

I SUPPORTI

Disegno di macchine 2°
2009-2010

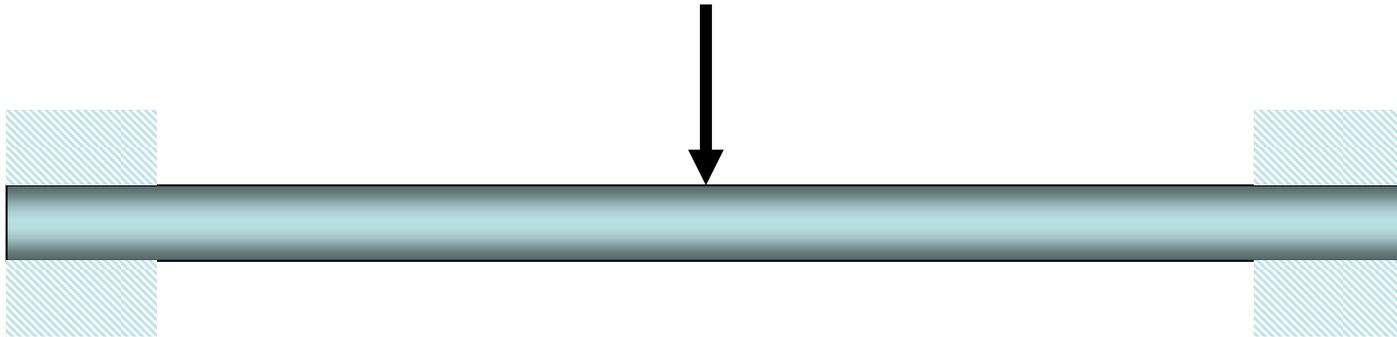
DEFINIZIONI

- Nelle macchine i cuscinetti sono quegli organi che consentono di realizzare i supporti di collegamento tra elementi in movimento e struttura portante.
- Essi svolgono la funzione strutturale di trasmettere le reazioni vincolari e di collegare elementi in moto relativo.
- In generale si chiama perno l' elemento rotante interno e mozzo, o cuscinetto, l' elemento di contenimento esterno.

FUNZIONE DEI CUSCINETTI

- A causa del moto relativo in presenza di carico l' attrito, inevitabilmente presente, genera una dissipazione di energia che deve essere limitata al fine non avere temperature di equilibrio termico incompatibili con la resistenza dei materiali e di non rendere energeticamente inaccettabile l' esercizio della macchina stessa.

Esempio



Supponiamo di caricare un elemento cilindrico di diametro 50 mm con una forza di 2000 N e di farlo ruotare a 2000 g/min. Se il coefficiente di attrito è 0.2, la potenza dissipata per attrito è:

$$P = 2 \cdot \left[F \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot \frac{d}{2} \cdot f \right] = 2 \cdot \left[1000 \cdot \frac{2\pi \cdot 2000}{60} \cdot \frac{0.05}{2} \cdot 0.2 \right] = 2.1 \text{ kW}$$

Cioè per mantenerlo in rotazione è necessario spendere 2.1 kW

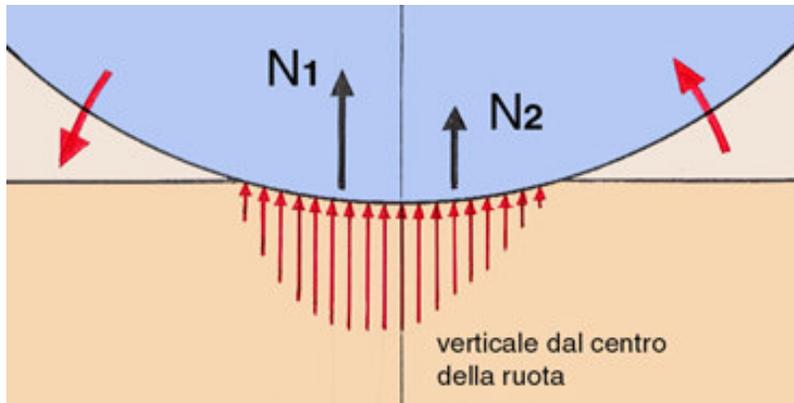
E' QUINDI NECESSARIO MINIMIZZARE L'ATTRITO

TIPI DI CUSCINETTI

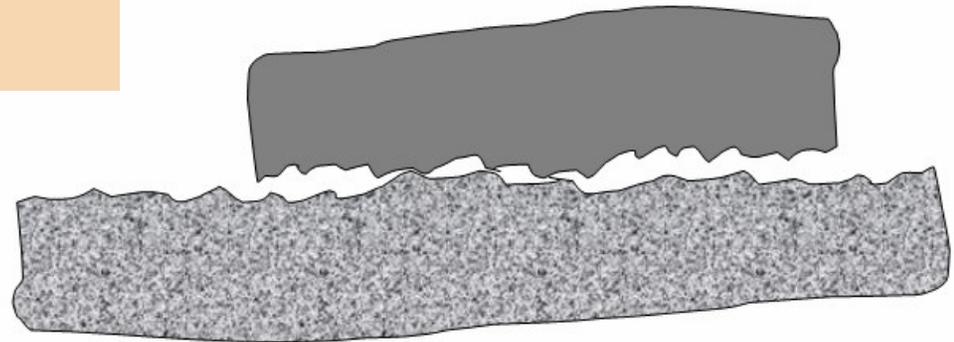
- L'obiettivo di minimizzare l'attrito può essere conseguito in due modi
 - frapponendo tra gli elementi in moto relativo opportuni corpi volventi, trasformando cioè l'attrito da radente in volvente
 - interponendo tra essi un lubrificante e conformando il cuscinetto in modo che tale fluido, in tutte le condizioni operative, permanga tra le superfici in moto.

Tipi di attrito

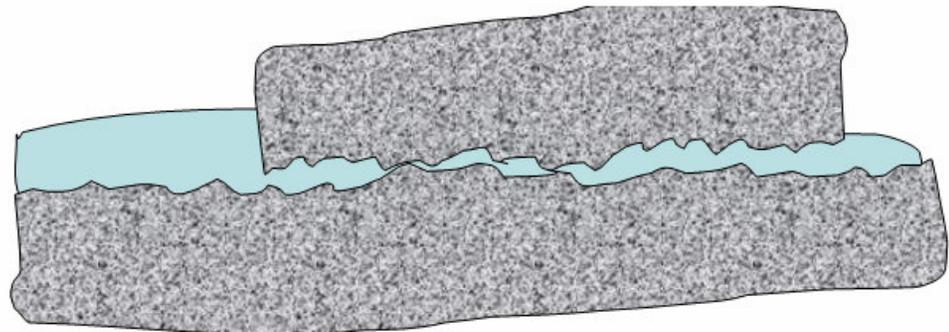
Volvente



Radente a secco



Radente con lubrificante



TIPI DI CUSCINETTI

- Nel primo caso si hanno i cuscinetti volventi
- Nel secondo caso si hanno i cuscinetti a strisciamento



Tipi di cuscinetti

- In realtà si può ottenere la separazione degli elementi in moto usando anche opportuni campi magnetici, realizzati con la presenza di avvolgimenti elettrici statorici, sul mozzo, e avvolgimenti rotorici, sul perno.
- Questi sono i cuscinetti magnetici attivi.
- E' una soluzione molto complessa che consente, facendo il vuoto nella camera compresa tra perno e cuscinetto, di ottenere un attrito bassissimo
- Per le sue caratteristiche di complessità questo tipo di cuscinetti sono impiegati in applicazioni speciali, quali, ad esempio, le pompe per altissimo vuoto e i giroscopi dei satelliti

Cuscinetti Magnetici



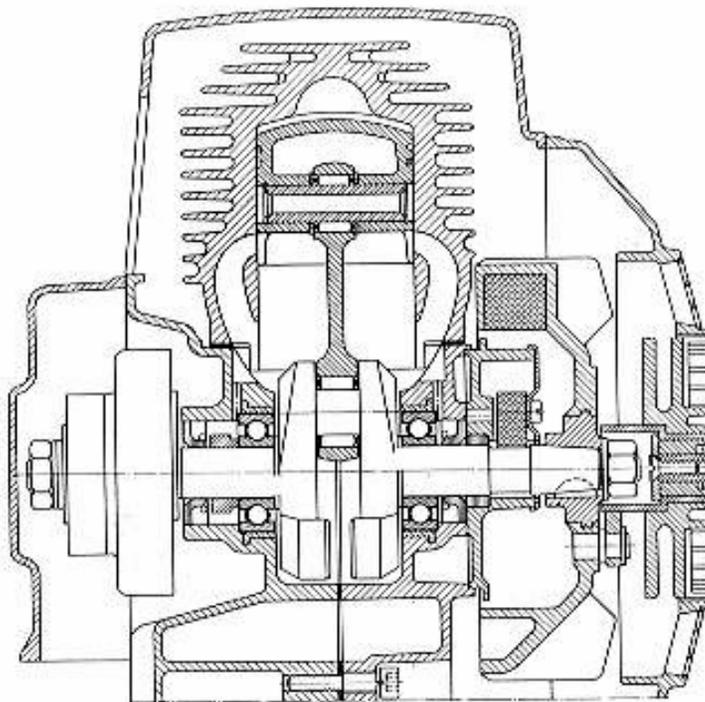
Caratteristiche dei cuscinetti

- i cuscinetti volventi:
 - Sono affidabili
 - sono soggetti a vita d'uso limitata a causa dei fenomeni di fatica;
 - presentano un ingombro radiale non trascurabile;
 - possono essere facilmente reperiti sul mercato, essendo unificate le loro forme e dimensioni ed essendo prodotti in serie;
 - sono di montaggio complesso;
 - sono rumorosi.

