 65 μm . In questo caso, la temperatura necessaria per il riscaldamento del cuscinetto è di +50°C, come indicato in **Figura 1**, ma la temperatura deve essere aumentata di 20 - 30°C per consentirne il montaggio corretto sull'albero. Di conseguenza, la temperatura deve essere portata a 70 - 80°C.

La forza per il calettamento mediante pressa e per il calettamento a caldo sono già state analizzate. Ad ogni modo, l'interferenza eccessiva talvolta può provocare sollecitazioni eccessive dell'anello interno, che potrebbero portare al danneggiamento o al cedimento del cuscinetto. La sollecitazione tangenziale sulla superficie accoppiata nel diametro esterno è la più rilevante ed il suo valore può essere definito attraverso l'equazione (6).

$$\sigma_{tmax} = p_m \cdot \frac{1 + k^2}{2} \dots \dots \dots (6)$$

dove:

p_m : Pressione superficiale (MPa)

k: d/D_i

Come regola generale, è consigliabile scegliere un accoppiamento con un valore massimo di sollecitazione tangenziale pari a 98 MPa o inferiore o, nei casi peggiori, 127 MPa o inferiore.

2. Montaggio

2.3 Calettamento

Generalmente l'anello interno è calettato sull'albero mediante l'ausilio di una pressa o tramite calettamento a caldo. Il calettamento mediante pressa richiede una forza notevole. La forza richiesta per tale operazione può essere determinata attraverso l'equazione sopraccitata (5). In fase di calettamento sull'albero, si possono verificare fenomeni di brinellatura sulle superfici delle piste di rotolamento (e su sfere o rulli) se la forza è applicata attraverso l'anello esterno. Inoltre, se l'urto coinvolge direttamente gli orletti di ritegno dell'anello interno, il cuscinetto a rulli potrebbe rompersi. Allo stesso modo, non bisogna applicare alcuna forza sulla gabbia. E' consigliabile prestare particolare attenzione durante le operazioni di calettamento mediante pressa. Poiché i cuscinetti di dimensioni medio-piccole sono generalmente montati con un'interferenza minima e richiedono uno sforzo ridotto in fase di calettamento, l'anello interno può essere accoppiato sull'albero direttamente a temperatura ambiente. Come indicato in **Figura 2**, picchiare delicatamente con una barra in ottone sulla superficie laterale dell'anello interno, quindi dare un colpo di martello per calettare l'anello interno sull'albero. A questo punto, l'estremità della barra, che è stata tagliata trasversalmente prima dell'operazione, appoggia sulla faccia laterale dell'anello interno, di modo che il lato esterno dell'anello non venga colpito e l'anello appoggi correttamente contro lo spallamento dell'albero. Evitate che eventuali residui della barra in ottone penetrino all'interno del cuscinetto. Un metodo più efficace consiste nell'utilizzo di una bussola (**Figura 3**) realizzata in acciaio dolce, che appoggia contro l'intera superficie laterale dell'anello interno. Utilizzando questo strumento, il calettamento può essere eseguito esercitando una pressione notevole, ma senza generare conseguenze dannose per il cuscinetto. Utilizzare una pressa, ad aria compressa o idraulica, facilita la spinta coassiale e consente di utilizzare la pressione adeguata per un montaggio corretto. Di conseguenza, questi strumenti sono utili dato che si può verificare il livello di interferenza in caso di accoppiamento forzato o libero. Per facilitare il calettamento si consiglia, prima di

procedere, di lubrificare le superfici a contatto (superficie interna dell'anello interno e superficie esterna dell'albero) con olio ad elevata viscosità, preferibilmente un lubrificante per alte pressioni. Inoltre, applicando una pasta lubrificante di bisolfuro di molibdeno (MoS_2) sulle superfici a contatto, si riducono i fenomeni di abrasione e si rendono più semplici le operazioni di smontaggio poiché si evita che il cuscinetto aderisca alla superficie accoppiata durante lo smontaggio.

Per i cuscinetti con accoppiamento forzato si consiglia di utilizzare il calettamento a caldo. La temperatura può essere determinata in base alle dimensioni specifiche del cuscinetto ed alla relativa interferenza (**Figura 1**). E' consigliabile utilizzare un olio minerale di alta qualità per questa procedura. Il bagno d'olio deve essere abbastanza grande da poter immergere cinque cuscinetti, ed il livello dell'olio deve essere tale da coprire completamente i cuscinetti. Nella **Figura 4**, sono illustrate le precauzioni da mettere in atto per quanto riguarda il riscaldamento a bagno d'olio. Assicuratevi di usare una rete metallica o uno strumento simile per sostenere il cuscinetto nell'olio evitando il contatto diretto con l'apparecchio per riscaldamento o con il fondo del contenitore. Per una manipolazione più semplice, posizionate una lunga barra al di sopra del bagno d'olio alla quale aggiungerete dei ganci per sostenere i cuscinetti. Per gli anelli interni con accoppiamento molto forzato utilizzati nei cuscinetti radiali a rulli cilindrici per laminatoi e nei cuscinetti per boccole ferroviarie, è necessario applicare una forza maggiore per il montaggio e lo smontaggio. Per tale motivo, i cuscinetti o gli alberi potrebbero subire danneggiamenti dovuti alle difficoltà operative in condizioni di esercizio normali. Per i cuscinetti radiali a rulli cilindrici i cui anelli interni sono sprovvisti di orletti di ritegno, è consigliabile utilizzare la corrente ad induzione per scaldare e dilatare gli anelli interni al fine di procedere rapidamente con le operazioni di montaggio e di smontaggio. NSK ha messo a punto un dispositivo di montaggio/smontaggio per riscaldamento sfruttando questo meccanismo, alimentato elettricamente con un generatore a corrente alternata aziendale ed indicato per un'ampia gamma di applicazioni industriali.

Inoltre NSK ha commercializzato anche un dispositivo per il riscaldamento dei cuscinetti, illustrato in **Figura 5**, concepito per un singolo cuscinetto ed ideale per i cuscinetti di piccole dimensioni. (Questi dispositivi potrebbero non essere disponibili in Italia).

Una volta accoppiato sull'albero, il cuscinetto si raffredda rapidamente e, dopo averlo riscaldato, il cuscinetto dilatato si restringe in direzione trasversale. In alcuni casi, per evitare il gioco tra l'anello interno e lo spallamento, tenere pressato il cuscinetto contro lo spallamento attraverso una ghiera o un altro strumento appropriato. Dopo aver montato il cuscinetto, lasciatelo raffreddare ed applicate il lubrificante sull'anello interno e sulle superfici esterne. A questo punto, assicurarsi che il cuscinetto sia ben pulito. Solitamente, dopo il montaggio, è necessario un certo gioco interno del cuscinetto, eccetto quando si applica un precarico. Quindi, verificare che il cuscinetto ruoti in maniera uniforme. Per i cuscinetti a rulli, il gioco interno può essere misurato mediante uno spessore. Poiché nei cuscinetti radiali a rulli cilindrici l'anello interno può essere separato dall'anello esterno, l'anello esterno deve essere rimosso in fase di montaggio dell'anello interno. Evitare di applicare una forza eccessiva durante l'accoppiamento dell'anello esterno con quello interno, che è solidale all'albero, dato che i rulli e le piste di rotolamento potrebbero subire danneggiamenti. Meglio non provocare questa tipologia di danno, poiché potrebbe aumentare la rumorosità del cuscinetto e portare al cedimento prematuro dello stesso. Inoltre, i cuscinetti a rulli cilindrici devono essere intercambiabili. Verificarne l'intercambiabilità (ossia che gli anelli interni possono essere accoppiati a caso con gli anelli esterni) prima del montaggio ed evitare di combinare tipologie non intercambiabili. Anche se non vi è alcun problema nel caso di calettamento sull'albero con accoppiamento libero, verificare che il gioco tra l'albero e l'anello interno sia minimo. Solitamente l'accoppiamento tra l'anello interno e l'albero di un cuscinetto assiale dovrebbe essere js6. Generalmente si lascia gioco interno residuo, eccetto per le macchine utensili, dove si prescrive precarico e si richiedono un livello di precisione più elevato.

Fig. 2: Montaggio dei cuscinetti

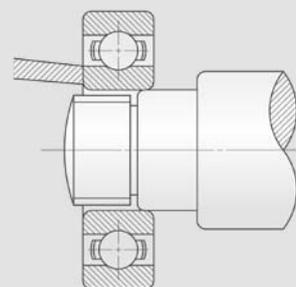


Fig. 3: Montaggio dei cuscinetti

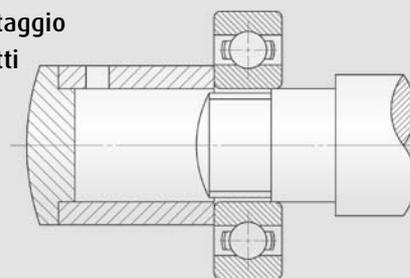


Fig. 4: Riscaldamento a bagno d'olio

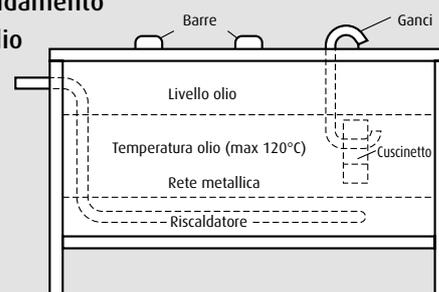


Fig. 5: Riscaldatore ad induzione per cuscinetti



2. Montaggio

2.4 Montaggio dei Cuscinetti con Foro Conico

I cuscinetti con foro conico possono essere montati direttamente su alberi conici oppure su alberi cilindrici mediante l'ausilio di bussole di trazione o di pressione. Il grado dell'accoppiamento viene determinato dalla riduzione del gioco interno e dall'entità di incuneamento della bussola (o dei cuscinetti). Per i cuscinetti radiali orientabili a rulli, la riduzione del gioco radiale durante il montaggio viene generalmente misurata attraverso uno spessimetro. I valori relativi alla riduzione del gioco ed al gioco residuo (minimo ammissibile) dopo il montaggio sono riportati nella **Tabella 5**.

I cuscinetti orientabili a rulli con foro conico vengono prodotti tenendo in considerazione la riduzione del gioco radiale come mostrato nella **Tabella 5**. Quando si applica un carico molto elevato, è consigliabile aumentare la riduzione del gioco radiale di circa il 20% rispetto ai valori corrispondenti riportati in **Tabella 5**. In alcuni casi viene misurato direttamente il movimento assiale (entità di incuneamento) dell'anello interno o della bussola di trazione, invece della riduzione del gioco radiale. Ad ogni modo, dato che risulta difficile determinare la posizione iniziale di misurazione, è più indicato valutare direttamente la riduzione del gioco radiale.

Quando non è possibile utilizzare uno spessimetro per via del gioco radiale ridotto dopo il montaggio di cuscinetti a rulli di piccole dimensioni, è necessario misurare il movimento assiale invece della riduzione del gioco radiale. Il movimento assiale è il fattore da considerare anche per i cuscinetti di grandi dimensioni montati per calettamento a caldo in bagno d'olio. In questo caso, il cuscinetto deve essere montato sull'albero prima che venga scaldato e deve essere misurata questa posizione iniziale; a questo punto è possibile determinare la posizione finale di montaggio attraverso lo spostamento assiale dalla posizione iniziale dopo che il cuscinetto è stato scaldato. A questo punto, la riduzione del gioco radiale deve essere confermata misurando il gioco iniziale prima del riscaldamento e il gioco finale dopo il raffreddamento.

Tabella 5: Montaggio di Cuscinetti Radiali Orientabili a Rulli con Foro Conico (Unità: mm)

Diametro foro cuscinetto d		Riduzione del gioco radiale		Spostamento assiale				Gioco residuo minimo ammissibile	
				Conicità 1:12		Conicità 1:30			
Oltre	fino a	min	max	min	max	min	max	CN	C3
30	40	0.025	0.030	0.40	0.45	—	—	0.010	0.025
40	50	0.030	0.035	0.45	0.55	—	—	0.015	0.030
50	65	0.030	0.035	0.45	0.55	—	—	0.025	0.035
65	80	0.040	0.045	0.60	0.70	—	—	0.030	0.040
80	100	0.045	0.055	0.70	0.85	1.75	2.15	0.035	0.050
100	120	0.050	0.060	0.75	0.90	1.90	2.25	0.045	0.065
120	140	0.060	0.070	0.90	1.10	2.25	2.75	0.055	0.080
140	160	0.065	0.080	1.00	1.30	2.50	3.25	0.060	0.100
160	180	0.070	0.090	1.10	1.40	2.75	3.50	0.070	0.110
180	200	0.080	0.100	1.30	1.60	3.25	4.00	0.070	0.110
200	225	0.090	0.110	1.40	1.70	3.50	4.25	0.080	0.130
225	250	0.100	0.120	1.60	1.90	4.00	4.75	0.090	0.140
250	280	0.110	0.140	1.70	2.20	4.25	5.50	0.100	0.150
280	315	0.120	0.150	1.90	2.40	4.75	6.00	0.110	0.160
315	355	0.140	0.170	2.20	2.70	5.50	6.75	0.120	0.180
355	400	0.150	0.190	2.40	3.00	6.00	7.50	0.130	0.200
400	450	0.170	0.210	2.70	3.30	6.75	8.25	0.140	0.220
450	500	0.190	0.240	3.00	3.70	7.50	9.25	0.160	0.240
500	560	0.210	0.270	3.40	4.30	8.50	11.00	0.170	0.270
560	630	0.230	0.300	3.70	4.80	9.25	12.00	0.200	0.310
630	710	0.260	0.330	4.20	5.30	10.50	13.00	0.220	0.330
710	800	0.280	0.370	4.50	5.90	11.50	15.00	0.240	0.390
800	900	0.310	0.410	5.00	6.60	12.50	16.50	0.280	0.430
900	1000	0.340	0.460	5.50	7.40	14.00	18.50	0.310	0.470
1000	1120	0.370	0.500	5.90	8.00	15.00	20.00	0.360	0.530

Note: I valori relativi alla riduzione del gioco interno radiale si riferiscono a cuscinetti con gioco normale.
Per i cuscinetti con gioco C3 si devono utilizzare i valori massimi di riduzione del gioco radiale elencati in tabella.

2. Montaggio

2.5 Montaggio nell'Alloggiamento

I cuscinetti vengono generalmente montati nell'alloggiamento dopo essere stati accoppiati sull'albero. I metodi di montaggio e le precauzioni variano a seconda di fattori quali le dimensioni dell'alloggiamento, l'accoppiamento e la configurazione degli alberi orizzontali e verticali. Le informazioni generali fornite in questa sezione valgono per tutte le applicazioni. L'accoppiamento tra l'alloggiamento e l'anello esterno è determinato in base alle condizioni di carico, alla rugosità della superficie, alla durezza del materiale, ecc. Ad ogni modo, se l'accoppiamento utilizzato è più forzato di quello indicato, è necessario effettuare modifiche manuali attraverso operazioni specifiche, quali rettifiche. Se l'unico metodo per allargare l'alloggiamento è utilizzare un raschiatoio, evitare che il cuscinetto si deformi, assumendo una forma ovale o inclinata.

In caso di alloggiamento in due metà, non inserire distanziali o spessori sottili tra la parte superiore ed inferiore per aumentare il gioco dell'accoppiamento. In realtà, quando l'accoppiamento risulta troppo libero, evitare assolutamente l'inserimento di un foglio di carta o di fogli metallici nell'area tra l'alloggiamento e l'anello esterno. Solo in condizioni di necessità, l'alloggiamento può essere modificato rivestendo i piani interni o inserendo un rivestimento isolante in modo che le dimensioni dell'alloggiamento siano corrette e siano conformi ai requisiti desiderati.

