

I CUSCINETTI SONO ELEMENTI MECCANICI CHE CONSENTONO LA ROTAZIONE RELATIVA TRA I COMPONENTI. IN BASE AL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO È POSSIBILE FARE UNA PRIMA DISTINZIONE DEI CUSCINETTI IN DUE CLASSI: I CUSCINETTI A ROTOLAMENTO, IN CUI LE SUPERFICI DI SCORRIMENTO DEI COMPONENTI SONO SEPARATE DA CORPI VOLVENTI CHE ROTOLANO E I CUSCINETTI A STRISCIAMENTO, IN CUI LE SUPERFICI DEI DUE COMPONENTI STRISCIANO DIRETTAMENTE L'UNA SULL'ALTRA (A MENO DEL FILM DI LUBRIFICANTE).

I cuscinetti

cuscinetti più utilizzati sono quelli volventi. Essi hanno infatti la capacità di fornire supporto e tenere separati gli organi meccanici a qualsiasi regime di rotazione.

La classificazione dei cuscinetti può essere fatta a seconda della direzione del carico ed a seconda del tipo di elemento volvente presente. La classificazione in base a carico suddivide i cuscinetti in “radiali” e “assiali”. Il primo gruppo comprende tutte le configurazioni in cui il carico può essere solo (o principalmente) in direzione radiale. I cuscinetti di tale famiglia vengono anche detti “portanti” o “trasversali”. I cuscinetti assiali sono invece caratterizzati dalla capacità di trasmettere carichi assiali non trascurabili. Tali cuscinetti sono anche detti “longitudinali”.

La seconda classificazione, quella a seconda del tipo di elemento volvente presente e classificherà i cuscinetti in famiglie quali “cuscinetti a sfere”, “a rulli”, “a botte”, “a rullini” ecc.

La classificazione descritta fino ad ora non voleva avere solamente uno scopo didattico ma risulta molto utile al progettista in fase di design. Data una specifica applicazione, la prima cosa che deve essere chiarita saranno i carichi che agiranno sui cuscinetti. Da qui risulta chiara la scelta tra cuscinetti trasversali e cuscinetti longitudinali. Più nello specifico il tipo di cuscinetto maggiormente adatto e quindi il tipo di elemento volvente desiderato dipenderanno fortemente da altri parametri progettuali quali il tipo di carico, il suo valore, la velocità relativa tra i componenti, i requisiti richiesti in termini di emissione acustica e vibrazioni e la durata necessaria. A tutto questo di solito vanno anche aggiunti limiti legati al progetto quali ingombri massimi, costo, disposizione degli alberi, condizioni ambientali in cui il sistema dovrà operare ecc.

Funzionamento

Un cuscinetto a rotolamento è sempre composto da due piste di

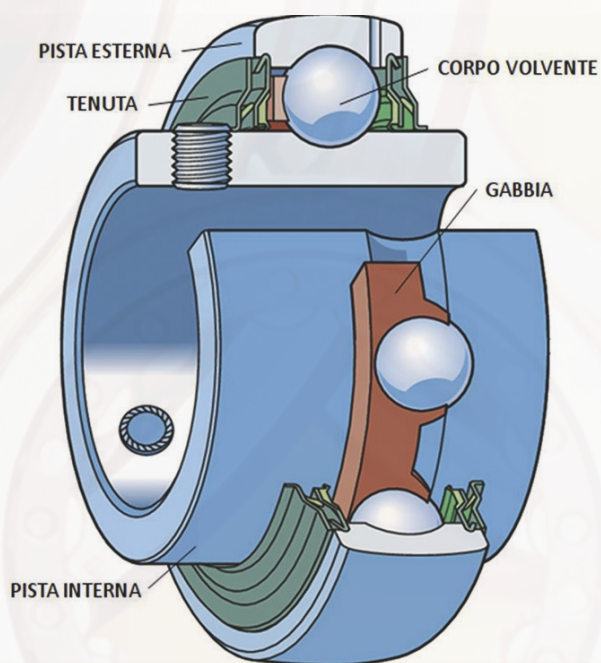


Fig. 1 - Componenti del cuscinetto

rotolamento ed un numero variabile di corpi volventi. In alcuni casi particolari, per risparmiare spazio, le piste di rotolamento in senso stretto non sono parte del cuscinetto. Vengono infatti sfruttate direttamente le superfici di albero e/o foro nella cassa su cui si rotoleranno i corpi volventi. Solitamente gli elementi volventi sono tenuti in posizione da una struttura – di solito in materiale plastico- detta gabbia. Fanno eccezione, ad esempio, le configurazioni a pieno riempimento in cui la gabbia non è presente.