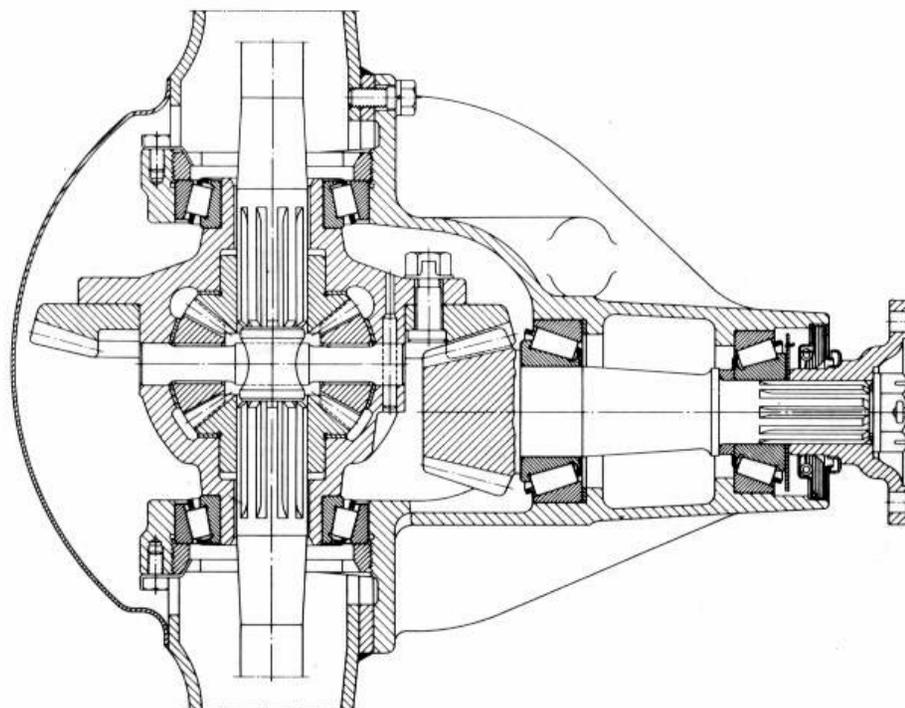
Caratteristiche dei cuscinetti

- I cuscinetti a strisciamento:
 - sono silenziosi;
 - sono facili da montare;
 - resistono bene a urti e vibrazioni;
 - sono meno costosi;
 - necessitano di manutenzione;
 - Hanno bisogno di precise condizioni di funzionamento (termiche, meccaniche, ecc.)
 - hanno un rilevante ingombro assiale;
 - soffrono le variazioni di velocità in intensità e verso

Applicazione dei cuscinetti

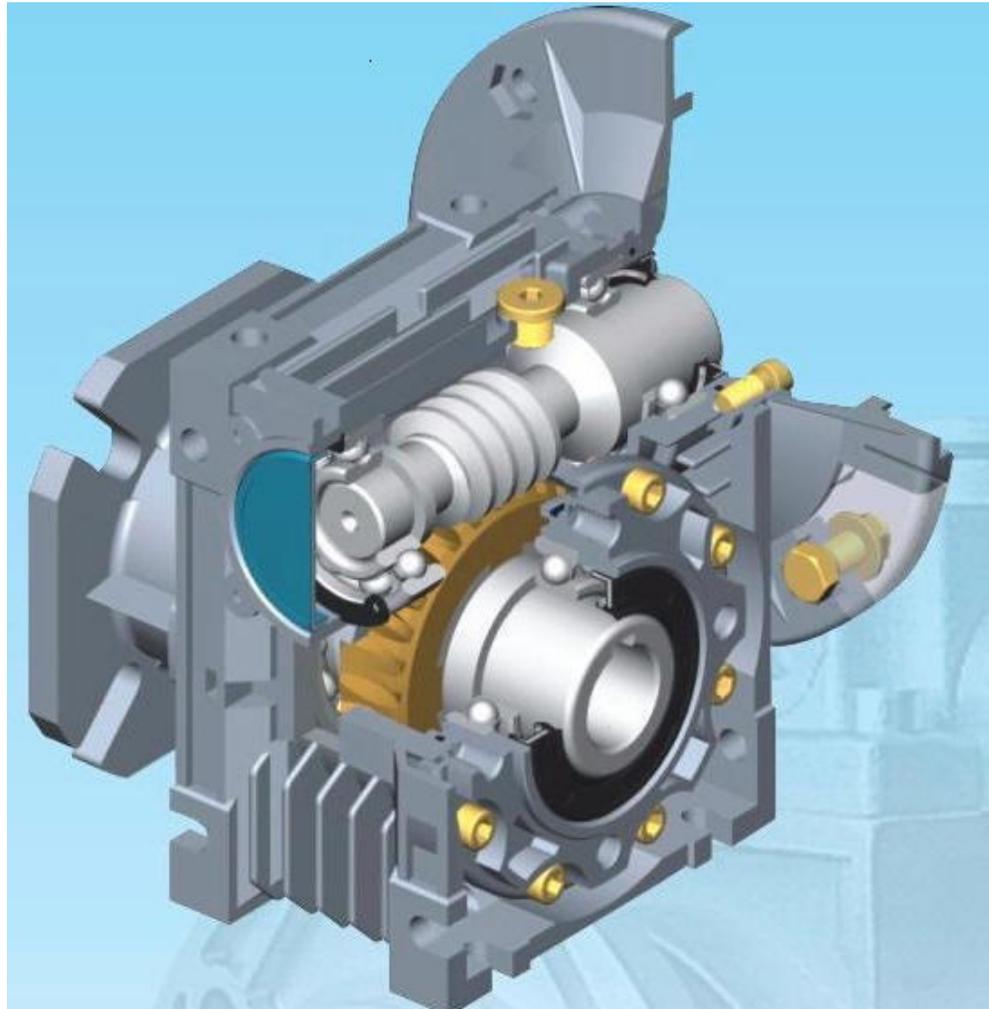


Motore a 2 tempi



Differenziale posteriore

Applicazione dei cuscinetti



Cuscinetti Volventi

- I cuscinetti volventi sono prodotti di grande serie
- Vengono pertanto costruiti da grandi aziende che sono in grado di sostenere i costi di ricerca e produzione ripartendoli su un numero enorme di esemplari
- Tutto il materiale seguente è tratto dal sito http://www.skf.com/portal/skf_it/home

Principi per la scelta e l'applicazione dei cuscinetti

Un sistema di cuscinetti non è solo costituito da questi, ma comprende anche altri componenti, quali l'albero e l'alloggiamento. Anche il lubrificante è un elemento importante del sistema di cuscinetti, in quanto deve impedire l'usura e proteggere contro la corrosione, in modo che i cuscinetti possano esplicare correttamente tutte le loro funzioni. Non bisogna inoltre dimenticare le protezioni, le cui prestazioni sono di vitale importanza per la pulizia del lubrificante. La pulizia ha un'influenza considerevole sulla durata di esercizio dei cuscinetti e, per questo motivo, i lubrificanti e gli anelli di tenuta sono diventati parte integrante del business SKF.

Per progettare un sistema di cuscinetti è necessario

- scegliere i tipi di cuscinetti più idonei e
- determinarne le dimensioni appropriate,

Principi per la scelta e l'applicazione dei cuscinetti

ma non è tutto. Si devono considerare molti altri aspetti:

- la forma e l'esecuzione più opportuna degli altri componenti del sistema,
- gli accoppiamenti appropriati e il gioco interno dei cuscinetti o il loro precarico,
- i dispositivi di ancoraggio,
- le protezioni più idonee,
- il tipo e la quantità di lubrificante,
- i metodi di installazione e di smontaggio, ecc.

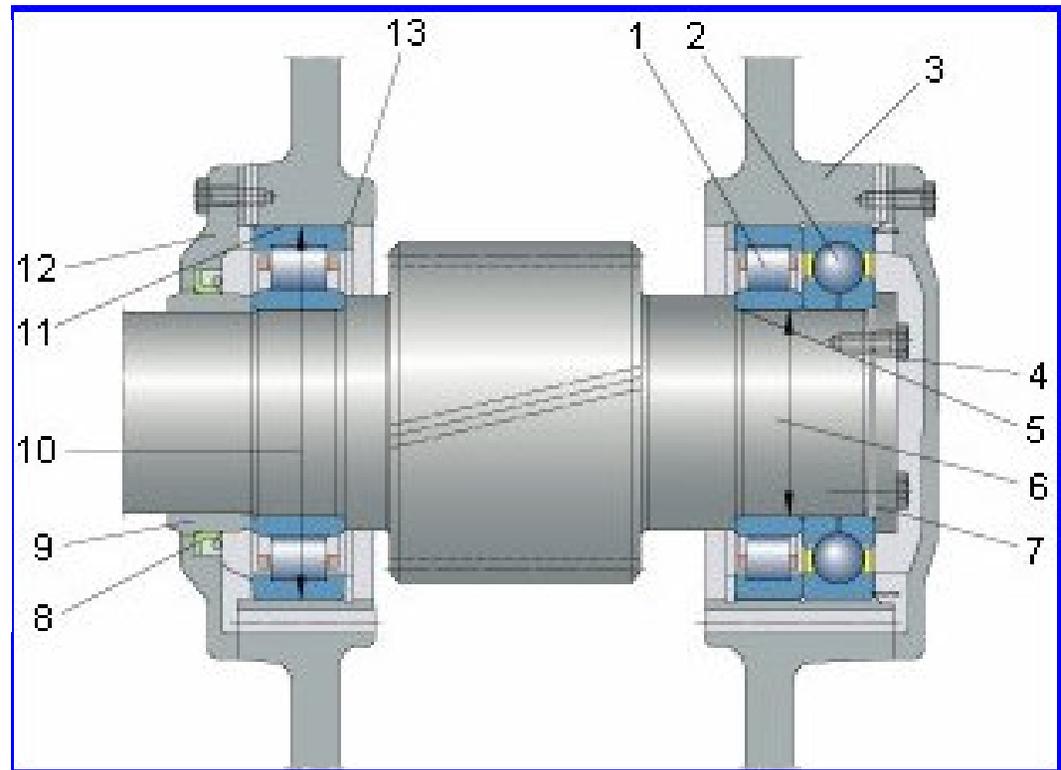
Ogni singola decisione influisce sulle prestazioni, sull'affidabilità e sull'economia dell'intero sistema di cuscinetti.