In fase di montaggio dell'alloggiamento, evitare che le tenute a labirinto ed altri componenti sfreghino tra loro. Adottare misure preventive per evitare di applicare un carico eccessivo o un carico eccentrico, che potrebbero essere provocati da un montaggio non corretto sulla base o da giunti difettosi. Selezionare solo uno dei cuscinetti da utilizzare come supporto bloccato per fissare e mantenere la posizione corretta in direzione assiale del cuscinetto montato. E' necessario scegliere un cuscinetto in supporto bloccato in grado di sostenere carichi radiali ed assiali.

I cuscinetti in supporto libero, invece, possono sostenere solo carichi radiali per ovviare all'espansione e alla contrazione dell'albero in seguito ai cambiamenti di temperatura. Devono essere utilizzati per regolare la posizione di montaggio in direzione assiale. Se le misure atte a scaricare i fenomeni di contrazione o allungamento dell'albero sono insufficienti, sui cuscinetti si scaricano carichi assiali anomali con conseguente cedimento prematuro degli stessi. I cuscinetti radiali a rulli cilindrici (versione NU o N), dove l'anello interno può essere separato dall'anello esterno, si spostano in direzione assiale e sono particolarmente indicati come supporto libero. L'utilizzo di questa tipologia di cuscinetti semplifica le operazioni di montaggio e di smontaggio.

Se si utilizzano cuscinetti non separabili come supporto libero, l'anello esterno e l'alloggiamento devono avere un accoppiamento libero per consentire l'espansione dell'albero e dei cuscinetti durante il funzionamento. E' possibile posizionarli lontano dalla superficie accoppiata tra l'anello interno e l'albero. Se la distanza tra i cuscinetti risulti ridotta e l'effetto dell'allungamento o della contrazione dell'albero trascurabile, si preferisce adottare una coppia di cuscinetti a sfere a contatto obliquo oppure di cuscinetti a rulli conici, in grado di sostenere un carico assiale in una sola direzione, montandoli con disposizione "faccia a faccia" o "dorso a dorso". Il gioco assiale (movimento in direzione assiale) deve essere

regolato attraverso l'utilizzo di una ghiera o di uno spessore. Durante il montaggio di un anello esterno in accoppiamento forzato, utilizzare una bussola realizzata in acciaio dolce, come indicato in **Figura 7**. Se gli anelli esterno ed interno sono accoppiati forzatamente e se l'anello interno è già stato calettato sull'albero o l'anello esterno è già stato montato nell'alloggiamento, utilizzare gli strumenti come mostrato in **Figura 8 e 9** per evitare eventuali impatti sull'anello del cuscinetto attraverso i corpi volventi. Inoltre, assicurarsi di adottare il metodo adeguato per evitare di applicare carichi d'urto sul cuscinetto durante il montaggio di un giunto, ad esempio, dopo aver calettato il cuscinetto sull'albero con il suo alloggiamento.

Fig. 6: Supporto bloccato (sinistra) e supporto libero (destra)

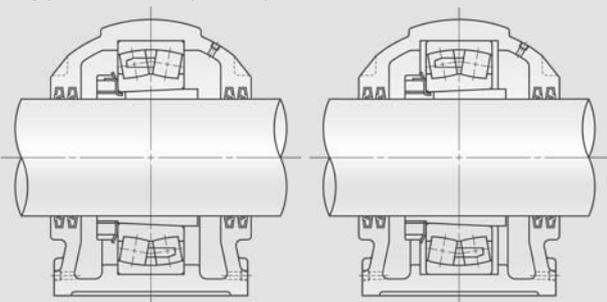


Fig. 7: Montaggio forzato dell'anello esterno

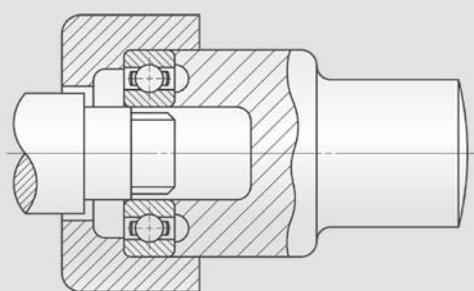


Fig. 8: Montaggio forzato dell'anello esterno

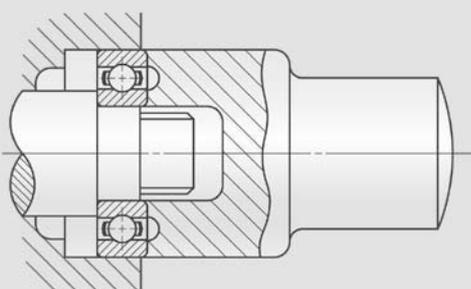
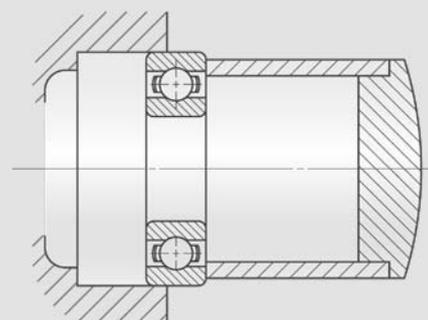


Fig. 9: Montaggio forzato dell'anello interno



2. Montaggio

2.6 Montaggio con Applicazione di Precarico

Fig. 10: Montaggio con precarico mediante viti sul coperchio

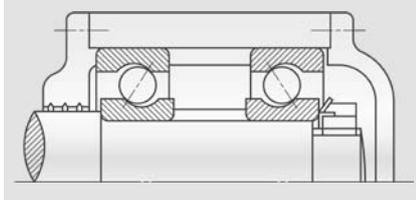


Fig. 11: Montaggio con precarico a molla

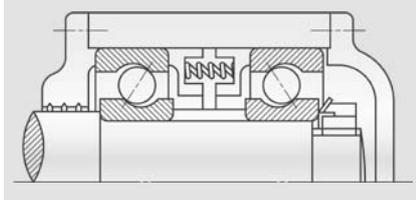


Fig. 12: Montaggio con precarico mediante distanziale (lato libero)

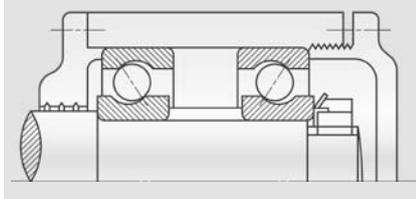
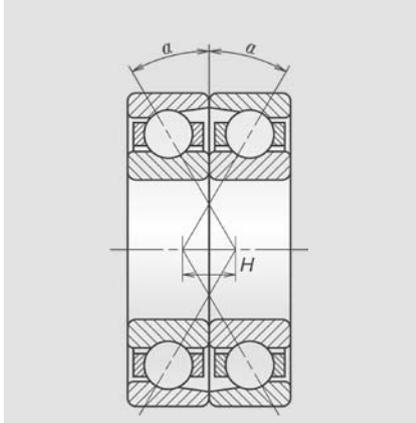


Fig. 13: Montaggio "faccia a faccia"



Precarico dei Cuscinetti Radiali

Durante il montaggio di cuscinetti a sfere a contatto obliquo o cuscinetti a rulli conici si applica un precarico, la cui entità dipende dalle specifiche condizioni di esercizio. Il precarico si utilizza per regolare il montaggio ed il carico interno che ne deriva viene applicato (in anticipo rispetto al funzionamento) sulle sfere o sui rulli mentre all'esterno (o nelle condizioni dove gli elementi volventi mantengono la propria posizione durante il montaggio) non viene applicato alcun carico. Lo scopo del precarico è di ridurre al minimo la flessione dell'albero in direzione radiale e/o assiale in fase operativa entro i valori minimi, aumentandone quindi la rigidità. Applicare un precarico è un metodo efficace per limitare i fenomeni di flessione. Tuttavia, in nessuna circostanza è consentito applicare un precarico di entità superiore al necessario. Per ovviare ad eventuali anomalie è opportuno osservare con cura il valore del precarico e il metodo di applicazione, prendendo in esame le condizioni di esercizio e la finalità del precarico stesso. In **Figura 10** gli anelli esterni di due cuscinetti radiali rigidi a sfere vengono montati dopo l'applicazione di un precarico eseguito attraverso l'utilizzo di viti sul coperchio. Nonostante questo metodo risulti semplice, senza un operatore qualificato e senza la giusta attenzione non è possibile ottenere risultati soddisfacenti. Inoltre, è difficile misurare con precisione il valore di precarico utilizzando tale metodo. Perciò, la coppia resistente all'avviamento e il valore del precarico di un cuscinetto devono già essere noti. Minore è il carico che un cuscinetto dovrà sostenere in fase

operativa, minore sarà il precarico necessario per il montaggio. Esiste un altro metodo per applicare il precarico ad un cuscinetto: utilizzare una molla come illustrato in **Figura 11**. Con questo metodo, le dimensioni e la compressione della molla possono essere determinate dal valore di precarico. Diverse molle di dimensioni adeguate sono posizionate sulla circonferenza. In molti casi, il precarico a molla viene utilizzato per diminuire i fenomeni di flessione radiale. Come indicato in **Figura 12**, un altro metodo eccellente consiste nell'applicare il precarico inserendo distanziali sia tra gli anelli interni che tra gli anelli esterni. Questo metodo agevola le procedure di montaggio e garantisce l'applicazione del precarico corretto. Uno dei distanziali è leggermente più lungo rispetto all'altro, e le dimensioni dei cuscinetti differiscono in maniera lieve. Per questo motivo, dato che non possiamo affermare che distanziali con lunghezze simili possono essere applicati a tutti i cuscinetti, la lunghezza specifica deve essere determinata caso per caso, prima del montaggio. I cuscinetti ad una corona di sfere a contatto obliquo non si utilizzano singolarmente, ma vengono sempre montati a coppie. Possono essere montati in disposizione "faccia a faccia" (DF), come illustrato in **Figura 13**, oppure "dorso a dorso" (DB), come indicato in **Figura 14**. Nel caso rappresentato in **Figura 15** non è stato applicato nessun precarico assiale, ed i salti facciali (in direzione assiale) degli anelli interni o degli anelli esterni che conferiranno il precarico sono rispettivamente "a" e "b".

Il precarico T1 si genererà all'interno della coppia di cuscinetti solamente se si annulleranno i salti facciali "a" e "b" attraverso la regolazione della ghiera. Solitamente, "a" equivale a "b" nei cuscinetti dello stesso tipo. In ogni caso, se "a" e "b" sono stati progettati e realizzati per condizioni di utilizzo specifiche, il montaggio può essere eseguito semplicemente stringendo e fissando la ghiera. La relazione tra il carico assiale e lo spostamento in direzione assiale di un cuscinetto ad una corona di sfere a contatto obliquo può essere espresso in maniera approssimativa attraverso l'equazione (7) riportata di seguito:

$$\delta_a = \frac{4.4 \cdot 10^{-4}}{\sin \alpha} \cdot \left(\frac{Q^2}{D_a} \right) \dots \dots \dots (7)$$

dove:

- δ_a : Cedimento in direzione assiale (mm)
- Q: Carico applicato ad una singola sfera (N)
- α : angolo di contatto
- D_a : Diametro della sfera (mm)

Se T è il carico assiale da applicare all'intero cuscinetto, allora il carico Q, applicato ad una singola sfera su un totale di Z sfere del cuscinetto, può essere espresso mediante la seguente equazione (8):

$$Q = \frac{T}{Z \sin \alpha} \dots \dots \dots (8)$$

Perciò, la flessione in direzione assiale a, si può definire attraverso la seguente equazione:

$$\delta_a = C_a \cdot T \dots \dots \dots (9)$$

C_a è una costante determinata a seconda della tipologia e delle dimensioni del cuscinetto. In **Figura 16**, i giochi interni ed i salti facciali "a" e "b" tra i cuscinetti possono essere espressi dalla flessione assiale (δ_a). All'aumentare

della forza di serraggio, i salti facciali "a" e "b" diminuiscono fino ad annullarsi ed il precarico diventa quindi T_1 . Se il carico assiale esterno, T è applicato al cuscinetto A, quest'ultimo subirà un'ulteriore flessione assiale δ_i . La flessione del cuscinetto B diminuirà, invece, dello stesso valore. Le flessioni dei cuscinetti A e B diventeranno: $\delta_a A = \delta_a + \delta_i$, $\delta_a B = \delta_a - \delta_i$

Per essere più precisi, la forza applicata al cuscinetto A (precarico incluso) è pari a $(T_1 + T - G)$, mentre quella applicata al cuscinetto B è $(T_1 - G)$.

Se solo δ_i si flette in presenza di un carico assiale T, senza che alcun precarico sia stato applicato al cuscinetto, la diminuzione della flessione del cuscinetto dal precarico può essere espressa come $(\delta_i - \delta_a)$. Nel caso in cui $G = T_1$, oppure $\delta_i = \delta_a$, il cuscinetto B non è sottoposto ad alcun carico (situazione di distacco), e la flessione $\delta_a A$ del cuscinetto A diventa: $\delta_a A = 2\delta_a = 2C_a T = C_a(2T) \dots \dots (10)$

Inoltre, la forza applicata al cuscinetto A equivale a $G = T_1$. Da questo si ricava la seguente equazione:

$$T_1 + (T - G) = G + (T - G) = T \dots \dots (11)$$

Dalle equazioni (9), (10) e (11), si ricava la seguente uguaglianza:

$$\delta_a A = C_a \cdot T = C_a \cdot (2^{3/2} \cdot T_1) \dots \dots (12)$$

Cioè $T = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot T_1$

Quando viene aggiunto il precarico, il cuscinetto A necessita di una capacità di carico in grado di sostenere il carico radiale $(T_1 + T - G)$, in relazione alla durata ed alle velocità ammissibili.