A questi componenti sempre presenti spesso si aggiungono altre parti come le tenute. Queste hanno il duplice scopo di trattenere il lubrificante all'interno del cuscinetto ed impedire l'ingresso di corpi estranei quali polvere o sporco che potrebbero portare ad un cedimento prematuro.

Come vincolare i cuscinetti è poi un altro aspetto fondamentale della buona progettazione. In primis bisogna comprendere come il carico si ripartisca tra i vari elementi di supporto. In particolare, si considererà un supporto come fisso quando questo andrà a trasmettere le spinte assiali in entrambe le direzioni, mentre si parlerà di cuscinetto mobile quando questo non trasmetterà spinte assiali. Un cosiddetto supporto di spinta, invece, si avrà quando il cuscinetto sarà tale da trasmettere la spinta assiale in una sola direzione. Nella configurazione a supporto di spinta si distingue tra supporto appoggiato qualora i cuscinetti (a coppie) siano in grado di assorbire la forza assiale in una direzione e supporto flottante quando il componente tende ad assestarsi da solo per cui è possibile adottare un montaggio più semplice.

Parametri caratteristici

Inclinazione

L'inclinazione del cuscinetto dipende dai raggi di curvatura degli elementi volventi e delle piste di rotolamento. La sua definizione varia al variare della tipologia di cuscinetto. Per il caso più semplice dei cuscinetti a sfera, ad esempio, l'inclinazione risulta definita come

$$k_{JA} = \frac{(r_{JA} - 0,5D_W)}{0,5D_W}$$

con riferimento a figura 2.

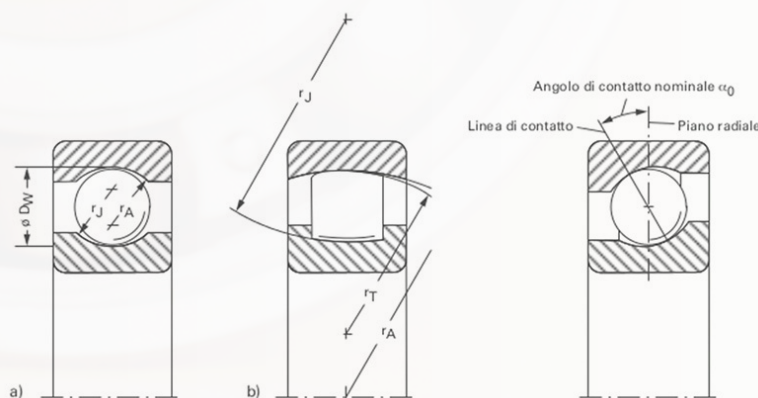


Fig. 2 - Caratteristiche geometriche del cuscinetto

Caratteristiche \ Tipo di cuscinetto	Cuscinetti radiali a sfere	Cuscinetti obliqui a sfere	Cuscinetti obliqui a sfere a due corone	Cuscinetti obliqui a sfere accoppiati	Cuscinetti orientabili a sfere	Cuscinetti a rulli cilindrici	Cuscinetti a rulli cilindrici NU	Cuscinetti a rulli cilindrici NUP	Cuscinetti a rulli cilindrici a due corone	Cuscinetti a rulli ad ago	Cuscinetti a rulli conici	Cuscinetti a rulli conici a doppia corona e a quattro corone	Cuscinetti orientabili a rulli	Cuscinetti assiali a sfere	Cuscinetti assiali a rulli cilindrici	Cuscinetti assiali orientabili a rulli
Capacità di carico	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Spinta assiale	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
Elevato numero di giri ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Elevata precisione di rotazione ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Rumorosità limitata/vibrazioni ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Bassa coppia di rotolamento ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Elevata rigidità ¹⁾			☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Resistenza a Vibrazioni/urti ¹⁾			☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Disallineamento ammesso per ¹⁾ di anelli interno/esterno	☆☆				☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆

Tab.1: scelta della tipologia di cuscinetti [1]

Inclinazioni strette ($k_{j,A} \rightarrow 0$) consentono maggiori capacità di carico mentre inclinazioni maggiori portano a maggior efficienza del cuscinetto e minor sensibilità ai ribaltamenti.