L'entità di lavoro da fare dipende da quanta esperienza si ha circa sistemi analoghi. Quando manca l'esperienza o si hanno particolari esigenze oppure si deve fare particolare attenzione ai costi, occorre fare un lavoro più approfondito, ad esempio eseguendo calcoli più accurati e/o prove pratiche.

TERMINOLOGIA CUSCINETTI

Sistema di cuscinetti

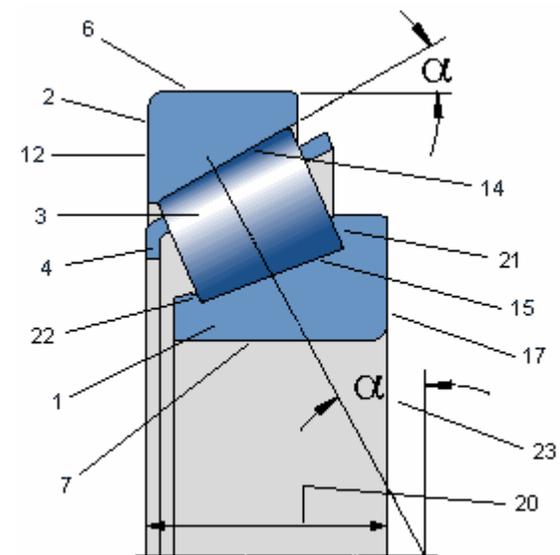
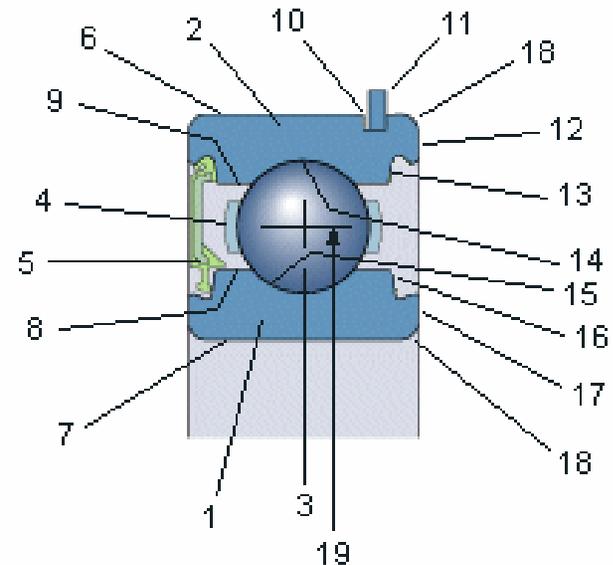
- 1 Cuscinetto a rulli cilindrici
- 2 Cuscinetto a sfere a quattro punti di contatto
- 3 Alloggiamento
- 4 Albero
- 5 Spalleggiamento (o battuta) dell'albero
- 6 Diametro dell'albero
- 7 Piastra di bloccaggio
- 8 Anello di tenuta radiale
- 9 Distanziale
- 10 Diametro del foro dell'alloggiamento
- 11 Foro dell'alloggiamento
- 12 Coperchio dell'alloggiamento
- 13 Anello di ancoraggio



TERMINOLOGIA CUSCINETTI

Cuscinetti radiali

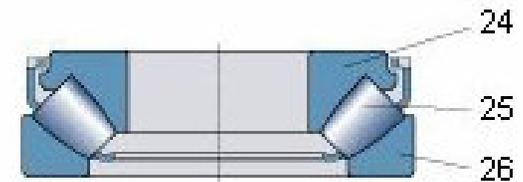
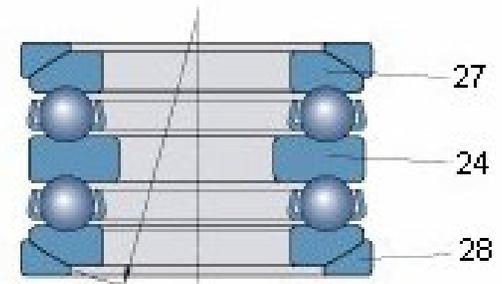
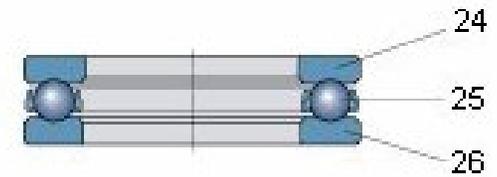
- 1 Anello interno
- 2 Anello esterno
- 3 Corpo volvente: sfera, rullo cilindrico, rullino, rullo conico, rullo a botte
- 4 Gabbia
- 5 Dispositivo di protezione
Guarnizione in elastomero di tipo strisciante (in figura) o non strisciante
Schermo - di lamiera di acciaio, non strisciante
- 6 Diametro esterno dell'anello esterno
- 7 Foro dell'anello interno
- 8 Diametro del bordo dell'anello interno
- 9 Diametro del bordo dell'anello esterno
- 10 Scanalatura per anello di ancoraggio
- 11 Anello di ancoraggio
- 12 Facciata laterale dell'anello esterno
- 13 Scanalatura per l'ancoraggio della guarnizione
- 14 Pista dell'anello esterno
- 15 Pista dell'anello interno
- 16 Scanalatura per la guarnizione
- 17 Facciata laterale dell'anello interno
- 18 Raccordo
- 19 Diametro medio del cuscinetto
- 20 Larghezza totale del cuscinetto
- 21 Orletto di guida
- 22 Orletto di ritenuta



TERMINOLOGIA CUSCINETTI

Cuscinetti assiali

- 24 Ralla interna
- 25 Gruppo corpi volventi-gabbia
- 26 Ralla esterna
- 27 Ralla esterna sferica
- 28 Piastra di orientabilità



Cuscinetti radiali a sfere

a una corona, con o senza taglio sfera
aperti, di esecuzione base (fig)

con schermi

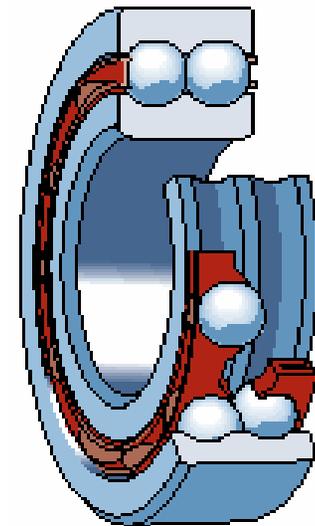
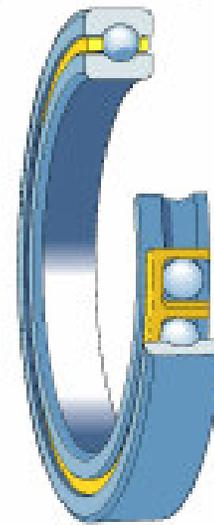
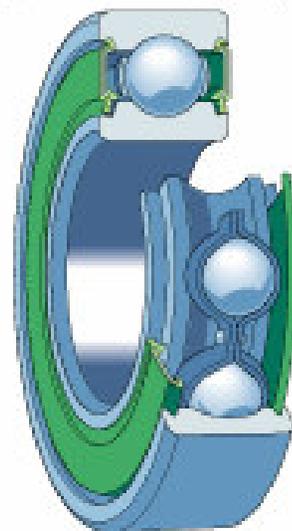
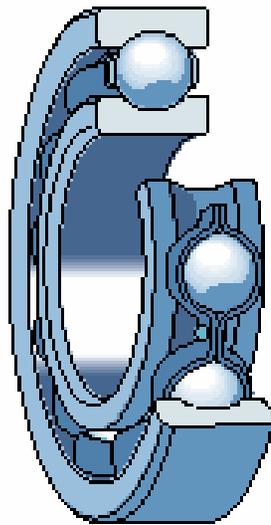
con tenute striscianti (fig)

con scanalatura per anello di ancoraggio, con o senza anello
di ancoraggio

a una corona con sezione costante
aperti, di esecuzione base (fig)

con tenute striscianti

a due corone (fig)



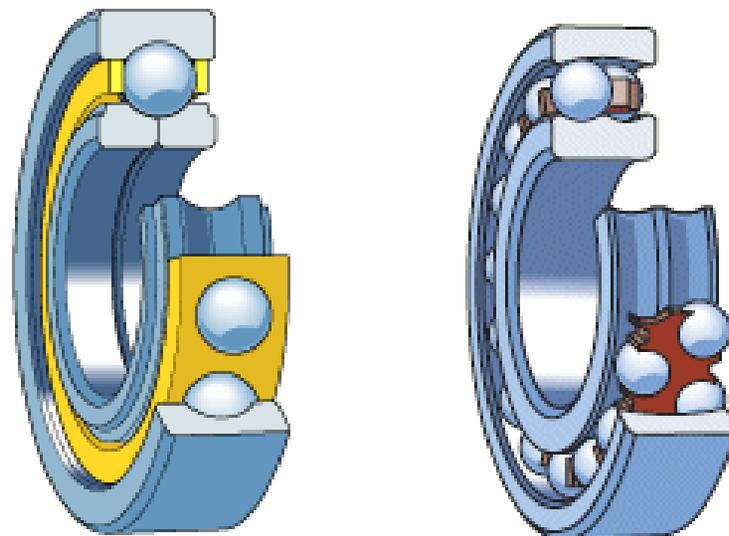
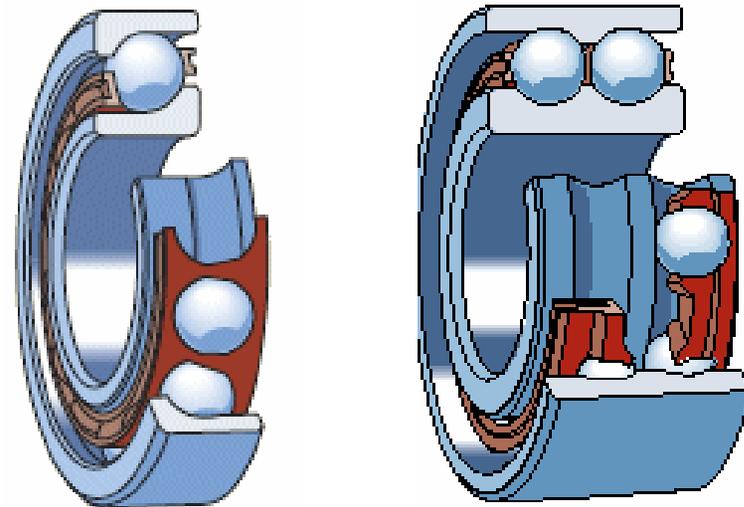
Cuscinetti obliqui a sfere