Fig. 14: Montaggio "Dorso a dorso"

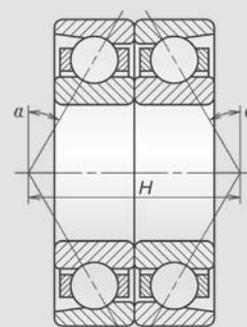


Fig. 15: Entità del precarico

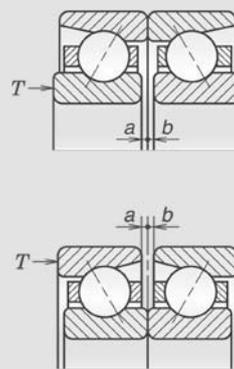
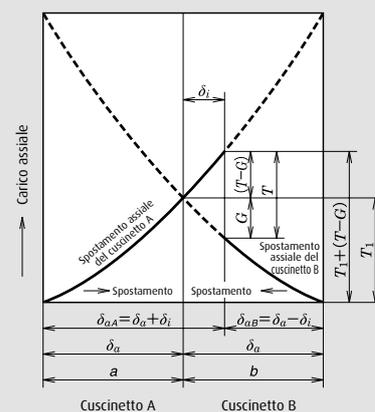


Fig. 16: Cedimento assiale in caso di precarico



2. Montaggio

2.6 Montaggio con Applicazione di Precarico

Fig. 17: Precarico assiale nei cuscinetti assiali a sfere (coperchio con viti di regolazione)

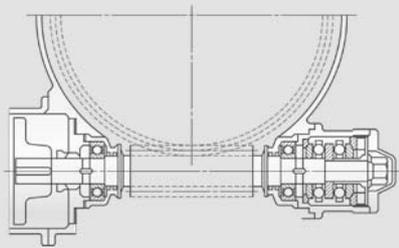


Fig. 18: Precarico nei cuscinetti assiali a sfere (con molla)

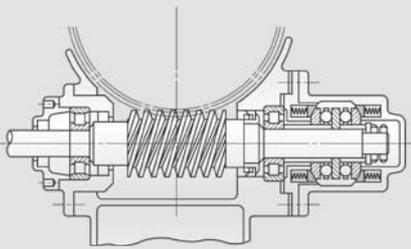
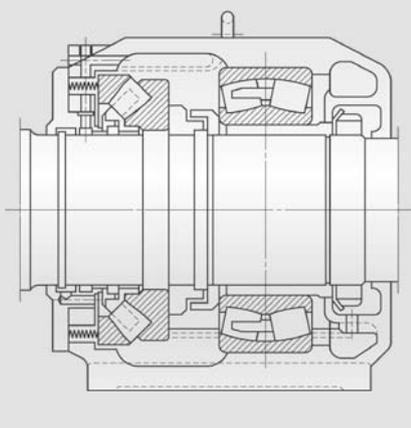


Fig. 19: Precarico nei cuscinetti assiali a sfere (con molla)



Precarico dei Cuscinetti Assiali

È necessario prestare particolare attenzione per evitare che i corpi volventi o gli anelli di cuscinetti assiali a sfere o di cuscinetti assiali orientabili a rulli fuoriescano dalla posizione originaria durante il montaggio su albero orizzontale. Questo è particolarmente importante per i cuscinetti assiali a sfere a doppio effetto o per coppie di cuscinetti assiali a sfere a semplice effetto montati su albero orizzontale. In altri termini, se le sfere posizionate sul lato dove non viene applicato il precarico, e le gabbie e/o gli anelli del cuscinetto sono spostati verso il basso o semplicemente fuori centro e se il carico è applicato alla corona dei cuscinetti, è inevitabile che si verifichino danneggiamenti o cedimenti dovuti alla generazione di calore. Per questo motivo, è necessario applicare un precarico in direzione assiale come misura preventiva. Il disallineamento delle sfere, delle gabbie o degli anelli dei cuscinetti genera un'applicazione disomogenea del carico sulle sfere, che provoca danni dovuti a fenomeni di slittamento e, di conseguenza, generazione di calore.

Come nel caso dei cuscinetti radiali, il precarico nei cuscinetti assiali può essere applicato attraverso un coperchio con viti, una piastra di regolazione per regolare il movimento assiale o una molla. Le **Figure 17 e 18** mostrano alcuni esempi di tali applicazioni. Ad ogni modo, dato che il primo metodo richiede esperienza, soprattutto per effettuare la regolazione, l'ultimo metodo, costituito dall'utilizzo della molla, è più semplice e garantisce risultati

migliori. Questo metodo di precarico può essere adottato non solo per i cuscinetti assiali a sfere, ma anche per i cuscinetti assiali a rulli, come indicato nella **Figura 19**. I corpi volventi dei suddetti cuscinetti che vengono utilizzati per applicazioni soggette a velocità di rotazione elevate, tendono a essere sottoposti ad un momento giroscopico e ad un'azione centrifuga verso l'esterno, producendo delle abrasioni o strisciamenti sulle piste di rotolamento. Per ovviare a questi fenomeni, si consiglia di applicare ai cuscinetti un carico assiale minimo $F_a \text{ min}$ corrispondente al valore massimo ricavato dalle equazioni (13) e (14) sotto riportate.

$$F_a \text{ min} = \frac{C_{oa}}{100} \cdot \left(\frac{n}{N_{max}} \right)^2 \dots \dots \dots (13)$$

$$F_a \text{ min} = \frac{C_{oa}}{1000} \dots \dots \dots (14)$$

dove:

- $F_a \text{ min}$:** Carico assiale minimo (N)
- C_{oa} :** Coefficiente di carico statico (N)
- n :** Velocità (min-1)
- N_{max} :** Velocità di riferimento per lubrificazione ad olio (min-1)

Quando i cuscinetti assiali orientabili a rulli vengono utilizzati per applicazioni soggette ad elevate velocità di rotazione, i corpi volventi tendono ad essere centrifugati verso l'esterno, producendo abrasioni o strisciamenti sulle piste di rotolamento. Per evitare questi fenomeni, si consiglia di applicare ai cuscinetti un carico assiale minimo $F_a \text{ min}$ che si ricava dalla seguente equazione:

$$F_a \text{ min} = \frac{C_{oa}}{1000} \dots \dots \dots (15)$$

2. Montaggio

2.7 Precauzioni Generali per il Montaggio

Per fissare un cuscinetto radiale all'albero, è necessario posizionarlo contro gli spallamenti ed il distanziale e, dopo aver trovato la posizione corretta, stringere la ghiera dell'albero. Le estremità degli spallamenti dell'albero e del distanziale devono essere perpendicolari all'asse dell'albero. Se i componenti non sono perpendicolari, la precisione di rotazione del cuscinetto e le prestazioni del corpo volvente vengono compromesse, aumentando la generazione di calore e provocando un cedimento per fatica prematuro. È necessario garantire un contatto adeguato tra lo spallamento dell'alloggiamento e la parte laterale degli anelli esterni. Dato che l'altezza dello spallamento dell'albero ed i diametri esterni dei distanziali o l'altezza dello spallamento dell'alloggiamento sono strettamente collegati allo smontaggio dei cuscinetti, le dimensioni base sono specificate negli standard JIS e nei nostri cataloghi di riferimento.

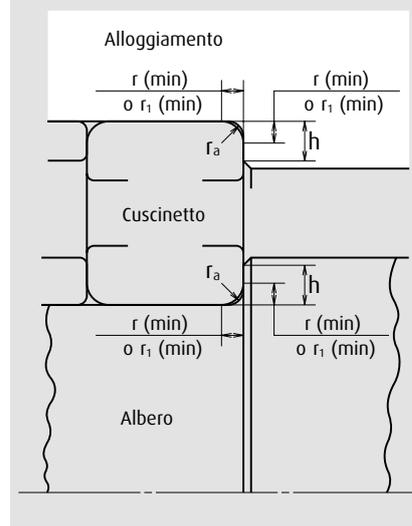
Oltre all'altezza dello spallamento, un altro elemento importante da considerare è il raggio di raccordo dell'albero e dell'alloggiamento. In **Tabella 6** sono riportati i valori relativi all'altezza dello spallamento ed al raggio di raccordo. Le ralle sferiche dei cuscinetti assiali a sfere vengono montate generalmente con un gioco interno tra la ralla e l'alloggiamento, ad eccezione degli alberi principali ad elevata precisione delle macchine utensili. Nei cuscinetti assiali a sfere con piano di appoggio normale, la perpendicolarità tra gli alberi e lo spallamento dell'alloggiamento deve essere ottenuta con un elevato livello di precisione,

come descritto precedentemente. Il montaggio deve essere eseguito con la massima attenzione anche per quanto riguarda l'eccentricità.

Nonostante possano essere richiesti cuscinetti di super precisione per garantire elevate prestazioni ed affidabilità di una macchina, anche la precisione degli alberi, degli alloggiamenti e di tutti i relativi componenti deve essere migliorata in maniera coerente; la mancanza di precisione di determinati componenti costituisce una delle cause principali di cedimento del cuscinetto.

Inoltre, come precauzione generale per garantire un montaggio corretto, è importante mantenere sempre puliti i cuscinetti ed i relativi componenti. Questo significa che devono essere manipolati in un ambiente privo di polvere, contaminanti e di umidità, utilizzando un olio di pulizia specifico ed adottando misure adeguate per prevenire fenomeni di corrosione o ruggine. Controllare ogni singolo componente prima del montaggio. Ispezionare le tenute e controllare le dimensioni, le forme, l'aspetto e la precisione dell'albero e dell'alloggiamento. Durante l'ispezione, evitare che il cuscinetto venga a contatto con il sudore delle mani o con particelle estranee presenti nell'ambiente di esercizio. Le operazioni di accoppiamento e la misurazione del gioco interno sono già state descritte nei capitoli precedenti. Prima di procedere con il montaggio, pianificare tutte le operazioni, e tenere una lista aggiornata e dettagliata di tutte le operazioni eseguite.

Fig. 20: Dimensioni del raccordo del cuscinetto (r o r_1), del raggio di raccordo sull'albero e nell'alloggiamento (r_a) e altezza dello spallamento (h)



2. Montaggio

2.7 Precauzioni Generali per il Montaggio

Tabella 6: Altezza minima raccomandata dello spallamento e del raggio di raccordo dell'albero e dell'alloggiamento per cuscinetti radiali (in mm)

Dimensione nominale del raccordo del cuscinetto r (min) or r_1 (min)	Albero o alloggiamento		
	Raggio di raccordo r_a (max)	Altezza minima dello spallamento h (min)	
		Cuscinetti radiali rigidi a sfere ⁽¹⁾ , cuscinetti radiali orientabili a sfere, cuscinetti radiali a rulli cilindrici ⁽¹⁾ , cuscinetti a rullini	Cuscinetti a sfere a contatto obliquo, a rulli conici ⁽²⁾ , radiali orientabili a rulli
0.05	0.05	0.20	—
0.08	0.08	0.30	—
0.10	0.10	0.40	—
0.15	0.15	0.60	—
0.20	0.20	0.80	—
0.30	0.30	1.00	1.25
0.60	0.60	2.00	2.50
1.00	1.00	2.50	3.00
1.10	1.00	3.25	3.50
1.50	1.50	4.00	4.50
2.00	2.00	4.50	5.00
2.10	2.00	5.50	6.00
2.50	2.00	—	6.00
3.00	2.50	6.50	7.00
4.00	3.00	8.00	9.00
5.00	4.00	20.00	11.00
6.00	5.00	13.00	14.00
7.50	6.00	16.00	18.00
9.50	8.00	20.00	22.00
12.00	10.00	24.00	27.00
15.00	12.00	29.00	32.00
19.00	15.00	38.00	42.00

- Note:**
- (1) Quando si applicano carichi assiali elevati, l'altezza dello spallamento deve essere proporzionalmente maggiore rispetto ai valori riportati nelle tabelle.
 - (2) Per i cuscinetti con carichi assiali, l'altezza dello spallamento deve essere proporzionalmente maggiore rispetto ai valori riportati nelle tabelle.
 - (3) Il valore del raggio di raccordo è utilizzabile anche per le sedi dei cuscinetti assiali.
 - (4) Nelle tabelle dimensionali dei cuscinetti, al posto dell'altezza dello spallamento, si riporta per maggiore praticità il diametro dello stesso.

2. Montaggio

2.8 Lubrificazione

Tabella 7: Sigle e Caratteristiche dei Grassi lubrificanti maggiormente utilizzati

Sigle commerciali	Addensanti	Olio di Base	Punto di Goccia (°C)	Consistenza	Temperatura di esercizio ⁽¹⁾ (°C)	Resistenza alla pressione	Limite di utilizzo riferito al valore di Tabella ⁽²⁾ (%)
ADREX	Litio	Minerale	198	300	0-+110	Buona	70
APPOLOIL AUTOREX A	Litio	Minerale	198	280	-10-+110	Discreta	60
Arapen RB 300	Litio/Calcio	Minerale	177	294	-10-+ 80	Discreta	70
EA2	Urea	PAO	≥ 260	243	-40-+150	Discreta	100
EA3	Urea	PAO	≥ 260	230	-40-+150	Discreta	100
EA5	Urea	PAO	≥ 260	251	-40-+160	Buona	60
EA7	Urea	PAO	≥ 260	243	-40-+160	Discreta	100
ENC	Urea	Poliol-estere + minerale	≥ 260	262	-40-+160	Discreta	70
ENC	Urea	Poliol-estere	≥ 260	264	-40-+160	Discreta	100
ECZ	Litio+Nerofumo	PAO	≥ 260	243	-10-+120	Discreta	100
ISOFLEX NBU 15	Complesso al Bario	Diesteri + minerale	≥ 260	280	-30-+120	Scarsa	100
ISOFLEX SUPER LDS 198	Litio	Diesteri	195	280	-50-+110	Scarsa	100
ISOFLEX TOPAS NB52	Complesso al Bario	PAO	≥ 260	280	-40-+130	Scarsa	90
Aero Shell 7	Micro Gel	Diesteri	≥ 260	288	-55-+100	Scarsa	100
SH 33 L	Litio	Siliconico	210	310	-60-+120	Scarsa	60
SH 44 M	Litio	Siliconico	210	260	-30-+130	Scarsa	60
NS HI-LUBE	Litio	Poliol-estere + Diesteri	192	250	-40-+130	Discreta	100
NSA	Litio	PAO + Estere	201	311	-40-+130	Discreta	70
NSC	Litio	Alchile-difenile etere+ Polioli-estere	192	235	-30-+140	Discreta	70
LG2	Litio	PAO+ minerale	201	199	-40-+130	Scarsa	100
EMALUBE 8030	Urea	Minerale	≥ 260	280	0-+130	Buona	60
MA8	Urea	Alchile-difenile etere+ PAO	≥ 260	283	-30-+160	Discreta	70
KRYTOX GPL-524	PTFE	PFPE	≥ 260	265	0-+200	Discreta	70
KP1	PTFE	PFPE	≥ 260	280	-30-+200	Discreta	60
Cosmo Wide WR 3	Tereftalamato di Sodio	Poliol-estere + minerale	≥ 230	227	-40-+130	Scarsa	100
G-40M	Litio	Siliconico	223	252	-30-+130	Scarsa	60
Shell Alvania EP 2	Litio	Minerale	187	276	0-+ 80	Buona	60
Shell Alvania EP S1	Litio	Minerale	182	323	-10-+110	Discreta	70
Shell Alvania EP S2	Litio	Minerale	185	275	-10-+110	Discreta	70
Shell Alvania EP S3	Litio	Minerale	185	242	-10-+110	Discreta	70
Shell Cassida RLS 2	Complesso all'Alluminio	PAO	≥ 260	280	0-+120	Discreta	70
SHELL SUNLIGHT 2	Litio	Minerale	200	274	-10-+110	Discreta	70
WPH	Urea	PAO	259	240	-40-+150	Discreta	70
DEMNUM L-200	PTFE	PFPE	≥ 260	280	-30-+200	Discreta	60
NIGACE WR-S	Urea	Sintetico e minerale	≥ 260	230	-30-+150	Scarsa	70
NIGLUB RSH	Complesso al Sodio	Poli-alchilene-glicole	≥ 260	270	-20-+120	Discreta	60
PYRONOC UNIVERSAL N6B	Urea	Minerale	238	290	0-+130	Discreta	70
PALMAX RBG	Complesso al Litio	Minerale	216	300	-10-+130	Buona	70
Beacon 325	Litio	Diesteri	190	274	-50-+100	Scarsa	100
MULTEMP P52	Litio	Minerale + Estere	190	275	-50-+110	Scarsa	100
MOLYKOTE FS-3451	PTFE	Fluoro-siliconico	≥ 260	285	0-+180	Discreta	70
UME	Urea	Minerale	≥ 260	268	-10-+130	Discreta	70
UMM	Urea	Minerale	≥ 260	267	-10-+130	Discreta	70
RAREMAX AF-1	Urea	Minerale	≥ 260	300	-10-+130	Discreta	70

Note: L'intervallo di temperatura riportato nella tabella non si riferisce ai limiti naturali del lubrificante, ma all'intervallo ottimale di esercizio nel quale il lubrificante stesso mantiene inalterate le sue caratteristiche chimico-fisiche. Qualora il lubrificante venga utilizzato a temperature diverse da quelle riportate o in ambienti speciali, si consiglia di consultare il Servizio Tecnico NSK.

(2) In caso di funzionamento di breve durata o di raffreddamento adeguato, il grasso può essere utilizzato a velocità superiori a quelle imposte dai limiti indicati; in questi casi si consiglia di consultare il Servizio Tecnico NSK, che fornirà i valori della quantità di grasso più appropriati all'applicazione.