Angolo di contatto

L'angolo di contatto rappresenta l'angolo tra il piano radiale e la linea di influenza del carico del corpo volvente. Nei cuscinetti a sfere è opportuno distinguere tra angolo di contatto nominale ed angolo di contatto in esercizio α_0 che cambia all'aumentare del carico. In base all'angolo di contatto varierà la relazione tra le forze assiali e quelle trasversali.

Gioco

Il gioco rappresenta la libertà che gli anelli del cuscinetto, in assenza di carichi, hanno di spostarsi radialmente ed assialmente. Per alcune tipologie di cuscinetto come quelli a rulli conici, il gioco può essere regolato durante la fase di montaggio con opportuni spessori o ghiera che consentono di avvicinare assialmente i cuscinetti. La posizione assiale di una pista rispetto all'altra, infatti, determina il gioco del cuscinetto. Un gioco radiale troppo elevato porta ad eccessiva imprecisione del cuscinetto e una ripartizione non omogenea del carico sui corpi volventi. Un gioco troppo stretto, invece, può portare ad eccessivi strisciamenti con surriscaldamento del cuscinetto che, in casi estremi, si blocca completamente non riuscendo a compensare le dilatazioni termiche.

Rigidezza

La rigidezza è indicativa della capacità del cuscinetto di opporsi alla deformazione sotto carico e dipende fortemente dalla tipologia dello stesso.



Tipi di cuscinetto

Esistono molteplici tipologie di cuscinetto che si differenziano per caratteristiche e tipologia di elementi volventi.

Cuscinetti radiali a sfere

A gola profonda: sono adatti sia come cuscinetti fissi che come cuscinetti mobili. Sono cuscinetti economici che presentano basso attrito. A seconda del tipo di cuscinetto possono essere regolati angularmente fino a 15° e si prestano per regimi di rotazione elevati. Grazie alle elevate coppie ribaltanti, sono adatti per il montaggio di alberi corti supportati da un solo cuscinetto.

Cuscinetti a quattro punti: sono dotati di piste i cui raggi di curvatu-

ra sono sfalsati fra loro. In questo modo le sfere toccano gli anelli in quattro punti. Sono adatti a sopportare carichi assiali ma non sono applicabili nel caso di solo carico radiale.

Cuscinetti a sfere obliqui: esistono a fila singola e doppia. Hanno angoli di contatto compresi tra 15° e 45°. Nel montaggio vanno disposti a coppie e sono particolarmente adatti all'assorbimento di forze assiali elevate.

Cuscinetti per mandrini: caratterizzati da basso attrito ed elevata precisione.

Cuscinetti a sfere oscillanti: insensibili all'elevata inflessione degli alberi sono tipicamente utilizzati in macchinari agricoli o per la lavorazione del legno.

Cuscinetti radiali a rulli

Cuscinetti a rulli cilindrici: adatti per l'assorbimento di elevate forze radiali, possono sopportare anche piccoli carichi radiali.

Cuscinetti a rulli cilindrici a più file: analoghi a quelli cilindrici classici ma adatti a sopportare carichi ancora più elevati.

Cuscinetti a rulli cilindrici completi: caratterizzati dall'assenza della gabbia si distinguono per capacità di carico particolarmente elevate.

Cuscinetti a rullini: svolgono la stessa funzione dei cuscinetti a rulli cilindrici, sono più larghi ma hanno ingombri radiali molto contenuti. Le perdite dovute all'attrito rendono questo tipo di cuscinetto non competitivo dal punto di vista energetico.

Cuscinetti a botte: sono impiegati in alternativa ai cuscinetti a sfere oscillanti nel caso fosse richiesta una regolazione angolare. Hanno basse capacità di carico assiali e sono particolarmente costosi.

Cuscinetti a sfere e rulli assiali

A sfera a gola profonda assiali: possono assorbire forze assiali.