- a una corona
 - esecuzione di base per montaggio singolo (fig)
 - esecuzione per montaggio universale
- a una corona, di precisione
 - esecuzione di base per montaggio singolo (fig)
 - esecuzione per montaggio universale
 - gruppi di cuscinetti appaiati
- a due corone
 - con anello interno in un solo pezzo
 - aperti, di esecuzione base (fig)
 - con schermi
 - con tenute striscianti
 - con anello interno in due pezzi

Cuscinetti a sfere a quattro contatti (fig)

Cuscinetti orientabili a sfere

- con foro cilindrico o conico
 - aperti, di esecuzione base (fig)
 - con tenute striscianti (fig)
- cuscinetti con anello interno più largo (fig)



Cuscinetti a rulli cilindrici

a una corona

esecuzioni NU, N, NJ, NUP designs ([fig](#))

anello di spalleggiamento

per cuscinetti di esecuzione NU e NJ

a due corone

con foro cilindrico o conico

esecuzione NNU ([fig](#))

esecuzione NN ([fig](#))

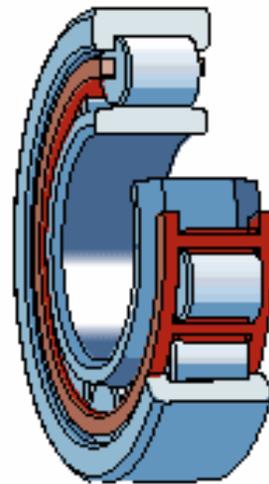
esecuzione NNUP

a quattro corone

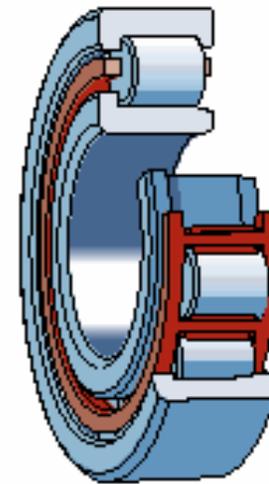
con foro cilindrico ([fig](#)) o conico

esecuzione aperta

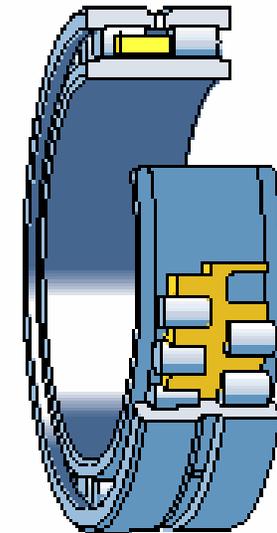
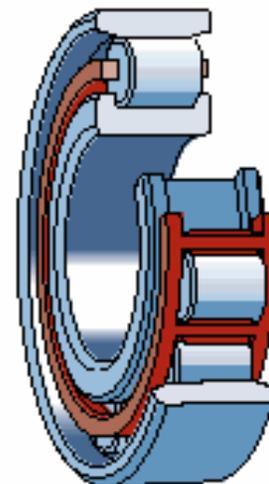
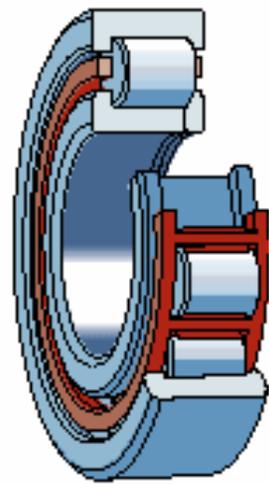
con tenute striscianti



NU



NJ



Cuscinetti a rullini

Gabbie a rullini

a una corona ([fig](#))

a due corone ([fig](#))

Gusci a rullini con estremità aperte

a una e due corone

aperti, di esecuzione base ([fig](#))

con tenute striscianti ([fig](#))

Gusci a rullini con un'estremità chiusa

a una e due corone

aperti, di esecuzione base ([fig](#))

con tenuta strisciante ([fig](#))

Cuscinetti a rullini con orletti

a una e due corone

senza anello interno ([fig](#))

con anello interno ([fig](#))

esecuzione di base, aperta

con tenute striscianti

Cuscinetti a rullini senza orletti

a una e due corone

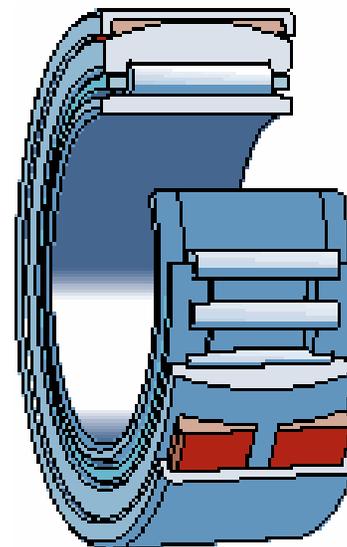
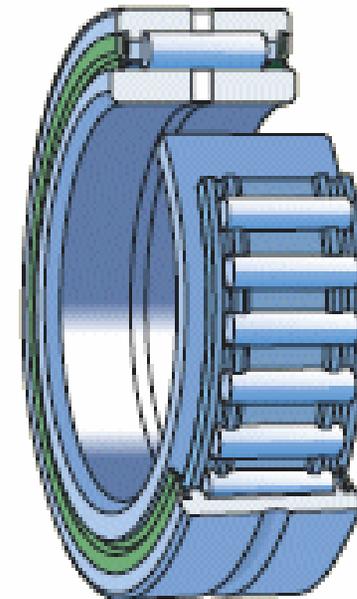
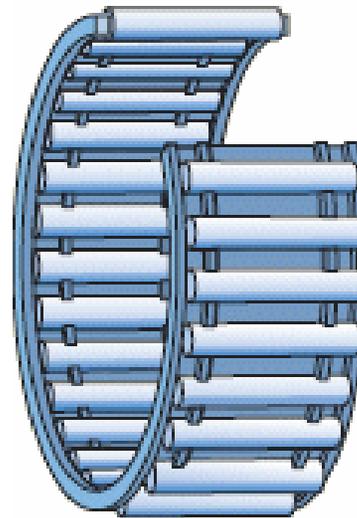
con anello interno ([fig](#))

senza anello interno ([fig](#))

Cuscinetti orientabili a rullini

senza anello interno

con anello interno ([fig](#))



Cuscinetti a rulli conici

a una corona ([fig](#))

cuscinetto singolo

gruppi di cuscinetti appaiati

con disposizione ad "X"

con disposizione ad "O"

con disposizione in tandem

a due corone

configurazione TDO (ad "O") ([fig](#))

configurazione TDI (ad "X") ([fig](#))

a quattro corone

configurazione TQO ([fig](#))

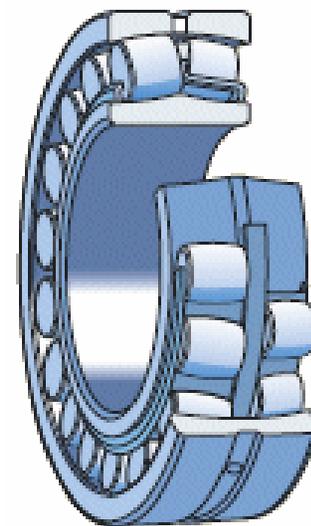
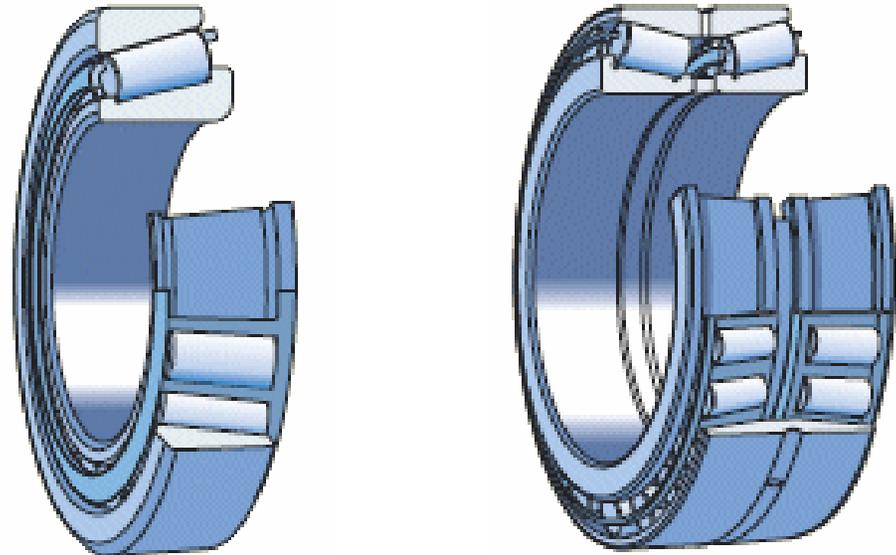
configurazione TQI