2. Montaggio

2.8 Lubrificazione

I metodi di lubrificazione per i cuscinetti volventi si suddividono in due categorie: lubrificazione ad olio e a grasso. La lubrificazione a grasso costituisce il metodo più comune, dato che consente di realizzare attorno ai cuscinetti un sistema di tenuta più semplice. Tale metodo si è diffuso notevolmente in questi ultimi anni grazie anche agli sviluppi ed ai miglioramenti del grasso stesso. È necessario prestare particolare attenzione alla velocità di rotazione, alla temperatura di esercizio, alla quantità di grasso, alla durata del lubrificante, ecc. La difficoltà della lubrificazione a grasso aumenta all'aumentare della velocità di rotazione dei cuscinetti. Il limite massimo della velocità di rotazione varia a seconda della tipologia e delle dimensioni del cuscinetto, del metodo di lubrificazione utilizzato e delle condizioni operative. Nelle Tabelle Dimensionali riportate nel catalogo generale NSK "Cuscinetti Volventi", le velocità di riferimento sono elencate per ogni tipologia di cuscinetto, sulla base di condizioni operative standard.

Il range di temperatura di utilizzo varia a seconda della tipologia di grasso. Nella **Tabella 7** sono riportati gli intervalli di temperatura consigliati. Se il grasso viene utilizzato a temperature diverse rispetto a quelle elencate in tabella, si consiglia di prestare particolare attenzione durante le operazioni di rabbocco.

È necessario lubrificare in maniera adeguata la parte interna del cuscinetto, compresa la superficie interna della gabbia. Lo spazio utilizzato per la lubrificazione – escludendo i componenti del cuscinetto - varia in base alla velocità di esercizio:

- › **Da 50 a 66% dello spazio libero**, quando la velocità di rotazione risulta inferiore al 50% di quella indicata nelle Tabelle Dimensionali.
- › **Da 33 a 50% dello spazio libero**, quando la velocità di rotazione risulta superiore al 50% di quella indicata nelle Tabelle Dimensionali.

Dato che la qualità e le caratteristiche chimico-fisiche dei grassi tendono a deteriorarsi col tempo, risulta necessario effettuare rabbocchi o sostituzioni del lubrificante. Non è possibile determinare rapidamente gli intervalli di manutenzione di tutte le applicazioni, dato che la qualità e le proprietà del lubrificante sono condizionate dai parametri di esercizio e dall'ambiente di utilizzo. Gli operatori potrebbero anche avere difficoltà nel determinare gli intervalli di sostituzione sulla base di impressioni soggettive. Fare riferimento alle **Figure 22 e 23** a pagina 29 per consultare gli intervalli relativi alla sostituzione di lubrificante in condizioni operative normali.

La lubrificazione ad olio rappresenta un metodo molto diffuso. L'olio ha un'elevata capacità di dissipazione di calore, oltre ad un'eccellente fluidità. È ideale per metodi di lubrificazione a circolazione e lubrificazione forzata. Le particelle estranee e gli agenti corrosivi possono essere rimossi con semplicità. L'olio ha anche un effetto positivo sulle vibrazioni e sulle proprietà acustiche. Ad ogni modo, la lubrificazione ad olio aumenta la complessità del sistema di lubrificazione e richiede interventi di manutenzione specifici. Inoltre, le tenute devono essere installate in maniera corretta per evitare eventuali fuoriuscite d'olio. Selezionare l'olio lubrificante adeguato significa valutarne la viscosità alla temperatura di esercizio del cuscinetto in esame.

È consigliabile selezionare un olio con valori di viscosità uguali o superiori a quelli riportati qui di seguito per tipologie specifiche di cuscinetti:

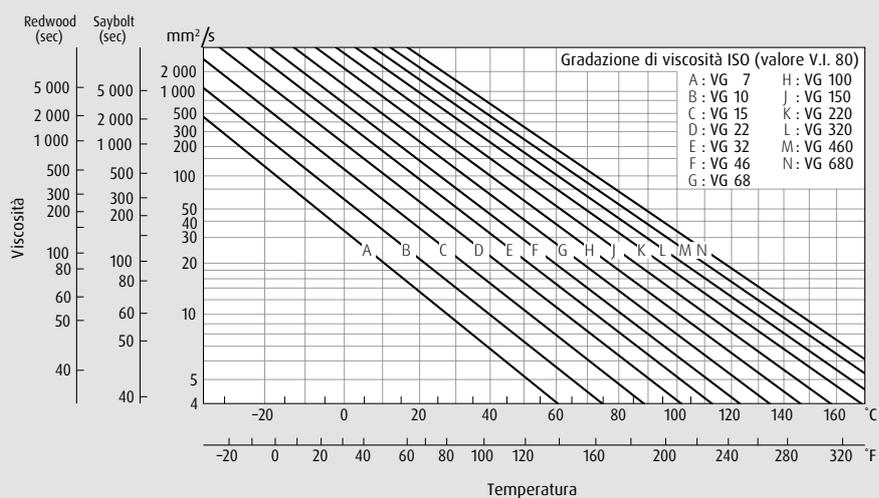
Cuscinetti a sfere e cuscinetti radiali a rulli cilindrici:
13 mm²/s o superiore

Cuscinetti radiali orientabili a rulli e cuscinetti a rulli conici: **20 mm²/s o superiore**

Cuscinetti assiali orientabili a rulli:
32 mm²/s o superiore

La **Figura 21** mostra la relazione tra la viscosità dell'olio e la temperatura, nonostante vi possano essere alcune variazioni. I metodi di lubrificazione includono la lubrificazione a bagno d'olio, la lubrificazione a sbattimento, la circolazione forzata e "nebbia d'olio". La selezione del metodo di lubrificazione corretto dipende dalla configurazione delle parti adiacenti del cuscinetto e dalle condizioni di esercizio. Le velocità ammissibili per i cuscinetti che utilizzano un sistema di lubrificazione a bagno d'olio sono riportate nelle Tabelle Dimensionali del nostro catalogo.

Fig. 21: Diagramma viscosità-temperatura



2. Montaggio

2.9 Prova di Funzionamento

Per verificare se il montaggio dei cuscinetti è stato eseguito correttamente, risulta opportuno fare una prova di funzionamento dopo l'installazione. Durante questo test è necessario valutare l'aumento della temperatura e della rumorosità del cuscinetto. Bisogna accertare che la rotazione risulti regolare e senza problemi.

Se viene riscontrata un'anomalia durante la prova di funzionamento, interrompere immediatamente il test, smontare il cuscinetto e condurre un'analisi specifica in base all'anomalia. Soprattutto per le macchine a velocità elevata, iniziare l'operazione con velocità ridotte, poi aumentare gradualmente la velocità. Nonostante si possa stimare la temperatura del cuscinetto in base a quella della superficie esterna dell'alloggiamento, sarebbe meglio rilevare la temperatura stessa direttamente sull'anello esterno mediante una termocoppia. Le variazioni di temperatura possono essere valutate attraverso la temperatura del lubrificante. Dato che la temperatura del cuscinetto aumenta, generalmente, in maniera graduale e raggiunge la temperatura di regime dopo un determinato tempo, è possibile confermare la correttezza del montaggio monitorando l'aumento della temperatura nel tempo.

In caso di problemi dovuti al cuscinetto, al montaggio o ad entrambi, la temperatura potrebbe non stabilizzarsi ed aumentare fino a raggiungere livelli eccessivi. La temperatura di regime di un cuscinetto varia a seconda della capacità termica, del rilascio termico, del numero di giri e del carico della macchina. Solitamente l'aumento della temperatura varia da 20 a 30 °C.

Le cause che possono portare ad un eccessivo aumento della temperatura sono:

- › Quantità eccessiva di grasso o olio
- › Carico anomalo sui cuscinetti
- › Attrito eccessivo delle tenute del cuscinetto
- › Contatto inadeguato dovuto ad imprecisioni dell'albero, dell'alloggiamento o dello spallamento
- › Gioco insufficiente del cuscinetto
- › Velocità troppo elevata rispetto alla tipologia di cuscinetto ed al metodo di lubrificazione
- › Cuscinetto difettoso, ecc.

Inoltre, potrebbero verificarsi problemi dovuti ad un montaggio non corretto, a difetti di fabbricazione o ad errori di selezione del cuscinetto. La rumorosità del cuscinetto può essere analizzata e rilevata attraverso uno stetoscopio o altri strumenti appositi posizionati a contatto con l'alloggiamento. Indica - con varie tonalità (forte suono metallico, suono irregolare, ecc...) - condizioni anomale di esercizio quali lubrificazione impropria, allineamento non perfetto delle sedi, ingresso di sostanze estranee, o difetti di fabbricazione.

Le principali tipologie di grasso, con le relative caratteristiche, sono riportate nella **Tabella 8**. I risultati della prova di funzionamento devono essere sempre registrati dopo aver completato le operazioni di montaggio al fine di fornire un riferimento per eventuali problematiche che si potrebbero presentare in futuro.

Tabella 8: Irregolarità di Funzionamento e relative Azioni Correttive

Irregolarità di funzionamento		Possibili cause	Azioni Correttive
Rumorosità	Forte suono metallico ⁽¹⁾	Carico anomalo	Selezionare con maggiore cura l'accoppiamento, il gioco interno, il precarico, la posizione dello spallamento della sede, ecc...
		Montaggio non corretto	Migliorare la precisione di lavorazione, l'allineamento dell'albero e dell'alloggiamento e il sistema di montaggio
		Lubrificante inadeguato o insufficiente	Selezionare un lubrificante migliore o effettuare rabbocchi
		Contatto tra parti rotanti	Modificare la tenuta a labirinto, ecc...
	Forte suono regolare	Incrinature, corrosioni o abrasioni sulle piste di rotolamento	Sostituire o lavare accuratamente il cuscinetto, migliorare il sistema di tenuta e usare lubrificanti puliti
		Brinellatura	Sostituire il cuscinetto, maneggiandolo con cura
		Sfaldatura sulla pista di rotolamento	Sostituire il cuscinetto
	Suono irregolare	Gioco eccessivo	Selezionare con maggiore cura l'accoppiamento, il gioco e il precarico
		Penetrazione di particelle estranee	Sostituire o lavare accuratamente il cuscinetto, migliorare il sistema di tenuta e usare lubrificanti puliti
Incrinature o sfaldature sulle sfere		Sostituire il cuscinetto	
Incremento irregolare della temperatura	Eccessiva quantità di lubrificante	Ridurre il quantitativo, usare un grasso più consistente	
	Lubrificante inadeguato o insufficiente	Selezionare un lubrificante migliore o effettuare rabbocchi	
	Carico anomalo	Selezionare con maggiore cura l'accoppiamento, il gioco interno, il precarico, la posizione dello spallamento della sede	
	Montaggio non corretto	Migliorare la precisione di lavorazione, l'allineamento dell'albero e dell'alloggiamento e il sistema di montaggio	
	Scorrimento relativo delle superfici accoppiate, eccessivo attrito derivato dalle tenute	Modificare o sostituire le tenute, sostituire il cuscinetto, selezionare con maggiore cura l'accoppiamento o il sistema di montaggio	
Vibrazioni (precisione assiale di rotazione)	Brinellatura	Sostituire il cuscinetto, maneggiandolo con cura.	
	Sfaldatura	Sostituire il cuscinetto	
	Montaggio non corretto	Migliorare l'ortogonalità tra l'albero e lo spallamento dell'alloggiamento o il piano di appoggio del distanziale	
	Penetrazione di particelle estranee	Sostituire o lavare il cuscinetto, migliorare il sistema di tenuta	
Perdite o alterazione di colore del lubrificante	Lubrificante in eccesso. Penetrazione di sostanze estranee o di particelle abrasive	Ridurre il quantitativo di lubrificante, selezionare un grasso più consistente. Sostituire il cuscinetto o il lubrificante. Pulire l'alloggiamento e le parti adiacenti	

Note: (1) In condizioni di esercizio caratterizzate da bassa temperatura nei cuscinetti radiali rigidi a sfere o a rulli con dimensioni medio/grandi lubrificati a grasso, può capitare di sentire dei suoni strani simili a dei cigolii. In queste condizioni, la temperatura del cuscinetto non aumenta e la durata a fatica del cuscinetto e del grasso non subiscono modifiche negative. Nonostante possa capitare di sentire suoni strani simili a cigolii, si può continuare ad usare il cuscinetto dato che è assolutamente funzionante.

3. Manutenzione Preventiva

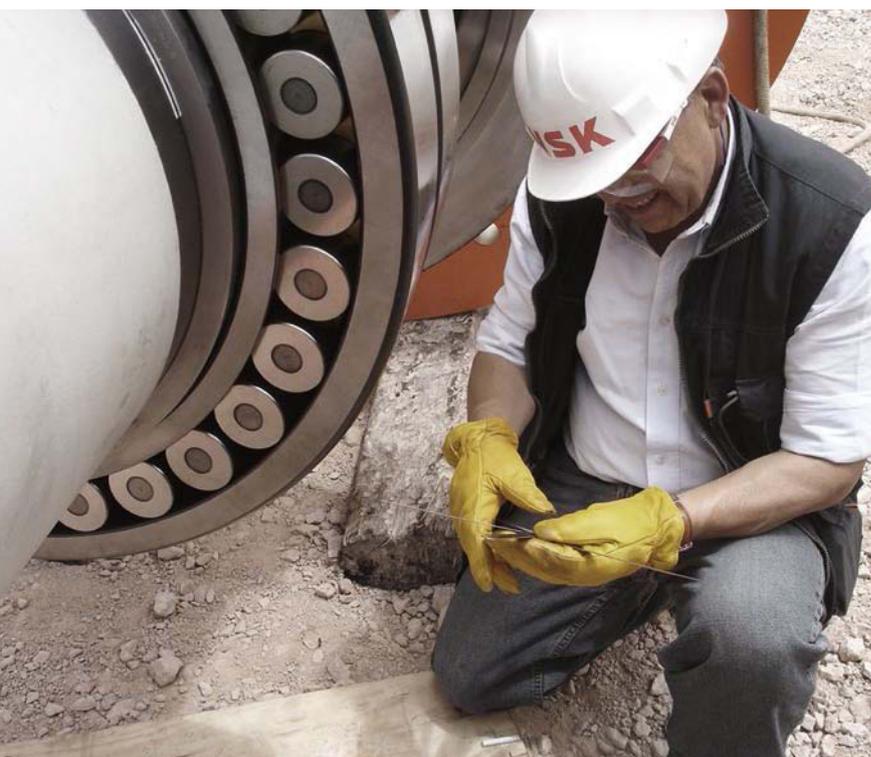
3.1 Procedure di Manutenzione Preventiva

Per permettere al cuscinetto di mantenere il più a lungo possibile le prestazioni iniziali e per risolvere ed identificare anomalie che potrebbero provocare danni considerevoli e cedimenti in futuro, si consiglia di eseguire con periodicità tutte le operazioni di manutenzione e di controllo.

Il controllo del cuscinetto in fase operativa comporta attività di ispezione periodiche per rilevare i livelli di rumorosità del cuscinetto, la sua temperatura o l'eventuale presenza di vibrazioni. Anche in presenza di un leggero sfaldamento, il rumore irregolare del cuscinetto può essere subito individuato mediante l'utilizzo di uno stetoscopio. Nonostante si possa stimare la temperatura del cuscinetto semplicemente toccando la superficie esterna dell'alloggiamento, sarebbe meglio rilevare la temperatura stessa inserendo una termocoppia direttamente nel foro di lubrificazione o in un punto di ingresso simile.

