



# CUSCINETTI VOLVENTI

## MODI DI GUASTO

## E CAUSE

P.P. FALCONE

GIUGNO 2008



---

## **Riferimenti:**

**D. Stevens – *Introduction to Bearing Failures***

**Emerson Bearing – *Failure Analysis***

**H. Hirani – *Failure of Rolling Bearings: An Overview***

**Longo – *Rolling Bearing Failures***

**Maintenance Technology Int. – *Troubleshooting Rolling Element Bearing Problem***

**Neale Consulting Engineers – *Rolling Bearing Failures***

**NTN Corp. – *Care and Maintenance of Bearings***

**NSK – *Guida per una corretta diagnosi dei problemi dei cuscinetti volventi***

**NSK – *New Bearing Doctor***

**SKF – *Bearing Failures and their Causes***

**SNR Industry – *Analisi e raccomandazioni per ottimizzare la vita dei cuscinetti***

**Wilcoxon Research – *Bearing Failure: Causes and Cures***



## VITA UTILE DEI CUSCINETTI

Le attuali conoscenze tecnologiche sui cuscinetti volventi permettono di calcolarne la vita utile, considerando lo specifico impiego (velocità di rotazione e carico dinamico), con buona approssimazione. Al termine di questa vita utile, il cuscinetto comincia a presentare segni di deterioramento per fatica. Ogni punto delle superfici di contatto – piste e corpi volventi – è soggetto, ciclicamente, a deformazione per compressione: queste sollecitazioni intermittenti causano col tempo, nel metallo immediatamente al di sotto della superficie, specie in presenza di imperfezioni metallurgiche della struttura, delle piccole incrinature che, gradualmente, si estendono sino a raggiungerla. Il successivo passaggio dei corpi volventi può causare il distacco di frammenti di materiale, cioè sfaldatura o scagliatura (*flaking* o *spalling*). La sfaldatura si allarga, come mostrato dalle figure in basso, sino a rendere inservibile il cuscinetto; questo processo di deterioramento, che richiede un tempo considerevole (in pratica può durare, dal suo inizio, circa il 20 ÷ 30% della vita utile del cuscinetto), si manifesta con rumorosità e vibrazioni di intensità via via crescente.

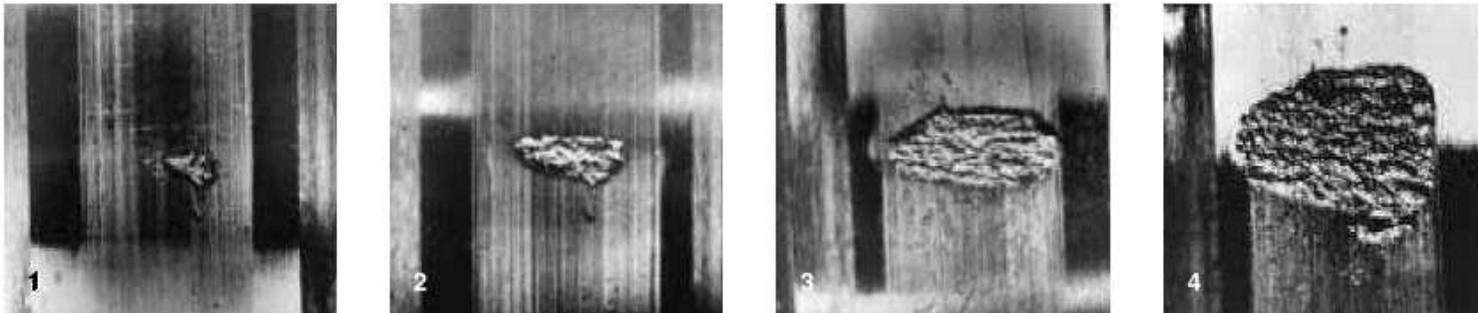


Figure 1 ÷ 4: Fasi successive di sfaldatura



## TRACCE DI PASSAGGIO NORMALI

A seguito del funzionamento sotto carico, le superfici di contatto di un cuscinetto si opacizzano: si tratta di un fenomeno del tutto normale, a condizione che queste aree opache corrispondano alle "tracce di passaggio" tipiche della specifica condizione di funzionamento e di carico del cuscinetto considerato.