Cuscinetti a rulli cilindrici assiali: in grado di assorbire elevati carichi soprattutto a basse velocità. Le perdite di potenza aumentano notevolmente all'aumentare del numero di giri dato che gli assi non si intersecano in nessun punto. Cuscinetti a rulli conici assiali: adatti a portare carichi assiali particolarmente elevati, sono in grado di compensare i disassamenti.

Cuscinetti obliqui a sfere assiali: trasmettono forze al di sotto di un certo angolo, solitamente 60°, da una pista all'altra.

Tabella 1 dovrebbe dare al progettista un aiuto nella scelta della tipologia migliore di cuscinetto da adottare per un caso specifico. Una volta scelta la tipologia, è necessario trovare da catalogo il cuscinetto quanto più vicino alle specifiche richieste in termini di dimensioni e quindi verificarlo.

Resistenza e dimensionamento

La verifica del cuscinetto si basa sul calcolo delle pressioni di contatto che si generano in esercizio tra i corpi volventi e le piste. Se il valore risultasse troppo elevato, potrebbe danneggiare il cuscinetto stesso pregiudicandone il buon funzionamento.

Nella pratica progettuale, sebbene negli ultimi anni i vari costruttori di cuscinetti propongano modelli di calcolo sempre più dettagliati, si effettua un confronto tra un carico equivalente sul cuscinetto ed il limite di carico che quel cuscinetto può sopportare, sia in condizioni statiche che dinamiche. Questo è tale da contenere le

oscillazioni, il rumore e le perdite per attrito entro una certa soglia. La normativa di riferimento per il calcolo dei cuscinetti è la DIN ISO 281 [2]. Lo standard offre una formula che, data la capacità di carico C del cuscinetto ed il carico reale equivalente P , permette di ottenere, con una probabilità di cedimento del 10%, la durata in milioni di cicli.

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

n rappresenta un coefficiente che dipende dal tipo di cuscinetto (3 per i cuscinetti a sfere, 10/3 per quelli a rulli).

Il carico equivalente P viene calcolato a partire dal carico radiale ed assiale che agiscono sul cuscinetto sulla base di coefficiente tabellati dipendenti dalla tipologia di cuscinetto.

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

Oltre alla verifica in condizioni dinamiche, è anche necessario verificare che il coefficiente di sicurezza statico, definito come il rapporto tra la capacità di carico statica del cuscinetto C_0 ed il carico statico equivalente P_0 sia maggiore di un valore ammissibile scelto dal progettista. Infine, per il buon funzionamento del cuscinetto, è necessario garantire un carico minimo, tipicamente pari all'1 o 2% di C , in modo da assicurare contatto senza strisciamento tra elementi volventi e piste in modo da prevenire la formazione di micropitting. Si capisce dunque come un sovradimensionamento del cuscinetto non porti benefici garantendo coefficienti di sicurezza maggiori ma, al contrario, possa portare a problemi di deterioramento del cuscinetto.

Si capisce dunque come anche la scelta di un cuscinetto, cosa che a molti può sembrare banale, sia in realtà un processo complesso e che spesso porta ad iterazioni prima di arrivare alla soluzione completa.

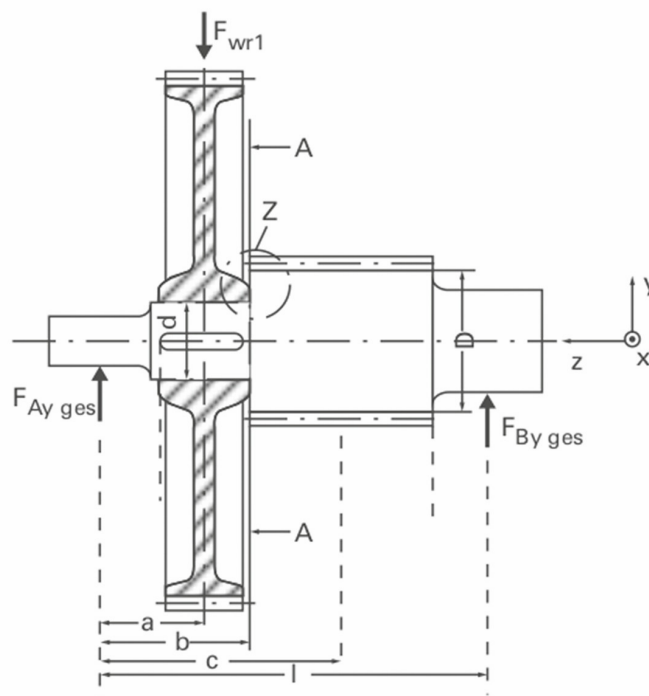


Fig. 3 - Albero supportato da due cuscinetti – esempio tratto da [3]

Esempio pratico

Si immagini di avere un albero supportato da due cuscinetti su cui sono presenti due ruote dentate che deve operare a 1 rpm (per semplificare la trattazione) per 20000 ore.