I cuscinetti montati su parti mobili sulle quali non è possibile rilevare rumorosità o temperatura durante il funzionamento, come ad esempio i cuscinetti a rulli sui veicoli, devono essere ispezionati periodicamente applicando grasso fresco. Esaminare le condizioni del grasso durante il funzionamento è utile anche per stabilire le condizioni operative del cuscinetto. Tali condizioni possono essere valutate in base alla quantità di sporcizia e limatura di ferro presente nel grasso, oltre a eventuali segni di perdita o deterioramento del grasso.

Quando questi controlli rivelano anomalie o cedimenti del cuscinetto, il cuscinetto deve essere smontato per un'ispezione più accurata utile a individuare le cause del guasto.



3. Manutenzione Preventiva

3.2 Metodi di Lubrificazione

3.2.1 Lubrificazione a Grasso

Il lubrificante è indispensabile per i cuscinetti, tuttavia è richiesta solo una piccola quantità di lubrificante e, normalmente, non è necessario fare rabbocchi frequenti. La frequenza dipende dal tipo di cuscinetto, dalle sue dimensioni, dal numero di giri e da altre condizioni operative.

Questi fattori possono essere spesso determinati in maniera empirica. Le **Figure 22** e **23** mostrano gli intervalli di lubrificazione riferite a grassi di qualità al litio con olio minerale soggetti ad una temperatura di esercizio di 70°C e ad un carico normale ($P/C=0,1$). Se la temperatura del cuscinetto supera i 70°C, bisogna considerare una riduzione del 50% degli intervalli di lubrificazione ad ogni incremento di 10-15°C. Inoltre, gli intervalli di rabbocco dipendono dall'entità del carico del cuscinetto, per la quale bisognerebbe applicare il fattore correttivo dovuto al carico riportato nella **Tabella 9**.

Fig. 22: Intervalli di lubrificazione per cuscinetti radiali a sfere ed a rulli cilindrici

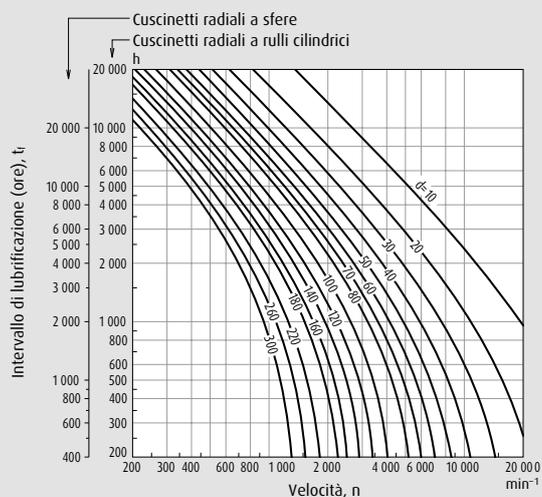


Fig. 23: Intervalli di lubrificazione per cuscinetti a rulli conici ed orientabili a due corone di rulli

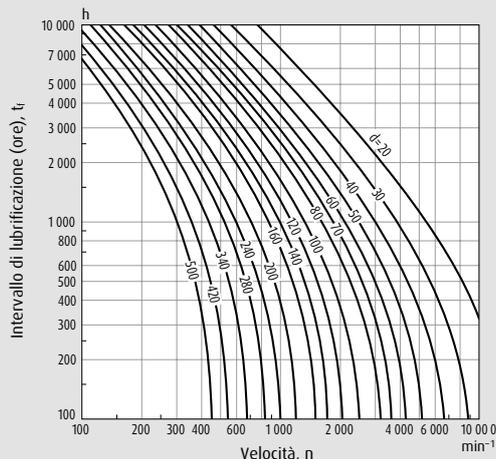


Tabella 9: Fattore correttivo dovuto al carico

P/C	≤ 0.06	0.1	0.13	0.16
Fattore correttivo	1.5	1	0.65	0.45

3. Manutenzione Preventiva

3.2 Metodi di Lubrificazione

Per i cuscinetti a sfere, gli intervalli di lubrificazione possono essere prolungati a seconda della tipologia di grasso utilizzato. (Ad esempio i grassi di qualità al litio con olio sintetico richiedono intervalli di lubrificazione che sono circa il doppio rispetto a quelli rappresentati nelle **Figure 22 e 23**).

L'efficacia di lubrificazione del grasso diminuisce in seguito a emulsione o deterioramento dovuti alla penetrazione di sostanze estranee o acqua. Pertanto, se il cuscinetto viene impiegato in condizioni gravose, è necessario accorciare gli intervalli di rilubrificazione delle **Figure 22 e 23** di un valore compreso fra due e dieci volte.

L'alloggiamento deve essere progettato tenendo conto della necessità di rabbocco o sostituzione del grasso. Ad esempio, un alloggiamento per macchine che richiedono di sostituire il grasso occasionalmente dovrebbe essere facile da smontare e, poiché il grasso dovrà essere rabboccato frequentemente nelle situazioni in cui la penetrazione di acqua attraverso la tenuta è inevitabile, l'alloggiamento deve essere studiato in modo che il grasso vecchio possa essere scaricato facilmente. Anche se l'alloggiamento può essere riempito di grasso quando il cuscinetto viene utilizzato per impieghi a bassissime velocità, si sconsiglia di applicare nell'alloggiamento eccessive quantità di grasso nelle applicazioni ad alta velocità.

Quando un alloggiamento può essere smontato regolarmente, è meglio evitare di praticare fori di adduzione del grasso. Il grasso raggiungerà infatti solo la periferia del foro di ingresso senza arrivare al cuscinetto, compromettendo in tal modo le prestazioni. Tuttavia, i cuscinetti più grandi o quelli per impieghi ad alte velocità richiedono una lubrificazione adeguata e frequente. In questo caso è opportuno praticare un foro di inserimento del grasso, poiché è difficile smontare il cuscinetto ogni volta che deve essere lubrificato. Si raccomanda di suddividere lo spazio dell'alloggiamento sul lato del foro di lubrificazione in diversi settori (**Figura 24**), in modo tale da immettere grasso fresco. Sul lato opposto del foro di lubrificazione deve essere previsto uno spazio sufficientemente ampio per raccogliere il vecchio grasso, che deve essere periodicamente scaricato smontando il coperchio.

I cuscinetti per applicazioni ad alta velocità possono essere lubrificati più facilmente usando una valvola di scarico. Questa soluzione è indicata per i cuscinetti destinati a impieghi continui di lunga durata, come motori elettrici o pompe per turbine. La valvola ha lo scopo di evitare il rabbocco del grasso. La **Figura 25** illustra la posizione dei settori e la disposizione della valvola di scarico nell'alloggiamento. La **Figura 26** mostra un supporto ritto provvisto di valvola di scarico, con una sottile lamiera di ferro che separa le varie sezioni o camere.

Fig. 24: Sezioni o camere del grasso

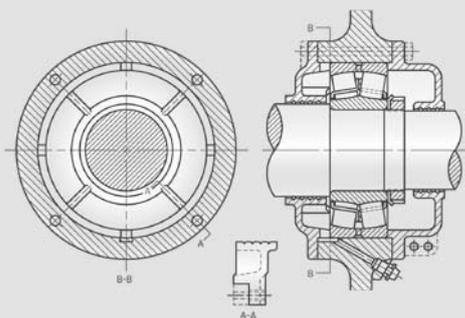


Fig. 25: Valvola di scarico

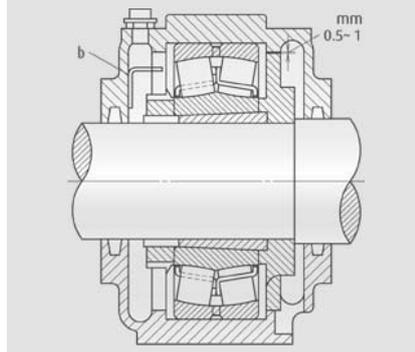
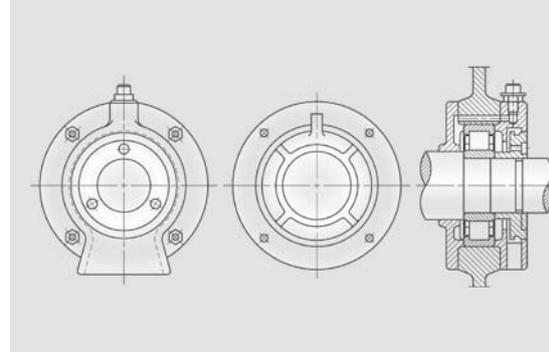


Fig. 26: Valvola di scarico (supporto ritto)



3.2.2 Lubrificazione ad Olio

Per un alloggiamento con lubrificazione a bagno d'olio è opportuno prevedere un indicatore di livello dell'olio al fine di garantire il corretto mantenimento del livello quando il cuscinetto non è in uso, per ridurre il rischio di errori.

In linea di principio, se la quantità d'olio è inferiore al livello previsto, si deve provvedere ad un rabbocco; se invece la tenuta funziona correttamente e non ci sono perdite idrauliche, diminuisce la necessità di ri-lubrificazione. La necessità di sostituzione dell'olio dipende dalle condizioni di funzionamento. Se un cuscinetto viene usato a una temperatura di 50°C o inferiore in un ambiente favorevole con poca polvere e sporcizia, una frequenza di sostituzione annuale

dovrebbe essere sufficiente. Se il cuscinetto lavora a temperature di funzionamento superiori a 100°C con una fonte di calore esterna, l'olio dovrebbe essere sostituito ogni due o tre mesi o più frequentemente, anche se si utilizza olio termostabilizzato. Nel caso di lubrificazione a caduta d'olio, il numero di gocce deve essere regolato correttamente in base alle condizioni specifiche; tuttavia, alcune gocce al minuto dovrebbero essere sufficienti in condizioni normali. Nelle applicazioni ad alta velocità, dove il cuscinetto viene lubrificato a getto, la quantità di lubrificante viene regolata mediante la pressione dell'olio e il diametro dell'ugello. È importante assicurarsi che l'olio alimentato non si accumuli nella sezione del cuscinetto.



3. Manutenzione Preventiva

3.3 Cedimento del Cuscinetto

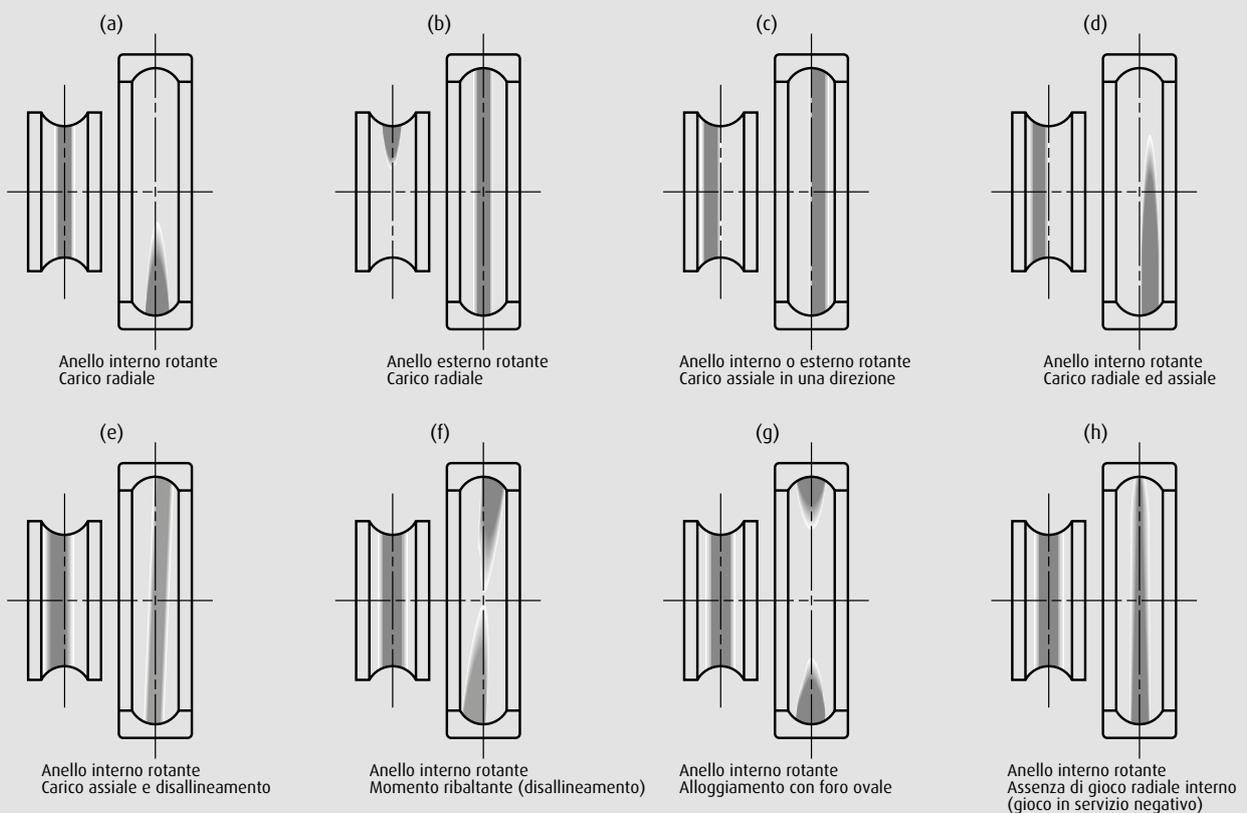
Esaminare con cura un cuscinetto che è ceduto prematuramente ed analizzare le condizioni di lubrificazione e le condizioni di montaggio per individuare il processo che ha portato al cedimento è importante, per evitare che il danno si ripeta. Le cause probabili sono incuria nel montaggio, nella manipolazione o nella lubrificazione; struttura incompleta della tenuta; sottostima degli effetti termici. Ad esempio, le abrasioni sugli orletti di ritegno, uno dei classici esempi di cedimento prematuro, possono derivare da un sistema di lubrificazione difettoso, lubrificazione insufficiente, lubrificante non adeguato, penetrazione di acqua o sostanze estranee, inclinazione relativa eccessiva fra l'anello interno e l'anello esterno dovuta a un errore di montaggio, flessione eccessiva dell'albero o una combinazione qualsiasi di questi eventi.

Pertanto è difficile individuare la vera causa semplicemente esaminando il solo cuscinetto. Risalendo alle condizioni prima e dopo il cedimento e verificando la macchina e la zona in cui era installato il cuscinetto, oltre alle condizioni di funzionamento ed alla storia di manipolazione/funzionamento, è possibile determinare alcune cause probabili. In questo modo si riduce il rischio di ripetizione del cedimento. Il modo più veloce per individuare la causa è annotare puntualmente tutti gli aspetti del cuscinetto guasto, fra cui l'usura da contatto o difetti sulla superficie del diametro interno ed esterno, oltre alle condizioni della parte interna del cuscinetto, ad esempio la pista di rotolamento e l'area di scorrimento, compreso l'orletto di ritegno.

Allo stesso modo è spesso utile studiare i cuscinetti non danneggiati usati in condizioni analoghe. Riepilogando, è importante un esame completo della macchina sulla quale è montato il cuscinetto. Di seguito sono riportati alcuni casi tipici di cedimento, a titolo esemplificativo.