Cuscinetti orientabili a rulli

con foro cilindrico o conico

aperti, di esecuzione base ([fig](#))

con tenute striscianti ([fig](#))



Cuscinetti assiali a sfere

a semplice effetto

con ralla esterna piana (fig)

con ralla esterna sferica

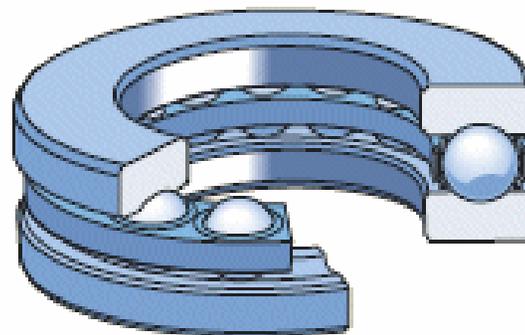
con (fig) o senza ralle di orientabilità

a doppio effetto

con ralle esterne piane (fig)

con ralle esterne sferiche

con (fig) o senza ralle di orientabilità



Cuscinetti assiali obliqui a sfere

a semplice effetto (fig)

a doppio effetto (fig)

cuscinetti di precisione

a semplice effetto

esecuzione di base per montaggio singolo (fig)

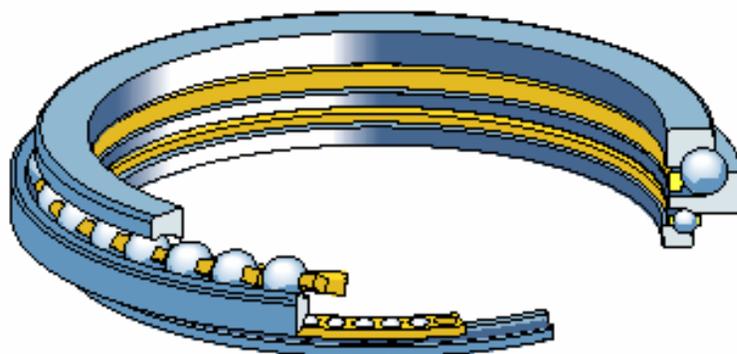
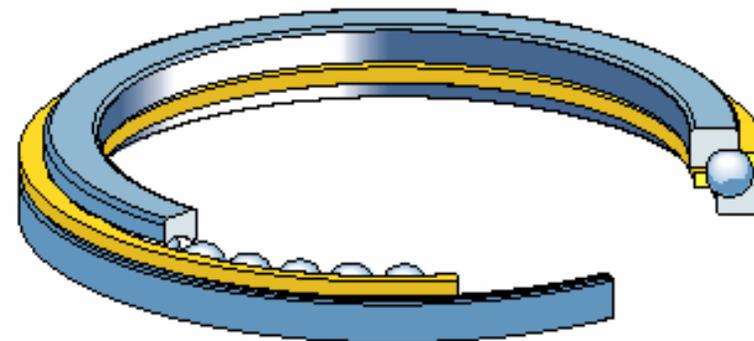
esecuzione per montaggio universale

gruppi di cuscinetti appaiati (fig)

a doppio effetto

esecuzione normale (fig)

esecuzione per alta velocità (fig)



Cuscinetti assiali a rulli cilindrici

a semplice effetto

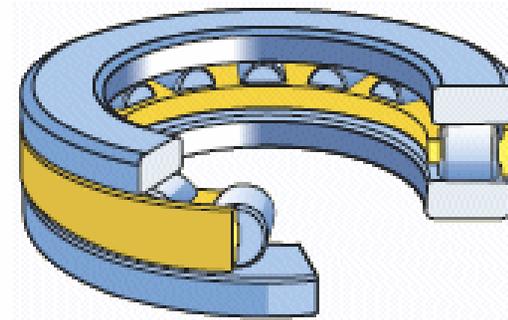
a una corona ([fig](#))

a due corone

componenti

gabbie assiali a rulli cilindrici

rulle interne ed esterne



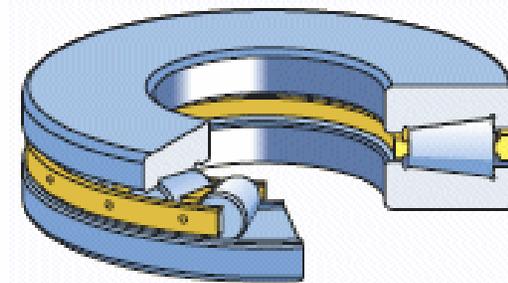
Cuscinetti assiali a rullini

a semplice effetto

gabbie assiali a rullini ([fig](#))

rulle per piste

rondelle assiali



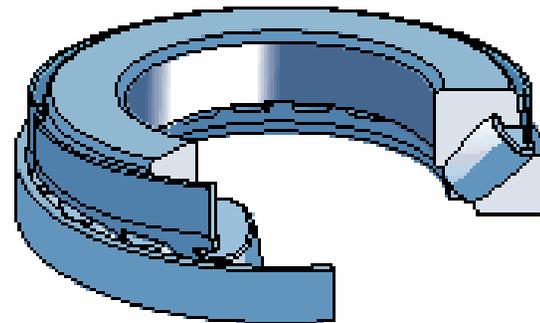
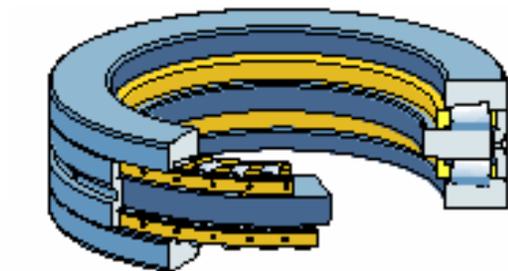
Cuscinetti assiali a rulli conici

a semplice effetto

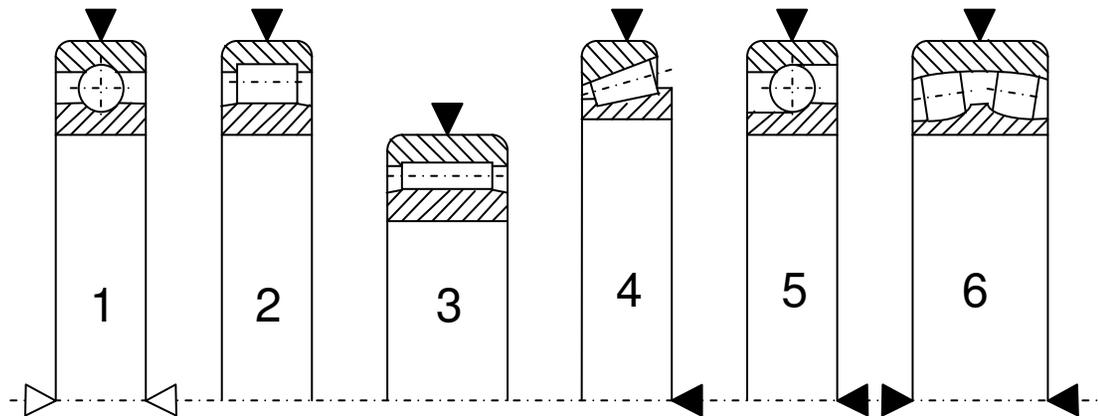
con o senza ([fig](#)) coperchio

cuscinetti per vitoni ([fig](#))

a doppio effetto ([fig](#))



Tipi di cuscinetti volventi

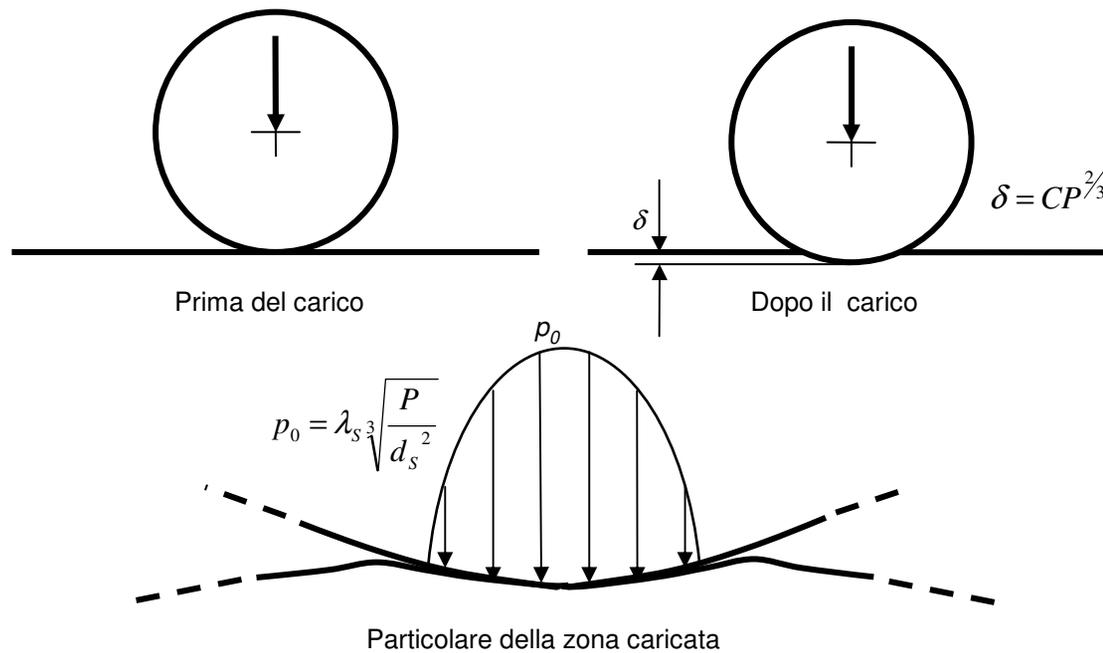


- 1 Cuscinetto radiale a sfere
- 2 Cuscinetto radiale a rulli
- 3 Cuscinetto radiale a rullini
- 4 Cuscinetto obliquo a rulli conici
- 5 Cuscinetto obliquo a sfere
- 6 Cuscinetto a doppia corona di rulli a botte

Cuscinetti volventi

- Per valutare le capacità di resistenza e la durata di un cuscinetto volvente è necessario:
 - Studiare le condizioni di contatto tra piste di rotolamento e corpi volventi
 - Valutare la sollecitazione agente e la resistenza degli elementi a contatto
 - Valutare l'influenza degli altri parametri (temperatura, lubrificazione, impurezze, ecc.)