La fig. 5 rappresenta un cuscinetto a sfere, con anello interno rotante (assieme all'albero) e anello esterno fisso, sottoposto a un carico radiale unidirezionale  $C_r$ . Sull'anello interno, la traccia di passaggio è una fascia opaca uniforme al centro della pista; su quello esterno la traccia è visibile solo nella zona soggetta a carico, ed è rastremata alle estremità. Se i giochi interni sono normali, questa traccia occupa poco meno di metà della circonferenza. Nel caso di anello interno fisso e anello esterno rotante, le tracce di passaggio si scambiano.

Se, oltre al carico radiale  $C_r$ , è presente anche un carico assiale  $C_a$ , la traccia di passaggio sia sull'anello interno che su quello esterno riguarda l'intera circonferenza, però risulta spostata su un lato della pista (fig. 6); la traccia sulla pista esterna è più larga nella parte soggetta anche al carico radiale (è invece di larghezza costante in caso di solo carico assiale).

Nel caso di cuscinetti reggispinta (fig. 7), le tracce di passaggio su entrambe le ralle sono uguali, al centro delle piste.

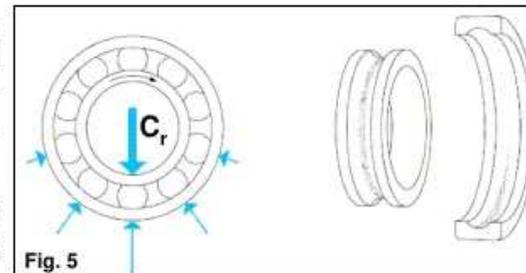


Fig. 5

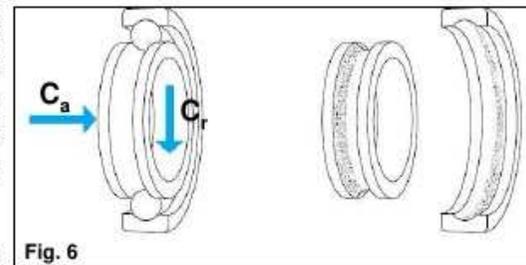


Fig. 6

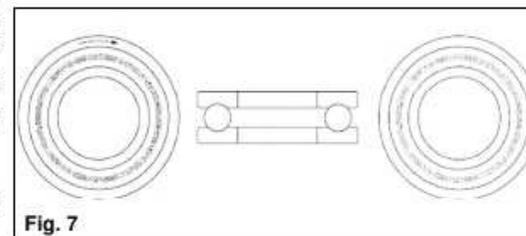
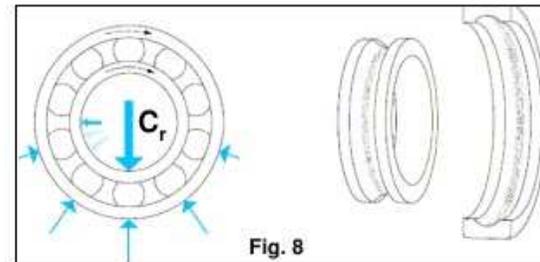


Fig. 7

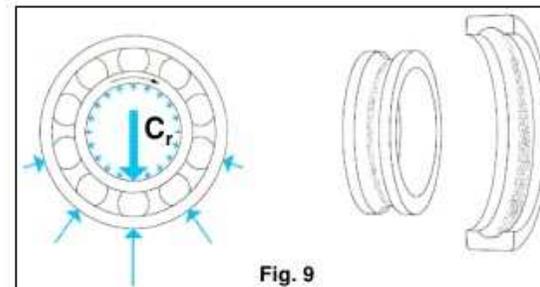


## TRACCE DI PASSAGGIO ANOMALE (1)

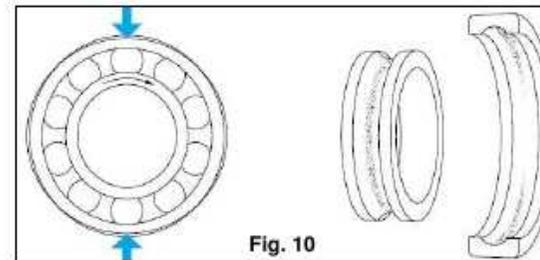
La fig. 8 mostra la situazione già presentata in fig. 5, cui si sovrappongono due anomalie: la squilibratura della parte rotante e la lenta rotazione (per slittamento) dell'anello esterno, mal fissato nel supporto. Le tracce di passaggio sono uniformi, e coprono l'intera circonferenza su entrambe le piste.