Fig. 27: Tracce di rotolamento più comuni nei cuscinetti radiali rigidi a sfere



Impronte di Rotolamento e Carichi Applicati

Quando il cuscinetto ruota, le piste di rotolamento dell'anello interno e dell'anello esterno entrano in contatto con i corpi volventi. Per questo motivo, la superficie dei corpi volventi e delle piste di rotolamento diventa più scura o più chiara nel punto di convergenza. È normale che ci siano tracce sulla pista di rotolamento e la forma e l'estensione di questo fenomeno forniscono indicazioni utili riguardanti le condizioni di carico. Da un esame attento delle tracce di rotolamento, è possibile capire se il cuscinetto è stato sottoposto ad un carico radiale, assiale, ad un momento ribaltante o se la rigidità dell'alloggiamento ha subito forti variazioni. Si possono anche rilevare eventuali carichi non previsti a progetto, errori di montaggio o altro che permettono di comprendere le cause effettive del cedimento del

cuscinetto. Nella Figura 27 sono mostrate alcune tracce di rotolamento tipiche di cuscinetti radiali rigidi a sfere. La **Figura 27** da (a) a (d) mostra alcune tracce di rotolamento più comuni dovute a carico radiale e/o carico assiale. Le tracce di rotolamento cambiano a secondo che il carico sia applicato sull'anello interno od esterno, ed in base alle condizioni di carico. La Figura 27 (e) mostra le tracce di rotolamento con un albero inclinato a causa di un errore di allineamento. L'immagine (f) è una traccia di rotolamento da momento ribaltante; (g) è una traccia di rotolamento in un alloggiamento con forma ellittica ed una scarsa precisione del diametro interno; infine, (h) è la traccia di rotolamento di un cuscinetto con un gioco interno insufficiente. Tracce di rotolamento come quelle da (e) ad (h) provocano spesso il cedimento del cuscinetto e devono essere valutate con attenzione.

3. Manutenzione Preventiva

3.3 Cedimento del Cuscinetto



Fig. 28: Sfaldamento



Fig. 29: Sfaldamento

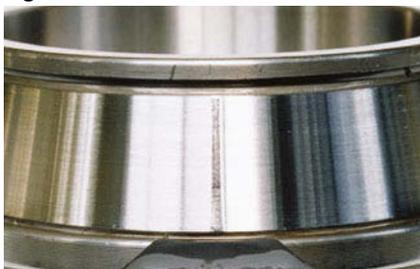


Fig. 30: Rottura



Fig. 31: Cricca

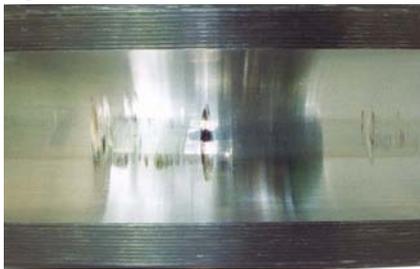


Fig. 32: Falsa brinellatura

Sfaldamento

Anche se lo sfaldamento su un cuscinetto appare inizialmente molto limitato, in poco tempo si estende notevolmente (**Figura 28**). Non è facile capire se lo sfaldamento è dovuto all'invecchiamento del cuscinetto, che subisce inevitabilmente questo fenomeno nel normale funzionamento, oppure ad un carico anomalo. Inoltre, a differenza di altre tipologie cedimenti, lo sfaldamento è spesso causato da interazioni complesse fra lubrificazione, carico e vibrazioni; pertanto è difficile individuarne una singola causa. Tuttavia, poiché le probabilità di cricche premature sono bassissime quando il cuscinetto viene usato con lubrificazione ottimale e carichi normali, è opportuno analizzare la lubrificazione e l'entità del carico come possibili cause del danneggiamento.

La **Figura 29** mostra uno sfaldamento allo stadio iniziale su un solo lato di un cuscinetto radiale orientabile a rulli, dovuto ad un carico assiale eccessivo. Oltre al carico anomalo, le cause di sfaldamento possono essere disallineamento, errori nella scelta del gioco del cuscinetto, problemi di lubrificazione ed una scarsa precisione dell'alloggiamento.

Cricche e Rotture

La **Figura 30** mostra una cricca dell'orletto di ritegno dell'anello interno di un cuscinetto a rulli conici. Questo fenomeno si verifica quando il cuscinetto è soggetto ad un carico assiale anomalo o ad un carico d'urto, oppure quando viene applicata una forza anomala sull'orletto di ritegno in fase di montaggio o smontaggio del cuscinetto. La cricca può essere dovuta all'applicazione di un carico d'urto molto intenso (**Figura 31**) e ad interferenza eccessiva. Se il cuscinetto è supportato solo dai due bordi dell'anello esterno, può fratturarsi lungo il piano assiale e, nel punto in cui si verifica uno slittamento fra l'anello interno/esterno e l'albero/alloggiamento, si formerà una cricca in direzione perpendicolare alla direzione di slittamento. Questo fenomeno viene rilevato in caso in cui l'anello interno è accoppiato con gioco con l'albero, producendo così strisciamento.

Brinellatura

La brinellatura delle piste di rotolamento può verificarsi in seguito a manipolazione incauta o montaggio errato del cuscinetto, ingresso di particelle contaminanti o carico d'urto elevato applicato quando il cuscinetto è stazionario. Questo danneggiamento si manifesta sulla spalla della gola della pista di rotolamento. Inoltre, un danneggiamento simile alla brinellatura può essere provocata da abrasione sulla zona di contatto fra i corpi volenti e la pista di rotolamento, a causa di vibrazioni o movimenti oscillatori. Questo fenomeno, detto anche "falsa brinellatura", si riscontra frequentemente laddove il cuscinetto è già montato sulla macchina e quest'ultima viene trasportata in maniera non adeguata (**Figura 32**).

Abrasione

In un cuscinetto a rulli si verificano cedimenti sulla superficie dell'orletto o all'estremità dei rulli in seguito all'accumulo di piccoli grippaggi dovuti a lubrificazione insufficiente o detriti sulla superficie dell'orletto o sull'estremità dei rulli, prima che i grippaggi si verifichino sulla superficie di rotolamento (**Figura 33 e 34**). Pertanto il danneggiamento si manifesta sulla superficie dell'orletto di ritegno o sull'estremità del rullo, prima di manifestarsi sulla superficie di rotolamento.

Fig. 33: Abrasione sull'orletto di un cuscinetto orientabile a rulli



Fig. 34: Abrasione sull'estremità dei rulli



Usura

I fattori che conducono all'usura sono l'ingresso di detriti, la lubrificazione insufficiente ed un lubrificante inadeguato (**Figura 35**), oppure l'infiltrazione d'acqua che provoca un'usura corrosiva sulla superficie di strisciamento o di rotolamento. Inoltre, la superficie dell'albero può essere soggetta ad abrasione da strisciamento dovuta a montaggio inadeguato.



Fig. 35: Usura

Ruggine

La ruggine all'interno del cuscinetto si forma in seguito all'infiltrazione di umidità o all'uso di un lubrificante inadeguato. La **Figura 36** mostra un esempio di ruggine causata da lubrificazione insufficiente dovuta all'infiltrazione di umidità. Sulla superficie dell'albero può comparire polvere abrasiva rossastra, marrone o nera, fra albero/alloggiamento ed anello interno/esterno. L'ossido si forma per ossidazione della superficie dell'albero dovuta al minimo slittamento fra albero/alloggiamento ed anello interno/esterno che si verifica quando il contatto fra le due parti è insufficiente, spesso nelle zone soggette a vibrazioni o carichi elevati. Questo fenomeno, conosciuto come usura da strisciamento (o corrosione da contatto), può sembrare simile alla ruggine.



Fig. 36: Ruggine

3. Manutenzione Preventiva

3.3 Cedimento del Cuscinetto



Fig. 37: Passaggio di corrente elettrica

Passaggio di Corrente Elettrica

Quando un cuscinetto viene attraversato da una corrente elettrica, l'area di contatto fra l'anello interno/esterno ed il corpo volvente subisce una fusione localizzata generata dallo scoccare di un arco elettrico attraverso il sottilissimo velo d'olio, formando scanalature od ondulazioni. Nei casi più estremi, queste scanalature possono apparire come una superficie a crateri o con striature irregolari (**Figura 37**). Quando questi danneggiamenti sono molto estesi, provocano effetti di sfaldamento o compromettono la durezza della superficie della pista di rotolamento, determinando una conseguente abrasione e sfaldamento precoce.

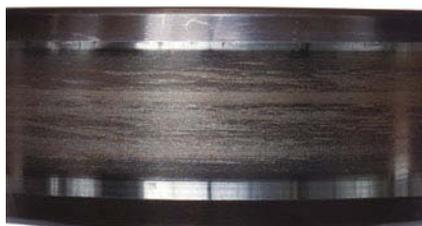


Fig. 38: Smerigliatura

Smerigliatura

La smerigliatura è un danneggiamento superficiale che si verifica fra la superficie della pista e la superficie dei corpi volventi durante il funzionamento, indotta da una sequenza di piccoli grippaggi dovuti alla rottura del film d'olio e/o a fenomeni di strisciamento. La superficie danneggiata diventa rugosa in seguito all'accumulo di piccole adesioni, come mostrato in **Figura 38**. Controllare il lubrificante e verificare il metodo di lubrificazione.



Fig. 39: Rotazione degli anelli

Rotazione degli Anelli

Lo scorrimento degli anelli è un fenomeno che induce uno strisciamento relativo in corrispondenza delle superfici di accoppiamento (tra il foro dell'anello interno e l'albero, oppure tra la superficie esterna dell'anello esterno e l'alloggiamento), creando un accoppiamento più lasco. Una superficie soggetta a scorrimento assume un aspetto lucido o fumoso, con occasionali manifestazioni di abrasione o usura. La **Figura 39** mostra un esempio di questo danneggiamento. Verificare l'interferenza delle superfici di accoppiamento ed il serraggio laterale dell'anello esterno è utile a prevenire lo scorrimento. Per prevenire abrasione e/o usura, bisogna lubrificare le superfici tra il cuscinetto e l'albero/alloggiamento.

4. Smontaggio

I cuscinetti vengono smontati periodicamente per essere verificati o sostituiti. Se il cuscinetto deve essere riutilizzato o viene smontato solo a scopo di ispezione, lo smontaggio deve essere effettuato con la stessa cura messa all'atto del montaggio, facendo attenzione a non danneggiare il cuscinetto o i suoi componenti. Poiché lo smontaggio risulta più difficoltoso se vi è un accoppiamento forzato, in fase di progettazione si deve tenere in considerazione la struttura delle parti adiacenti, in modo che il cuscinetto possa essere smontato facilmente. È altrettanto importante progettare e costruire utensili di smontaggio adeguati.

Devono essere predisposte le migliori condizioni per lo smontaggio, studiando il metodo di smontaggio, la sequenza di operazioni e le condizioni di accoppiamento del cuscinetto come mostrato nei disegni seguenti. Quando si analizzano le cause di cedimento, il cuscinetto deve essere manipolato con cura, come descritto sopra, per mantenerlo nello stato precedente allo smontaggio. In fase di smontaggio di un cuscinetto, occorre fare attenzione a non graffiarlo e a non rimuovere grasso, polvere, sporcizia o limatura di ferro, poiché questi interventi potrebbero impedire l'individuazione della causa del cedimento.

Anche se un cuscinetto montato con gioco può essere smontato facilmente, bisogna prestare grande cura quando il cuscinetto è montato con interferenza.



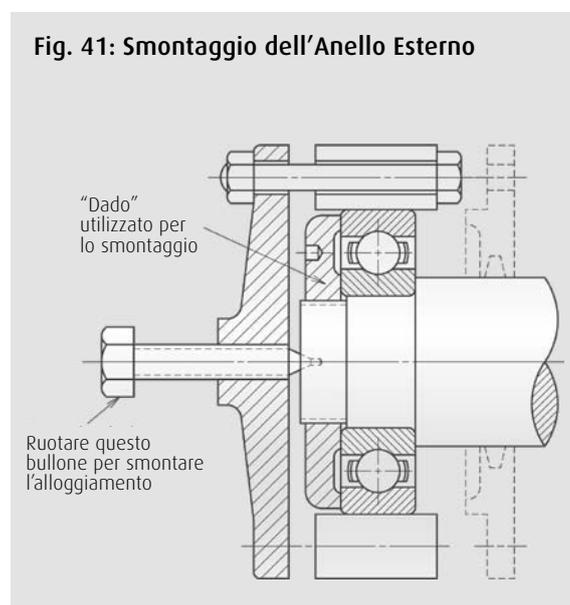
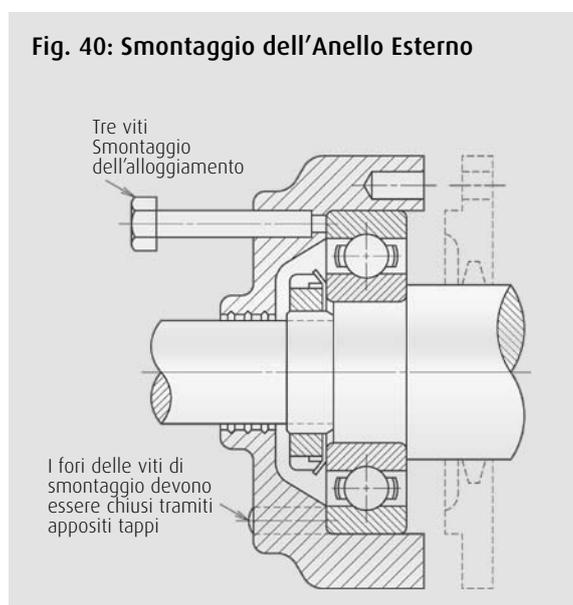
4. Smontaggio

4.1 Smontaggio degli Anelli Esterni

La **Figura 40** illustra un metodo semplice ed efficace per smontare un cuscinetto con un anello esterno avente un accoppiamento forzato. Secondo questa procedura, occorre dapprima posizionare le viti nei fori di estrazione previsti in tre punti dell'alloggiamento. Questi fori sono chiusi da appositi tappi quando non vengono utilizzati per smontare il cuscinetto.

La procedura mostrata in **Figura 41** è consigliata per alloggiamenti provvisti di coperchi anteriore e posteriore fissati da viti passanti. Le piste dell'anello interno/esterno devono essere protette dai danneggiamenti mentre il cuscinetto viene estratto, utilizzando un apposito "dado" che supporta sia l'anello interno sia quello esterno del cuscinetto.

In determinate circostanze il cuscinetto può essere smontato scaldando l'alloggiamento; in tal caso, la circonferenza deve essere riscaldata in maniera omogenea, altrimenti l'alloggiamento potrebbe subire deformazioni o rotture. Inoltre, se l'alloggiamento viene riscaldato per un tempo eccessivo, il cuscinetto potrebbe dilatarsi e risultare difficilmente estraibile.