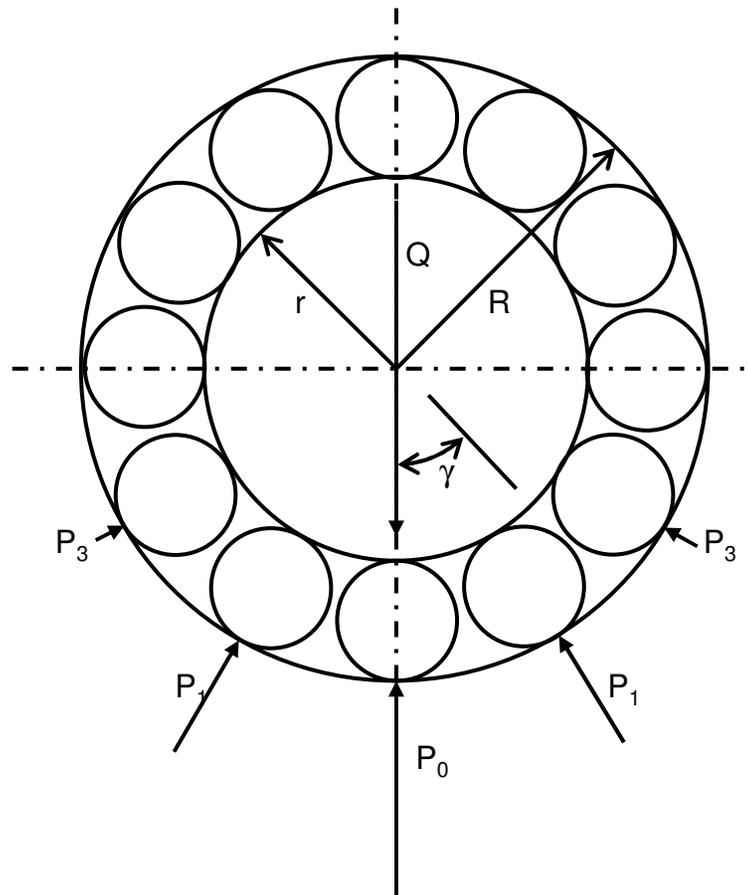
Studio del contatto



Analisi dei carichi sui corpi volventi

- La valutazione delle sollecitazioni nei corpi volventi e negli anelli è un problema assai complesso.
- Infatti, oltre alla presenza degli effetti derivanti dai carichi di contatto, si hanno, durante il funzionamento, continui urti che provocano sovrasollecitazioni difficilmente quantificabili.

Analisi dei carichi

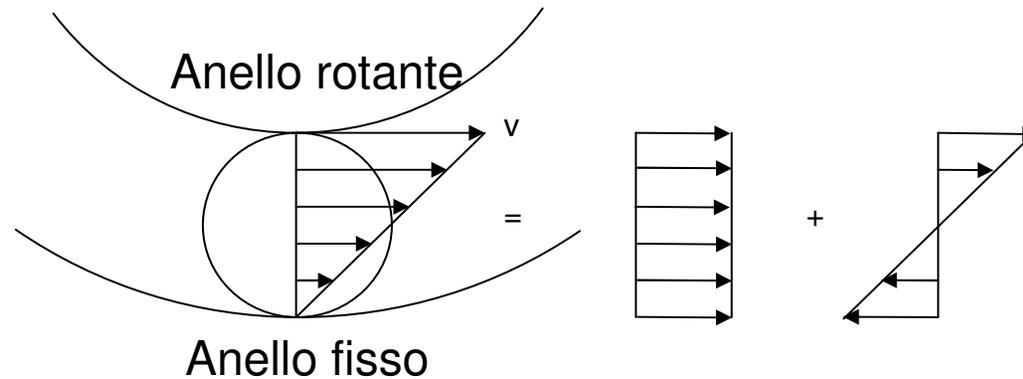


Il carico si ripartisce sui vari corpi volventi in funzione della posizione.

Gli sforzi che si generano al contatto dipendono dai raggi di curvatura dei corpi volventi e degli anelli di contenimento.

La presenza di lubrificante, oltre a diminuire gli attriti contribuisce a distribuire meglio lo sforzo e ad asportare il calore generato dall'attrito

Analisi del ciclo di sollecitazione



La distribuzione delle velocità nel corpo volvente evidenzia come la sfera ruoti attorno al proprio asse e all'asse dell'albero, avendo ipotizzato l'anello esterno fisso e quello interno rotante. Ciò sta a dimostrare che un generico punto sulla superficie della sfera, nella fascia dei contatti, transita da una zona carica ad una zona scarica e dalla posizione di massima sollecitazione a quella di minima.

In tal modo risulta dimostrato come la sollecitazione agente sia rappresentata da un ciclo.

Verifica a fatica

Come è abituale, la verifica si esegue imponendo

$$p_0 \leq \sigma_{cont} (fatica)$$

esplicitando il legame tra carico e numero di cicli si ottiene la relazione

$$Q^m N = k_0$$

con $m = 3$ per sfere e $10/3$ per rulli, mentre, convenzionalmente, si pone

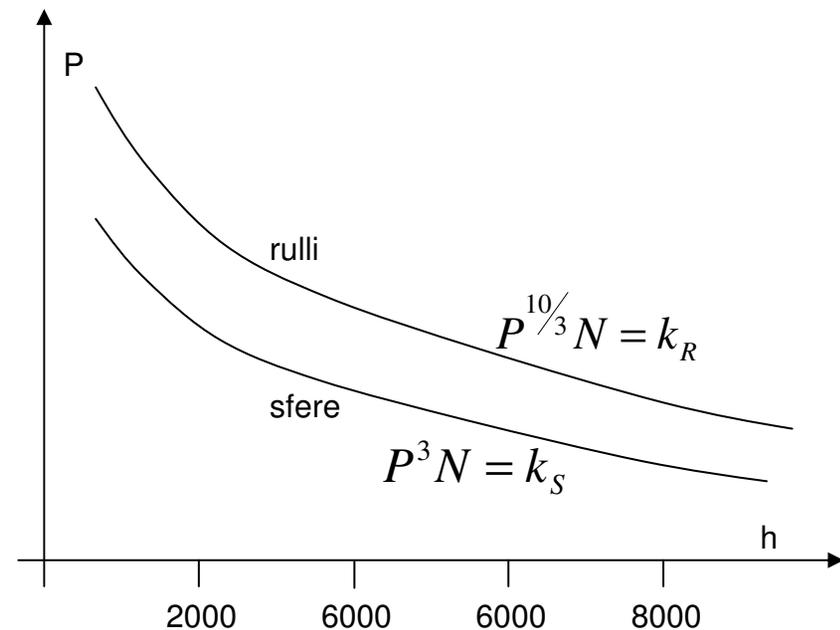
$$k_0 = C^m 10^6$$

il che consente di scrivere:

$$N = \left(\frac{C}{Q} \right)^m 10^6$$

relazione fondamentale per il dimensionamento a durata dei cuscinetti volventi

C è il carico che assicura una durata di 10^6 cicli



Calcolo della durata corretta

- Per tenere conto delle differenze è necessario:
 - Valutare l'effetto della direzione del carico, che può presentare componenti radiale e assiale; ciò può essere fatto sostituendo a Q il carico P equivalente pari a:

$$P = XF_R + YF_a$$

- dove X e Y dipendono dalla conformazione del cuscinetto e dal rapporto F_a / F_r

Calcolo della durata corretta

- Tenere conto delle effettive condizioni di lubrificazione durante il funzionamento; infatti queste ultime influenzano la distribuzione effettiva delle tensioni di contatto (lubrificazione elastoidrodinamica) e la temperatura di funzionamento; si utilizzano di solito dei coefficienti correttivi

Affidabilità

- Dato che la resistenza a fatica è comunque un fenomeno distribuito statisticamente sulle grandi popolazioni di individui nominalmente uguali è necessario tenere conto dell'affidabilità effettiva richiesta al cuscinetto.
- In generale i risultati delle prove sperimentali sono forniti con affidabilità del 90% (significa che il 90% della popolazione cede per valori superiori a quello di riferimento)