Agli estremi andranno montati due cuscinetti di supporto. L'entità delle forze agenti sui supporti è riportata in tabella 2 [3].

F_{AX} 3534 N	F_{BX} 3105 N
F_{AY} 4467 N	F_{BY} 6624 N
P_A 5695 N	P_B 7315 N

Essendo entrambe le ruote a denti dritti e lavorando l'albero in direzione orizzontale, i cuscinetti non saranno gravati da spinte assiali. La scelta ricadrà dunque su cuscinetti portanti. Si supponga poi che il diametro minimo dell'albero in corrispondenza del cuscinetto A sia $d_A \geq 45$ mm mentre in corrispondenza del cuscinetto B $d_B \geq 110$ mm. Per motivi di costo, si supponga di volere, in corrispondenza del supporto A, un cuscinetto a sfere. Questa è la tipologia più semplice ed economica di cuscinetto. Il catalogo offre, per un diametro interno pari a 45mm, diverse soluzioni

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n = \left(\frac{6.1}{5.7}\right)^3 = 1.22 \text{ E6 cicli nel caso del cuscinetto 61809}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n = \left(\frac{10.8}{5.7}\right)^3 = 6.80 \text{ E6 cicli nel caso del cuscinetto 61909}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n = \left(\frac{10.8}{5.7}\right)^3 = 6.80 \text{ E6 cicli nel caso del cuscinetto 16009}$$

Operando l'albero a 1 rpm, in 20000h compirebbe 1.20E6 rivoluzioni. Il cuscinetto 61809 sembra riuscire a superare la durata richiesta ma per maggiore sicurezza converrebbe optare per un cuscinetto 61909 o 16009. La scelta andrà fatta sulla base degli spazi disponibili. A pari capacità di carico, le due soluzioni hanno ingombri assiali e radiali differenti.

Il secondo supporto ha un albero il cui diametro risulta molto maggiore. Anche in questo caso un cuscinetto a sfere potrebbe essere adatto. Da catalogo si potrebbe optare per il 61822 avente una capacità di carico pari a 26kN.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n = \left(\frac{26}{7.3}\right)^3 = 45 \text{ E6 cicli nel caso del cuscinetto 61822}$$

In entrambi i casi, i coefficienti di sicurezza statici risultavano sufficienti.

$$S_{FA} = \frac{14}{5.7} = 2.4 \text{ nel caso del cuscinetto 61909}$$

$$S_{FB} = \frac{28.1}{7.3} = 3.8 \text{ nel caso del cuscinetto 61822}$$

Conclusioni

I cuscinetti sono tra gli organi meccanici più utilizzati e servono a trasferire forze tra elementi in moto relativo tra loro. Ne esistono molteplici versioni che si differenziano per dimensioni, geometria, tipologia ed impiego. Nella scelta del cuscinetto, quindi, è importante valutare la soluzione più adatta per il caso specifico. I rating base passano attraverso una verifica statica dei carichi e dinamica della durata del cuscinetto, ma calcoli più di dettaglio [4] possono essere fatti per caratterizzare i supporti sotto diversi punti di vista (rigidezze, deflessioni, rendimento ecc.).