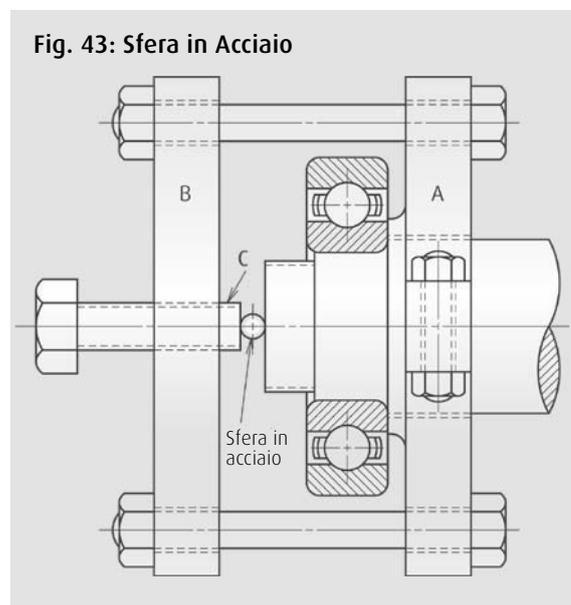
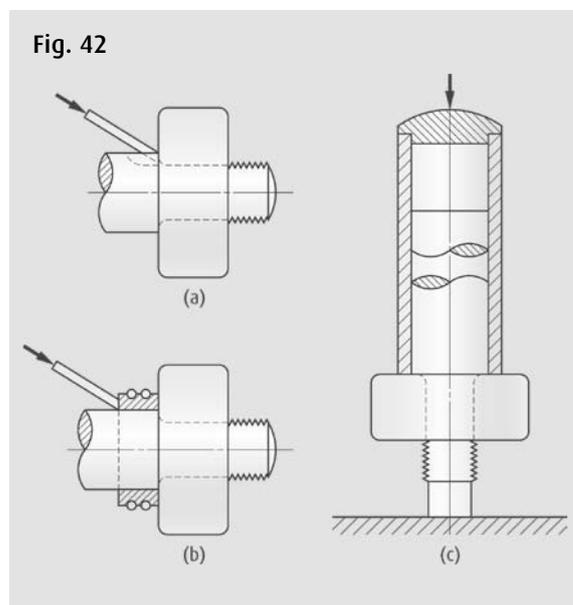
4. Smontaggio

4.2 Smontaggio degli Anelli Interni

Lo smontaggio di un anello interno è più difficile rispetto al montaggio quando l'accoppiamento è forzato. Per agganciare e smontare un anello interno si utilizza spesso un estrattore; usando lo stesso utensile per estrarre un anello esterno si potrebbero formare indentature (brinelling) sulla pista di rotolamento o rovinare il cuscinetto. Un metodo semplice, usato frequentemente quando l'interferenza è relativamente ridotta, consiste nell'eseguire due o tre tacche sullo spallamento dell'albero (**Figura 42-a**); quindi picchiettare leggermente con un martello ed una punta per estrarre l'anello interno. Il colpo può essere assestato con maggiore sicurezza utilizzando un doppio anello come mostrato in **Figura 42-b**, poiché esiste il rischio di eccedere nel martellamento e fare scivolare la punta, danneggiando la spalla dell'anello interno.

Altri metodi sicuri si basano sull'utilizzo di un tubo come elemento intermedio tra martello e cuscinetto, come mostrato in **Figura 42-c**, oppure di una vite od una pressa. Anche l'utensile mostrato in **Figura 43** è efficace per estrarre un anello interno. La piastra posteriore A, costituita da una parte superiore ed una inferiore, è fissata con viti. L'inserimento di una sfera d'acciaio (ricavata da un cuscinetto assiale a sfere di

grandi dimensioni) fra la piastra anteriore B e la vite C aumenta l'affidabilità. Nelle piastre A e B occorre praticare fori per viti adeguati in base alle dimensioni del singolo cuscinetto. La forza necessaria per estrarre l'anello esterno può essere calcolata con la formula indicata in precedenza (equazione 5) e le **Table 3 e 4**. A seconda delle condizioni specifiche, si può utilizzare il coperchio posteriore dell'alloggiamento invece della piastra posteriore A. I cuscinetti a rulli di grandi dimensioni montati con interferenza significativa possono essere smontati più facilmente senza danneggiare l'anello interno, seguendo il metodo di montaggio/smontaggio mediante riscaldamento ad induzione descritto in precedenza. Quando questa procedura non è possibile, l'anello interno può essere dilatato riscaldando la circonferenza con un bruciatore o un apparecchio simile. Questo metodo ha lo scopo di impedire danneggiamenti dell'albero, senza considerare il possibile riutilizzo del cuscinetto. Lo smontaggio dei cuscinetti deve essere valutato già in fase di progettazione, selezionando il metodo più appropriato e predisponendo quanto necessario prima dell'installazione. In altre parole, la progettazione di un cuscinetto non è completa se non vengono presi in considerazione anche i processi di montaggio e smontaggio.



4. Smontaggio

4.3 Pulizia dei Cuscinetti

Quando i cuscinetti in uso da un certo tempo vengono smontati per un'ispezione, devono essere puliti. Controllare prima il grasso usurato che riveste il cuscinetto, quindi pulire il cuscinetto ed esaminarne le condizioni. Effettuare una pulizia preliminare dei cuscinetti smontati, seguita da un risciacquo finale. Durante la pulizia preliminare si consiglia di usare una spazzola per rimuovere delicatamente tutte le tracce di grasso contenente polvere, sporcizia o particelle abrasive, senza ruotare il cuscinetto.

I cuscinetti nuovi vengono sempre ricoperti con un olio anti-corrosione prima dell'imballaggio. Generalmente questi cuscinetti non devono essere puliti per rimuovere l'olio anti-corrosione. Poiché sulla superficie del cuscinetto viene applicato solo un leggero velo d'olio, la permanenza dell'agente anti-corrosivo sul cuscinetto non dovrebbe comportare effetti nocivi, anche qualora si mescoli con un lubrificante o un grasso.

Maggiori danni possono derivare invece dalla pulizia del cuscinetto in un ambiente con presenza di olio contaminato, polvere o sporcizia.

Si consiglia tuttavia di rimuovere l'olio anti-corrosione dai micro-cuscinetti destinati a impieghi ad alte velocità o dai cuscinetti trattati con lubrificanti a bassa viscosità o lubrificazione a nebbia d'olio.

In linea di principio, i cuscinetti dovrebbero essere puliti nei seguenti casi: quando vengono ispezionati; quando hanno accumulato polvere e sporcizia; quando la macchina su cui è montato il cuscinetto lavora a livelli di velocità e precisione tali da poter essere compromessi anche dalla minima resistenza alla rotazione del cuscinetto.

Per la pulizia si utilizza normalmente il kerosene. Si può anche spruzzare un getto d'olio a bassa viscosità per mandrini. Anche l'aria compressa permette di asportare polvere e sporcizia dal cuscinetto, purché non contenga umidità o polvere/impurità; infatti, l'aria ha solitamente un contenuto di umidità che si condensa in goccioline d'acqua all'estremità dell'ugello. Pertanto occorre prestare grande attenzione quando si usa aria compressa. Inoltre, poiché pulire un cuscinetto con un getto di aria compressa facendo ruotare l'anello interno o esterno può creare danneggiamenti alle piste di rotolamento, è necessario bloccare l'anello interno o esterno per impedire la rotazione del cuscinetto stesso.

Quando si mette a magazzino un cuscinetto pulito, questo deve essere perfettamente asciutto e protetto con un olio anti-corrosivo. Quando si applica il grasso, occorre ruotare il cuscinetto in modo che l'applicazione sia uniforme su tutte le parti.



5. Stoccaggio dei Cuscinetti

Poiché i cuscinetti non sono destinati ad impieghi permanenti ma devono essere sostituiti periodicamente, i cuscinetti di ricambio devono essere conservati in magazzini con condizioni ambientali simili a quelle di esercizio, in modo che possano essere sostituiti immediatamente.

Quando si stoccano i cuscinetti, occorre prendere misure adeguate a prevenire la ruggine. Nonostante i cuscinetti vengano normalmente protetti da un olio anti-corrosione e poi imballati, la carta in cui sono avvolti non può proteggerli completamente dalla circolazione dell'aria.

Pertanto i cuscinetti dovrebbero essere conservati in un luogo ad umidità controllata. Inoltre, i cuscinetti devono essere riposti in luoghi puliti e ben ventilati, con bassa umidità ed al riparo dalla luce del sole, in un armadio o su uno scaffale, ad almeno 30 cm di altezza da terra. I cuscinetti devono rimanere imballati, se non diversamente specificato, altrimenti sarebbero soggetti alla formazione di ruggine.

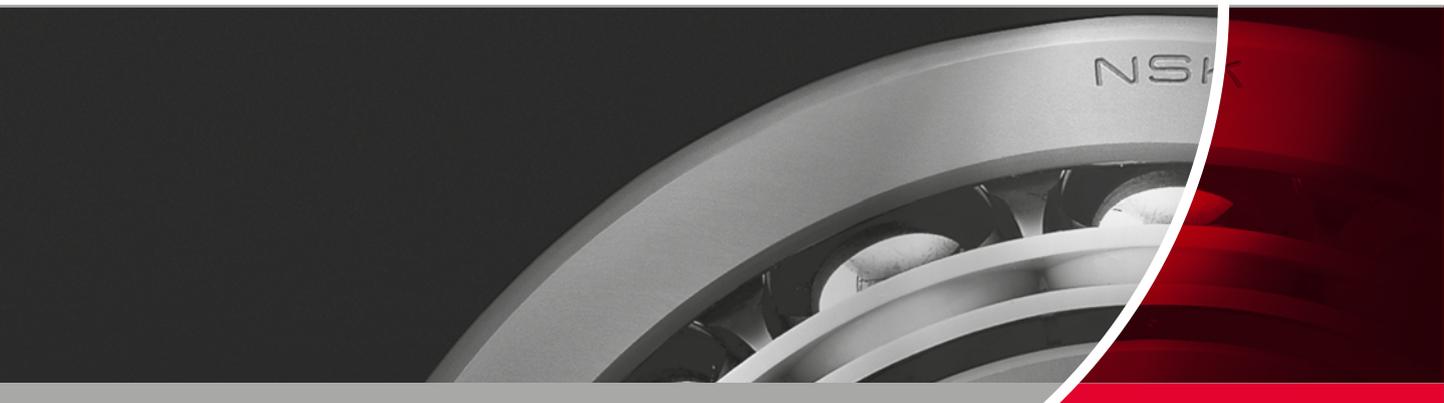
Quando i cuscinetti vengono scartati per l'ispezione prima dell'accettazione, devono essere stoccati applicando un agente anti-corrosione ed imballandoli nuovamente



6. Appendici Tecniche

Appendice Tabella 1 "Tolleranze per Diametro Albero"

Diametro albero (mm)		Scostamento diametro nominale del foro Δd_{mp}	d6	e6	f6	g5	g6	h5	h6	h7	h8	h9	h10	js5	js6
Oltre	fino a														
3	6	0 - 8	- 30 - 38	- 20 - 28	- 10 - 18	- 4 - 9	- 4 - 12	0 - 5	0 - 8	0 - 12	0 - 18	0 - 30	0 - 48	± 2.5	± 4.0
6	10	0 - 8	- 40 - 49	- 25 - 34	- 13 - 22	- 5 - 11	- 5 - 14	0 - 6	0 - 9	0 - 15	0 - 22	0 - 36	0 - 58	± 3.0	± 4.5
10	18	0 - 8	- 50 - 61	- 32 - 43	- 16 - 27	- 6 - 14	- 6 - 17	0 - 8	0 - 11	0 - 18	0 - 27	0 - 43	0 - 70	± 4.0	± 5.5
18	30	0 - 10	- 65 - 78	- 40 - 53	- 20 - 33	- 7 - 16	- 7 - 20	0 - 9	0 - 13	0 - 21	0 - 33	0 - 52	0 - 84	± 4.5	± 6.5
30	50	0 - 12	- 80 - 96	- 50 - 66	- 25 - 41	- 9 - 20	- 9 - 25	0 - 11	0 - 16	0 - 25	0 - 39	0 - 62	0 - 100	± 5.5	± 8.0
50	80	0 - 15	- 100 - 119	- 60 - 79	- 30 - 49	- 10 - 23	- 10 - 29	0 - 13	0 - 19	0 - 30	0 - 46	0 - 74	0 - 120	± 6.5	± 9.5
80	120	0 - 20	- 120 - 142	- 72 - 94	- 36 - 58	- 12 - 27	- 12 - 34	0 - 15	0 - 22	0 - 35	0 - 54	0 - 87	0 - 140	± 7.5	± 11.0
120	180	0 - 25	- 145 - 170	- 85 - 110	- 43 - 68	- 14 - 32	- 14 - 39	0 - 18	0 - 25	0 - 40	0 - 63	0 - 100	0 - 160	± 9.0	± 12.5
180	250	0 - 30	- 170 - 199	- 100 - 129	- 50 - 79	- 15 - 35	- 15 - 44	0 - 20	0 - 29	0 - 46	0 - 72	0 - 115	0 - 185	± 10.0	± 14.5
250	315	0 - 35	- 190 - 222	- 110 - 142	- 56 - 88	- 17 - 40	- 17 - 49	0 - 23	0 - 32	0 - 52	0 - 81	0 - 130	0 - 210	± 11.5	± 16.0
315	400	0 - 40	- 210 - 246	- 125 - 161	- 62 - 98	- 18 - 43	- 18 - 54	0 - 25	0 - 36	0 - 57	0 - 89	0 - 140	0 - 230	± 12.5	± 18.0
400	500	0 - 45	- 230 - 270	- 135 - 175	- 68 - 108	- 20 - 47	- 20 - 60	0 - 27	0 - 40	0 - 63	0 - 97	0 - 155	0 - 250	± 13.5	± 20.0
500	630	0 - 50	- 260 - 304	- 145 - 189	- 76 - 120	-	- 22 - 66	-	0 - 44	0 - 70	0 - 110	0 - 175	0 - 280	-	± 22.0
630	800	0 - 75	- 290 - 340	- 160 - 210	- 80 - 130	-	- 24 - 74	-	0 - 50	0 - 80	0 - 125	0 - 200	0 - 320	-	± 25.0
800	1000	0 - 100	- 320 - 376	- 170 - 226	- 86 - 142	-	- 26 - 82	-	0 - 56	0 - 90	0 - 140	0 - 230	0 - 360	-	± 28.0
1000	1250	0 - 125	- 350 - 416	- 195 - 261	- 98 - 164	-	- 28 - 94	-	0 - 66	0 - 105	0 - 165	0 - 260	0 - 420	-	± 33.0
1250	1600	0 - 160	- 390 - 468	- 220 - 298	- 110 - 188	-	- 30 - 108	-	0 - 78	0 - 125	0 - 195	0 - 310	0 - 500	-	± 39.0
1600	2000	0 - 200	- 430 - 522	- 240 - 332	- 120 - 212	-	- 32 - 124	-	0 - 92	0 - 150	0 - 230	0 - 370	0 - 600	-	± 46.0