Durata corretta

- Per risolvere il problema di adattare la relazione che determina la durata teorica alle condizioni reali si usano coefficienti correttivi.
- La maggior parte dei produttori di cuscinetti suggerisce di utilizzare la relazione seguente in cui L_h è la durata in ore e n è la velocità di rotazione in giri/min

$$L_h = \left(\frac{C}{Q} \right)^m \frac{10^6}{n \cdot 60} a_1 a_{23}$$

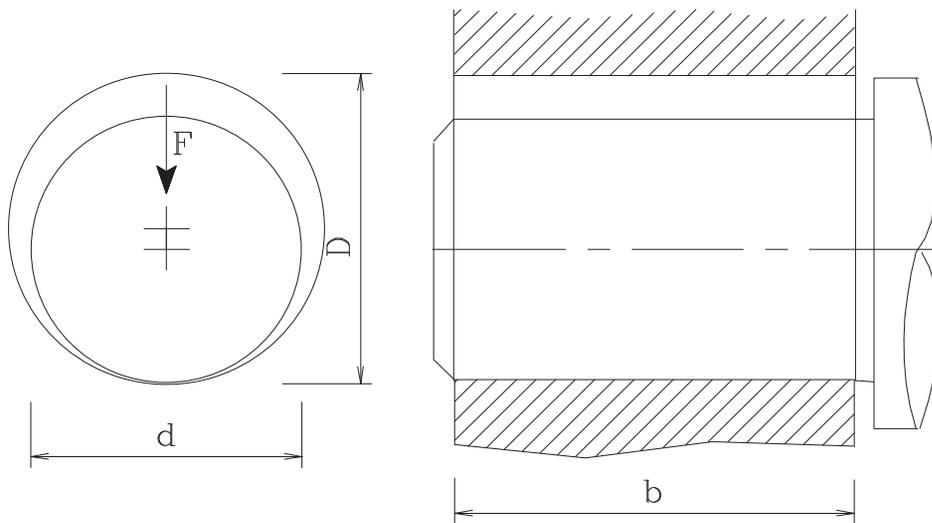
a_1 Coefficiente di affidabilità (vale 1 se l'affidabilità è il 90%)

a_{23} Coefficiente della lubrificazione (tiene conto delle differenze tra la lubrificazione delle prove di qualifica e quella reale)

Cuscinetti a strisciamento

- Nei cuscinetti a strisciamento la lubrificazione dovrebbe garantire il completo distacco delle superfici in moto relativo attraverso l'interposizione di uno strato di lubrificante, detto meato.
- In realtà esistono tre diversi tipi di lubrificazione:
- lubrificazione limite, caratterizzata da un contatto locale tra le superfici continuo ed esteso
- lubrificazione mista, caratterizzata da un contatto locale tra le superfici intermittente e discontinuo
- lubrificazione idrodinamica, caratterizzata dall'assenza completa di contatti.

Condizioni statiche



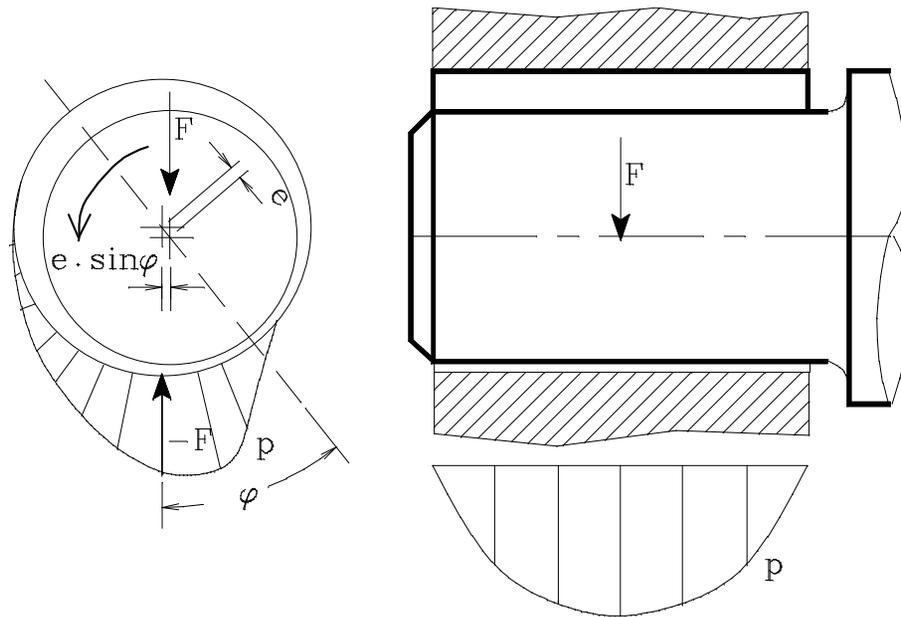
Parametri caratteristici:

- carico agente, valutato attraverso la pressione media

$$p = \frac{F}{b \cdot d}$$

- lunghezza del cuscinetto b
- diametro del perno d
- Diametro del cuscinetto D
- viscosità dinamica μ
- velocità di rotazione n