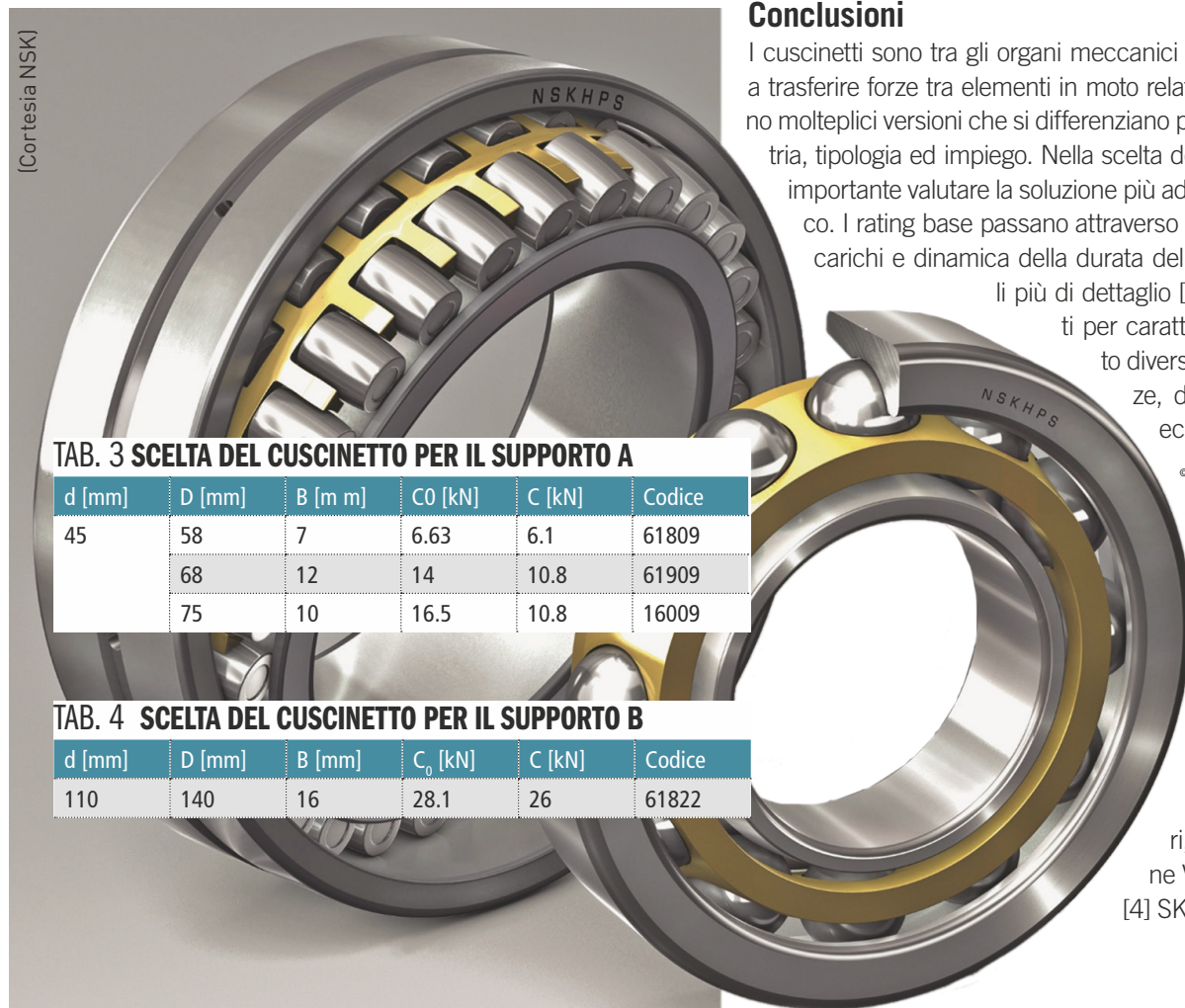
© RIPRODUZIONE RISERVATA

TAB. 3 SCELTA DEL CUSCINETTO PER IL SUPPORTO A

d [mm]	D [mm]	B [mm]	C ₀ [kN]	C [kN]	Codice
45	58	7	6.63	6.1	61809
	68	12	14	10.8	61909
	75	10	16.5	10.8	16009

TAB. 4 SCELTA DEL CUSCINETTO PER IL SUPPORTO B

d [mm]	D [mm]	B [mm]	C ₀ [kN]	C [kN]	Codice
110	140	16	28.1	26	61822



Bibliografia

- [1] www.nskitalia.it
- [2] DIN ISO 281:2007
- [3] ORGANI DI MACCHINE – Assi ed alberi, Organi di Trasmissione Vol.2014.3 pp 34-36
- [4] SKF - I cuscinetti volventi