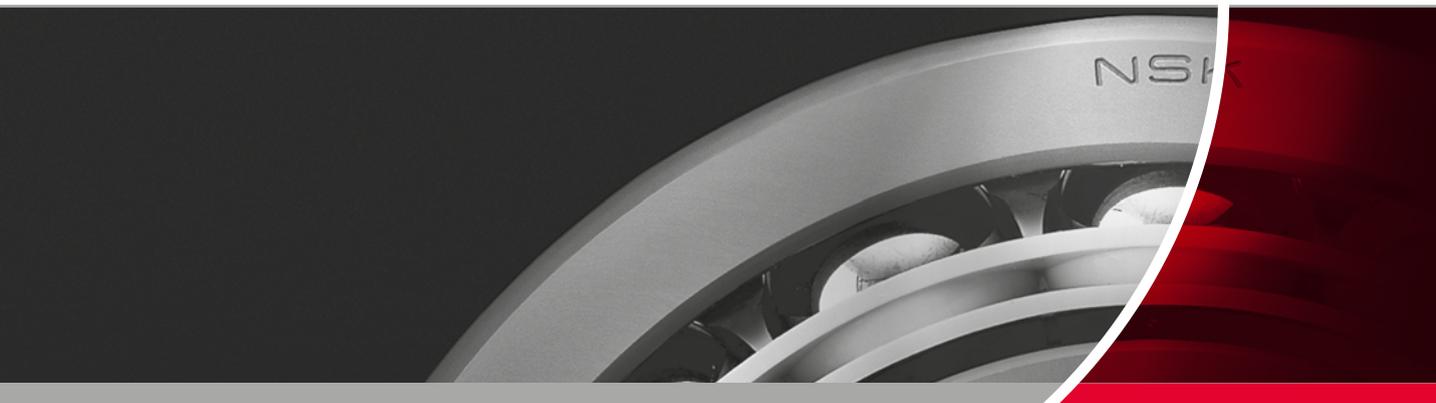


	j5	j6	j7	k5	k6	k7	m5	m6	n6	p6	r6	r7
	+ 3	+ 6	+ 8	+ 6	+ 9	+ 13	+ 9	+ 12	+ 16	+ 20	+ 23	+ 27
	- 2	- 2	- 4	+ 1	+ 1	+ 1	+ 4	+ 4	+ 8	+ 12	+ 15	+ 15
	+ 4	+ 7	+ 10	+ 7	+ 10	+ 16	+ 12	+ 15	+ 19	+ 24	+ 28	+ 34
	- 2	- 2	- 5	+ 1	+ 1	+ 1	+ 6	+ 6	+ 10	+ 15	+ 19	+ 19
	+ 5	+ 8	+ 12	+ 9	+ 12	+ 19	+ 15	+ 18	+ 23	+ 29	+ 34	+ 41
	- 3	- 3	- 6	+ 1	+ 1	+ 1	+ 7	+ 7	+ 12	+ 18	+ 23	+ 23
	+ 5	+ 9	+ 13	+ 11	+ 15	+ 23	+ 17	+ 21	+ 28	+ 35	+ 41	+ 49
	- 4	- 4	- 8	+ 2	+ 2	+ 2	+ 8	+ 8	+ 15	+ 22	+ 28	+ 28
	+ 6	+ 11	+ 15	+ 13	+ 18	+ 27	+ 20	+ 25	+ 33	+ 42	+ 50	+ 59
	- 5	- 5	- 10	+ 2	+ 2	+ 2	+ 9	+ 9	+ 17	+ 26	+ 34	+ 34
											+ 60	+ 71
	+ 6	+ 12	+ 18	+ 15	+ 21	+ 32	+ 24	+ 30	+ 39	+ 51	+ 41	+ 41
	- 7	- 7	- 12	+ 2	+ 2	+ 2	+ 11	+ 11	+ 20	+ 32	+ 62	+ 73
											+ 43	+ 43
											+ 73	+ 86
	+ 6	+ 13	+ 20	+ 18	+ 25	+ 38	+ 28	+ 35	+ 45	+ 59	+ 51	+ 51
	- 9	- 9	- 15	+ 3	+ 3	+ 3	+ 13	+ 13	+ 23	+ 37	+ 76	+ 89
											+ 54	+ 54
											+ 88	+ 103
											+ 63	+ 63
	+ 7	+ 14	+ 22	+ 21	+ 28	+ 43	+ 33	+ 40	+ 52	+ 68	+ 90	+ 105
	- 11	- 11	- 18	+ 3	+ 3	+ 3	+ 15	+ 15	+ 27	+ 43	+ 65	+ 65
											+ 93	+ 108
											+ 68	+ 68
											+ 106	+ 123
											+ 77	+ 77
	+ 7	+ 16	+ 25	+ 24	+ 33	+ 50	+ 37	+ 46	+ 60	+ 79	+ 109	+ 126
	- 13	- 13	- 21	+ 4	+ 4	+ 4	+ 17	+ 17	+ 31	+ 50	+ 80	+ 80
											+ 113	+ 130
											+ 84	+ 84
	+ 7	± 16	± 26	+ 27	+ 36	+ 56	+ 43	+ 52	+ 66	+ 88	+ 126	+ 146
	- 16			+ 4	+ 4	+ 4	+ 20	+ 20	+ 34	+ 56	+ 94	+ 94
											+ 130	+ 150
											+ 98	+ 98
											+ 144	+ 165
	+ 7	± 18	+ 29	+ 29	+ 40	+ 61	+ 46	+ 57	+ 73	+ 98	+ 108	+ 108
	- 18		- 28	+ 4	+ 4	+ 4	+ 21	+ 21	+ 37	+ 62	+ 150	+ 171
											+ 114	+ 114
	+ 7	± 20	+ 31	+ 32	+ 45	+ 68	+ 50	+ 63	+ 80	+ 108	+ 166	+ 189
	- 20		- 32	+ 5	+ 5	+ 5	+ 23	+ 23	+ 40	+ 68	+ 126	+ 126
											+ 172	+ 195
											+ 132	+ 132
											+ 194	+ 220
	-	-	-	-	+ 44	+ 70	-	+ 70	+ 88	+ 122	+ 150	+ 150
					0	0		+ 26	+ 44	+ 78	+ 199	+ 225
											+ 155	+ 155
											+ 225	+ 255
					+ 50	+ 80	-	+ 80	+ 100	+ 138	+ 175	+ 175
					0	0		+ 30	+ 50	+ 88	+ 235	+ 265
											+ 185	+ 185
											+ 266	+ 300
					+ 56	+ 90	-	+ 90	+ 112	+ 156	+ 210	+ 210
					0	0		+ 30	+ 46	+ 100	+ 276	+ 310
											+ 220	+ 220
											+ 316	+ 355
					+ 66	+ 105	-	+ 106	+ 132	+ 186	+ 250	+ 250
					0	0		+ 40	+ 66	+ 120	+ 326	+ 365
											+ 260	+ 260
											+ 378	+ 425
					+ 78	+ 125	-	+ 126	+ 156	+ 218	+ 300	+ 300
					0	0		+ 48	+ 78	+ 140	+ 408	+ 455
											+ 330	+ 330
											+ 462	+ 520
					+ 92	+ 150	-	+ 150	+ 184	+ 262	+ 370	+ 370
					0	0		+ 58	+ 92	+ 170	+ 492	+ 550
											+ 400	+ 400

6. Appendici Tecniche

Appendice Tabella 2 "Tolleranze per Diametro Alloggiamento"

Diametro foro (mm)		Scostamento diametro nominale esterno Δdmp	E6	F6	F7	G6	G7	H6	H7	H8	J6	J7
Oltre	fino a											
10	18	0 - 8	+ 43 + 32	+ 27 + 16	+ 34 + 16	+ 17 + 6	+ 24 + 6	+ 11 0	+ 18 0	+ 27 0	+ 6 - 5	+ 10 - 8
18	30	0 - 9	+ 53 + 40	+ 33 + 20	+ 41 + 20	+ 20 + 7	+ 28 + 7	+ 13 0	+ 21 0	+ 33 0	+ 8 - 5	+ 12 - 9
30	50	0 - 11	+ 66 + 50	+ 41 + 25	+ 50 + 25	+ 25 + 9	+ 34 + 9	+ 16 0	+ 25 0	+ 39 0	+ 10 - 6	+ 14 - 11
50	80	0 - 13	+ 79 + 60	+ 49 + 30	+ 60 + 30	+ 29 + 10	+ 40 + 10	+ 19 0	+ 30 0	+ 46 0	+ 13 - 6	+ 18 - 12
80	120	0 - 15	+ 94 + 72	+ 58 + 36	+ 71 + 36	+ 34 + 12	+ 47 + 12	+ 22 0	+ 35 0	+ 54 0	+ 16 - 6	+ 22 - 13
120	150	0 - 18	+ 110	+ 68	+ 83	+ 39	+ 54	+ 25	+ 40	+ 63	+ 18	+ 26
150	180	0 - 25	+ 85	+ 43	+ 43	+ 14	+ 14	0	0	0	- 7	- 14
180	250	0 - 30	+ 129 + 100	+ 79 + 50	+ 96 + 50	+ 44 + 15	+ 61 + 15	+ 29 0	+ 46 0	+ 72 0	+ 22 - 7	+ 30 - 16
250	315	0 - 35	+ 142 + 110	+ 88 + 56	+ 108 + 56	+ 49 + 17	+ 69 + 17	+ 32 0	+ 52 0	+ 81 0	+ 25 - 7	+ 36 - 16
315	400	0 - 40	+ 161 + 125	+ 98 + 62	+ 119 + 62	+ 54 + 18	+ 75 + 18	+ 36 0	+ 57 0	+ 89 0	+ 29 - 7	- 39 - 18
400	500	0 - 45	+ 175 + 135	+ 108 + 68	+ 131 + 68	+ 60 + 20	+ 83 + 20	+ 40 0	+ 63 0	+ 97 0	+ 33 - 7	- 43 - 20
500	630	0 - 50	+ 189 + 145	+ 120 + 76	+ 146 + 76	+ 66 + 22	+ 92 + 22	+ 44 0	+ 70 0	+ 110 0	-	-
630	800	0 - 75	+ 210 + 160	+ 130 + 80	+ 160 + 80	+ 74 + 24	+ 104 + 24	+ 50 0	+ 80 0	+ 125 0	-	-
800	1000	0 - 100	+ 226 + 170	+ 142 + 86	+ 176 + 86	+ 82 + 26	+ 116 + 26	+ 56 0	+ 90 0	+ 140 0	-	-
1000	1250	0 - 125	+ 261 + 195	+ 164 + 98	+ 203 + 98	+ 94 + 58	+ 133 + 28	+ 66 0	+ 105 0	+ 165 0	-	-
1250	1600	0 - 160	+ 298 + 220	+ 188 + 110	+ 235 + 110	+ 108 + 30	+ 155 + 30	+ 78 0	+ 125 0	+ 195 0	-	-
1600	2000	0 - 200	+ 332 + 240	+ 212 + 120	+ 270 + 120	+ 124 + 32	+ 182 + 32	+ 92 0	+ 150 0	+ 230 0	-	-
2000	2500	0 - 250	+ 370 + 260	+ 240 + 130	+ 305 + 130	+ 144 + 34	+ 209 + 34	+ 110 0	+ 175 0	+ 280 0	-	-



	JS6	JS7	K5	K6	K7	M5	M6	M7	N5	N6	N7	P6	P7
	± 5.5	± 9	+2 -6	+2 -9	+6 -12	- 4 - 12	- 4 - 15	0 - 18	- 9 - 17	- 9 - 20	- 5 - 23	- 15 - 26	- 11 - 29
	± 6.5	± 10.5	+ 1 - 8	+ 2 - 11	+ 6 - 15	- 5 - 14	- 4 - 17	0 - 21	- 12 - 21	- 11 - 24	- 7 - 28	- 18 - 31	- 14 - 35
	± 8	± 12.5	+ 2 - 9	+ 3 - 13	+ 7 - 18	- 5 - 16	- 4 - 17	0 - 25	- 13 - 24	- 12 - 28	- 8 - 33	- 21 - 37	- 17 - 42
	± 9.5	± 15	+ 3 - 10	+ 4 - 15	+ 9 - 21	- 6 - 19	- 5 - 24	0 - 30	- 15 - 28	- 14 - 33	- 9 - 39	- 26 - 45	- 21 - 51
	± 11	± 17.5	+ 2 - 13	+ 4 - 18	+ 10 - 25	- 8 - 23	- 6 - 28	0 - 35	- 18 - 33	- 16 - 38	- 10 - 45	- 30 - 52	- 24 - 59
	± 12.5	± 20	+ 3 - 15	+ 4 - 21	+ 12 - 28	- 9 - 27		0 - 40	- 21 - 39	- 20 - 45	- 12 - 52	- 36 - 61	- 28 - 68
	± 14.5	± 23	+ 2 - 18	+ 5 - 24	+ 13 - 33	- 11 - 31	- 8 - 33	0 - 46	- 25 - 45	- 22 - 51	- 14 - 60	- 41 - 70	- 33 - 79
	± 16	± 26	+ 3 - 20	+ 5 - 27	+ 16 - 36	- 13 - 36	- 8 - 37	0 - 52	- 27 - 50	- 25 - 57	- 14 - 66	- 47 - 79	- 36 - 88
	± 18	± 28.5	+ 3 - 22	+ 7 - 29	+ 17 - 40	- 14 - 39	- 9 - 41	0 - 57	- 30 - 55	- 26 - 62	- 16 - 73	- 51 - 87	- 41 - 98
	± 20	± 31.5	+ 2 - 25	+ 8 - 32	+ 18 - 45	- 16 - 43	- 10 - 50	0 - 63	- 33 - 60	- 27 - 67	- 17 - 80	- 55 - 95	- 45 - 108
	± 22	± 35	-	0 - 44	0 - 70	-	- 26 - 70	- 26 - 96	-	- 44 - 88	- 44 - 114	- 78 - 122	- 78 - 148
	± 25	± 40	-	0 - 50	0 - 80	-	- 30 - 80	- 30 - 110	-	- 50 - 100	- 50 - 130	- 88 - 138	- 88 - 168
	± 28	± 45	-	0 - 56	0 - 90	-	- 34 - 90	- 34 - 124	-	- 56 - 112	- 56 - 246	- 100 - 156	- 100 - 190
	± 33	± 52.5	-	0 - 66	0 - 100	-	- 40 - 106	- 40 - 145	-	- 66 - 132	- 66 - 272	- 120 - 186	- 120 - 225
	± 39	± 62.5	-	0 - 78	0 - 125	-	- 48 - 126	- 48 - 173	-	- 78 - 156	- 78 - 203	- 140 - 218	- 140 - 265
	± 46	± 75	-	0 - 92	0 - 150	-	- 58 - 150	- 58 - 208	-	- 92 - 184	- 92 - 242	- 170 - 262	- 170 - 320
	± 55	± 87.5	-	0 - 110	0 - 175	-	- 68 - 178	- 68 - 243	-	- 110 - 220	- 110 - 285	- 195 - 305	- 195 - 370

Filiali NSK in Europa

Italia

NSK Italia S.p.A.
Via Garibaldi, 215
20024 Garbagnate
Milanese (MI)
Tel. +39 02 995 191
Fax +39 02 990 25 778
info-it@nsk.com

Francia

NSK France S.A.S.
Quartier de l'Europe
2, rue Georges Guynemer
78283 Guyancourt Cedex
Tel. +33 (0) 1 30573939
Fax +33 (0) 1 30570001
info-fr@nsk.com

Germania

NSK Deutschland GmbH
Harkortstraße 15
40880 Ratingen
Tel. +49 (0) 2102 4810
Fax +49 (0) 2102 4812290
info-de@nsk.com

Gran Bretagna

NSK UK LTD.
Northern Road, Newark,
Nottinghamshire NG24 2JF
Tel. +44 (0) 1636 605123
Fax +44 (0) 1636 643276
info-uk@nsk.com

Norvegia

Filiale Paesi Nordici

NSK Europe Norwegian Branch NUF
Østre Kullerød 5
N-3241 Sandefjord
Tel. +47 3329 3160
Fax +47 3342 9002
info-n@nsk.com

Polonia ed Est Europa

NSK Polska Sp. z o.o.
Warsaw Branch
Ul. Migdałowa 4/73
02-796 Warszawa
Tel. +48 22 645 15 25
Fax +48 22 645 15 29
info-pl@nsk.com

Spagna

NSK Spain, S.A.
C/ Tarragona, 161 Cuerdo Bajo
2ª Planta, 08014 Barcelona
Tel. +34 932 89 27 63
Fax +34 934 33 57 76
info-es@nsk.com

Sudafrica

NSK South Africa (Pty) Ltd.
27 Galaxy Avenue
Linbro Business Park
Sandton 2146
Tel. +27 (011) 458 3600
Fax +27 (011) 458 3608
nsk-sa@nsk.com

Svezia

NSK Sweden Office
Karolinen Företagscenter
Våxnäsgratan 10
SE-65340 Karlstad
Tel. +46 5410 3545
Fax +46 5410 3544
info-de@nsk.com

Turchia

NSK Rulmanları Orta Doğu Tic. Ltd. Şti
19 Mayıs Mah. Atatürk Cad.
Ulya Engin DD Merkezi No: 68 Kat. 6
P.K.: 34734 - Kozyatağı - İstanbul
Tel. +90 216 3550398
Fax +90 216 3550399
turkey@nsk.com

Sito NSK in Europa: www.nskeurope.it

Sito NSK nel mondo: www.nsk.com