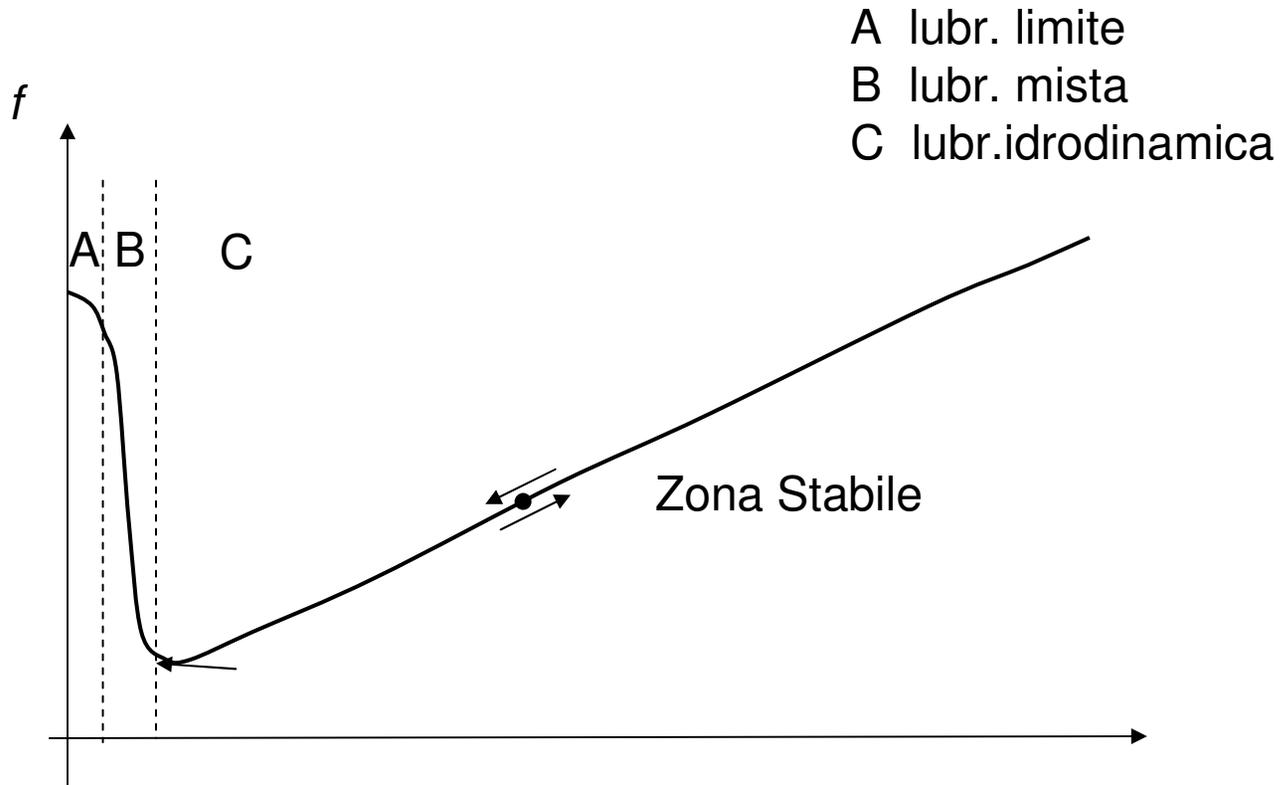
Condizioni dinamiche



$$k = \frac{b}{d}$$

Coefficiente di attrito

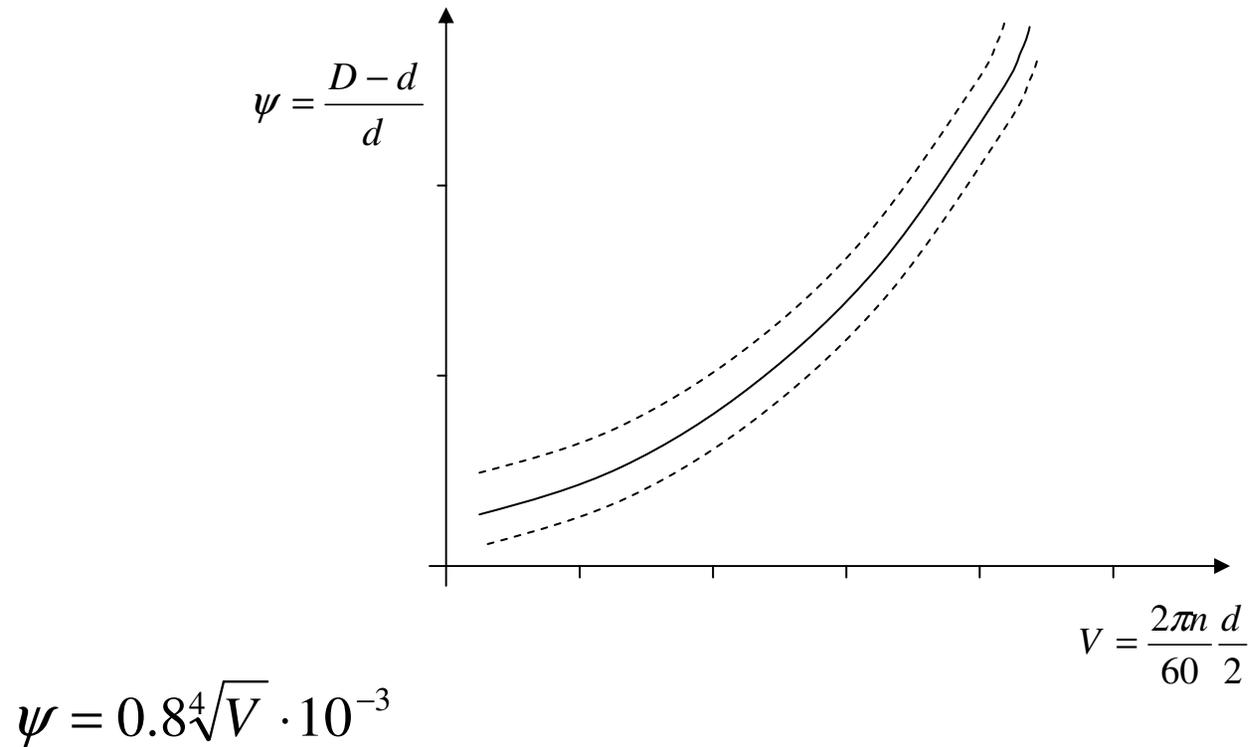
Curva sperimentale



$$N_{cc} = \frac{\mu \cdot n}{p}$$

Dimensionamento del gioco

Curva sperimentale



Materiali

- Proprietà chimiche: resistenza alla corrosione e compatibilità con i lubrificanti impiegati;
- Proprietà termofisiche: compatibilità metallurgica per minimizzare l'usura e il pericolo di grippaggio, elevata conducibilità termica, per facilitare la trasmissione del calore, e coefficiente di dilatazione termica prossimo a quello dei materiali del perno e del supporto
- Proprietà meccaniche: elevata deformabilità elastica e plastica per scaricare adeguatamente i picchi di tensione locale dovuti a contatti anomali, buona penetrabilità, per inglobare i frammenti di materiale distaccati durante la fase di rodaggio, buona resistenza meccanica, per sopportare la distribuzione di pressione in tutte le condizioni di lubrificazione, buona capacità di rodaggio, per ottenere rapidamente una levigatura delle superfici durante la fase di rodaggio.

**NON ESISTE UN UNICO MATERIALE
CON TUTTE LE PROPRIETA' RICHIESTE**

Materiali

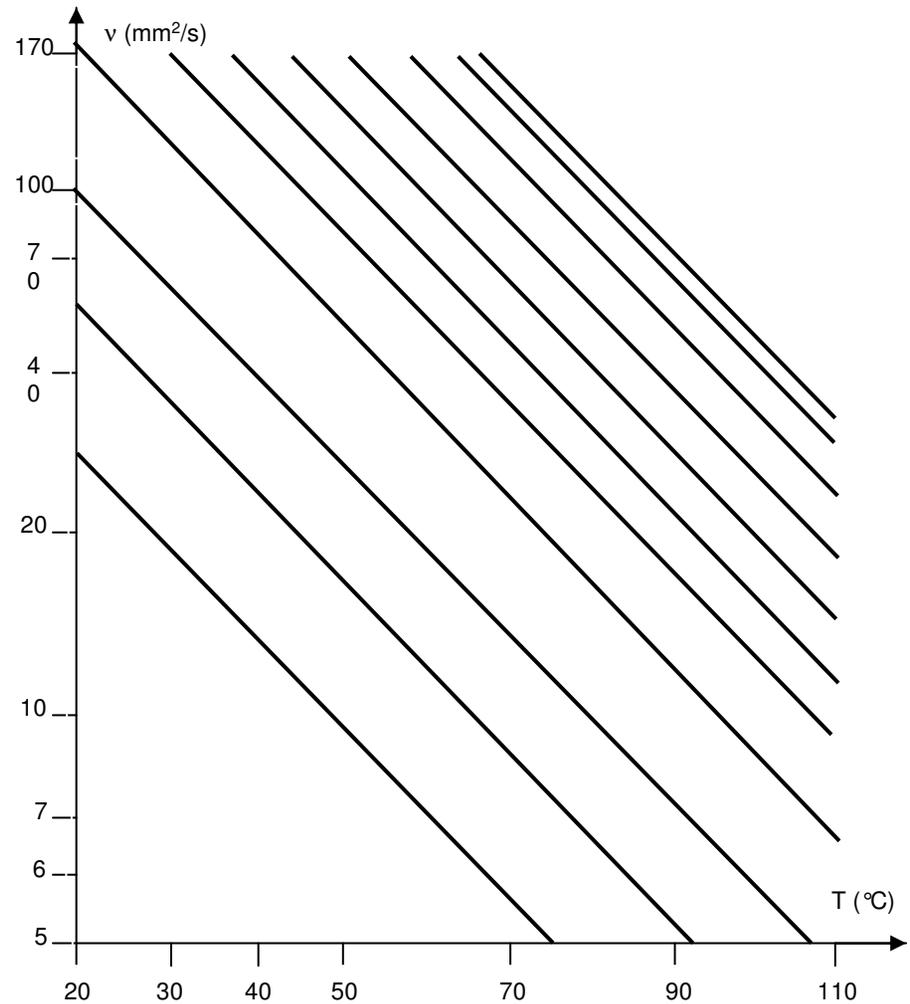
- Il materiale più diffuso è il bronzo, che assicura un buon compromesso. (bronzo comune, al piombo e all' alluminio).
- Per gli impieghi di minore impegno si possono utilizzare materiali plastici quali le resine fenoliche, il PTFE e il Nylon. (materiali autolubrificanti)
- Per i cuscinetti realizzati con più materiali, si usano comunemente cuscinetti bimetallici o trimetallici. Lo strato esterno (a contatto con il supporto) si realizza solitamente in nastro di acciaio, per conferire buona resistenza meccanica, mentre gli strati più interni si possono realizzare in metalli bianchi, leghe a base di stagno o piombo, per conferire una elevata deformabilità locale e una buona penetrabilità. Lo spessore degli strati di rivestimento è dell' ordine di 0.1-0.5 mm.
- Per migliorare la compatibilità con i lubrificanti si utilizzano anche i metalli sinterizzati, che adsorbono il lubrificante che viene successivamente ceduto sotto l' azione dei carichi di funzionamento e riacquistato nelle fasi senza carico.

Lubrificanti

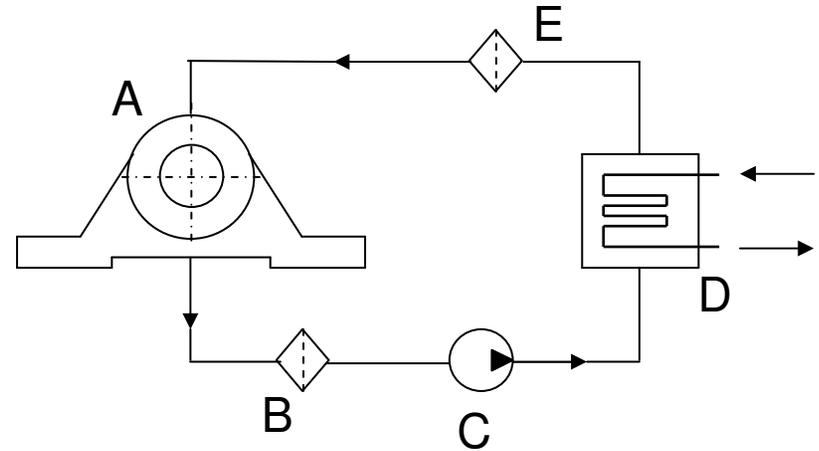
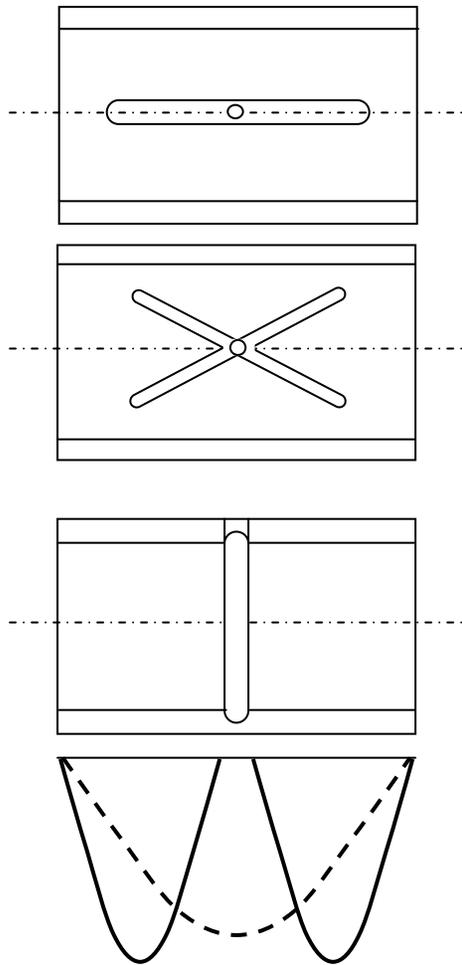
- Nei cuscinetti a strisciamento vengono impiegati per la lubrificazione oli minerali o sintetici e grassi.
- Gli oli minerali vengono distillati e raffinati a partire dall' olio minerale e vengono successivamente additivati per migliorarne le caratteristiche rispetto alle condizioni di reale impiego. I principali additivi sono finalizzati al conseguimento dei seguenti obiettivi:
- Additivi per alte pressioni (EP), per migliorare le condizioni di usura e prevenire il grippaggio.
- Additivi per migliorare l' adesività sulle superfici metalliche.
- Additivi per diminuire la variazione di viscosità con l' aumento di temperatura.
- Inibitori dell' ossidazione, per evitare il deterioramento delle superfici a contatto.
- Detergenti per impedire i depositi sulle superfici metalliche a contatto.

Lubrificanti

- Le grandezze fisiche che esprimono le caratteristiche degli oli sono essenzialmente la viscosità, la sua variazione con la temperatura, l'intervallo di temperature ammissibile, che deve risultare interno alle temperature estreme costituite dal punto di scorrimento e dal punto di infiammabilità.



Adduzione del lubrificante



LUBRIFICAZIONE FORZATA

- A supporto
- B filtro grossolano
- C pompa
- D scambiatore di calore
- E filtro fine