Anche il cuscinetto di fig. 9 ricalca la situazione di fig. 5, se non che il suo anello interno risulta dilatato dal calettamento troppo forzato sull'albero, a seguito dell'interferenza eccessiva, e determina una condizione di "pre-carico". La traccia di passaggio sulla pista interna è regolare (v. fig. 5), mentre quella sull'anello esterno si estende per tutta la circonferenza, presentando la larghezza massima nella parte su cui insiste anche il carico  $C_r$ .



In fig. 10 l'anello esterno risulta ovalizzato per compressione secondo l'asse verticale: la traccia di passaggio sull'anello interno è regolarmente distribuita su tutta la circonferenza, mentre quella sull'anello esterno è costituita da due archi opposti, rastremati alle estremità, con la massima larghezza in corrispondenza del diametro minimo dell'ovale.





## TRACCE DI PASSAGGIO ANOMALE (2)

La fig. 11 presenta ancora la situazione già esaminata in fig. 5, ma con l'anello esterno disallineato rispetto all'asse di rotazione di quello interno. La traccia di passaggio sulla pista interna è regolare (v. fig. 5), mentre quella sull'anello esterno si estende per tutta la circonferenza e si posiziona diagonalmente rispetto alla pista di rotolamento.

Qualora invece si avesse l'anello interno disallineato rispetto all'asse dell'anello esterno e dell'albero, le tracce di passaggio coprirebbero ancora l'intera circonferenza su entrambe le piste, ma si avrebbe il posizionamento in diagonale rispetto alla pista di quella sull'anello interno.

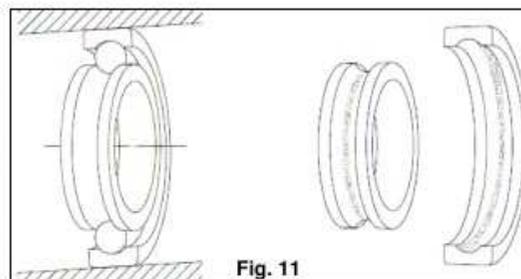


Fig. 11

In fig. 12, la ralla di supporto è posizionata eccentricamente rispetto a quella calettata sull'albero. In quest'ultima (disegno a sinistra) la traccia di passaggio è di larghezza uniforme e occupa l'intera circonferenza; sulla prima (disegno a destra), pur essendo ancora di larghezza uniforme, risulta visibilmente smentrata (cfr. con fig. 7).

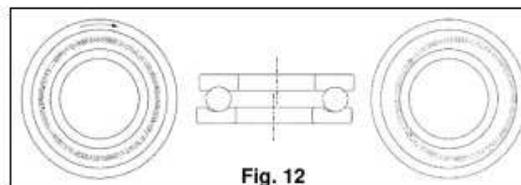


Fig. 12

Lo stesso cuscinetto, in fig. 13, presenta come anomalia il disassamento della ralla di supporto. Mentre la traccia di passaggio sulla ralla calettata sull'albero risulta regolare (v. fig. 7), quella della ralla di supporto ha larghezza molto variabile, con il massimo nella zona più caricata.

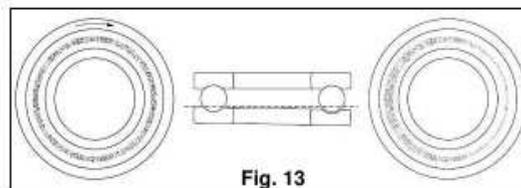


Fig. 13



## CAUSE DI GUASTO DEI CUSCINETTI

Le cause di guasto “precoce” (avvenuto prima del termine della vita utile) di un cuscinetto sono:

- carico superiore al previsto;
- lubrificazione insufficiente o eccessiva o inadatta;
- danni causati da maneggio errato, sia in fase di stoccaggio o movimentazione, sia in fase di montaggio o smontaggio;
- danni indotti da vibrazioni (provenienti da fonti esterne) o sovraccarico, a cuscinetto fermo;
- entrata di contaminanti (prima o durante l'installazione; durante il funzionamento, attraverso le tenute; con il lubrificante);
- danni causati da frammenti metallici dello stesso cuscinetto (ad es. per sfaldatura);
- passaggio di corrente elettrica;
- surriscaldamento da fonte esterna;
- eccessiva differenza di temperatura tra anello interno ed esterno (ad es. per eccessivo raffreddamento del supporto);
- giochi interni ridotti a seguito del calettamento eccessivamente forzato;
- dilatazione termica eccessiva dell'albero (giochi del complessivo insufficienti);
- geometria alterata (difetti di montaggio);
- errori di geometria della sede del cuscinetto (albero o supporto);
- classe di gioco del cuscinetto inadatta per l'impiego specifico (es. su pompe per fluidi caldi);
- difetti di costruzione (struttura, materiale) del cuscinetto.



## MODI DI GUASTO: SFALDATURA (1)

La sfaldatura o scagliatura (*flaking*), è il distacco di frammenti di metallo dalla superficie delle piste e dei corpi volventi; è, come già visto, il modo di guasto “naturale” di un cuscinetto, al termine della sua vita utile, conseguente al deterioramento per fatica del materiale. Può però anche insorgere precocemente, in genere per sovraccarico dinamico, anche a seguito di una errata “geometria”.

**Situazione 1:** tracce di passaggio normali, con sfaldatura nelle zone più caricate.

Cause: cuscinetto con capacità di carico inadeguata (v. fig. 14). Cattiva lubrificazione. Ingresso di corpi estranei, ruggine, detriti (ad es. da rottura della gabbia).

**Situazione 2:** tracce di passaggio molto estese e marcate su entrambe le piste, con sfaldatura nelle zone più caricate.

Cause: giochi interni insufficienti, conseguenti ad accoppiamento (su albero e / o supporto) troppo forzato; inserimento forzato in una sede conica. Eccessivo pre-carico di cuscinetti obliqui a sfere e a rulli conici. Differenza di temperatura tra anello interno e anello esterno troppo elevata.

**Situazione 3:** tracce di passaggio anomale, in due zone opposte della pista (v. fig. 10).

Cause: albero o sede nel supporto ovalizzati (v. fig. 17 - difetto frequente nei supporti in due parti).

**Situazione 4:** tracce di passaggio anomale, oblique, scentrate (v. fig. 11, 12 e 13).

Cause: difetti di installazione (disallineamento – v. fig. 16 –, disassamento, scentratura).

**Situazione 5:** sfaldatura da compressione assiale.

Cause: montaggio errato, che genera carico assiale eccessivo. Cuscinetto assialmente mobile bloccato sull'albero. Gioco assiale insufficiente a compensare la dilatazione termica (v. fig. 15).

Inoltre la sfaldatura può essere conseguenza di altre anomalie, che hanno intaccato la superficie delle piste: dentellatura, ruggine profonda, corrosione elettrica, smerigliatura.



## MODI DI GUASTO: SFALDATURA (2)



Fig. 14: Sfaldata per carico eccessivo (cuscinetto radiale a sfere)



Fig. 15: Sfaldata per carico assiale eccessivo (cuscinetto radiale a sfere)



Fig. 16: Sfaldata per cattivo allineamento albero-supporto (cuscinetto radiale a sfere)



Fig. 17: Sfaldata per ovalizzazione dell'anello esterno (cuscinetto orientabile a rulli)



## MODI DI GUASTO: SPELLATURA

La spellatura (*peeling*) è un raggruppamento di piccole scalfiture o scheggiature, dell'ordine dei  $5 \div 10 \mu\text{m}$  di profondità, sulle piste o sui corpi volventi (soprattutto dei cuscinetti a rulli, dove assume spesso forma tondeggiante). Col tempo può trasformarsi in sfaldatura.

Cause: superficie dell'altro corpo in contatto eccessivamente rugosa. Lubrificazione carente o cattiva (lubrificante non adatto, esausto, contaminato). Presenza di particelle estranee, ruggine, piccoli detriti.

Le tre figure in basso mostrano le "spellature" nei vari componenti di un cuscinetto orientabile a rulli, causate da poca lubrificazione.



Fig. 18: Spellature sulla pista dell'anello interno di un cuscinetto orientabile a rulli



Fig. 19: Spellature tondeggianti sui rulli del cuscinetto di fig. 18



Fig. 20: Spellature sull'intera circonferenza dell'anello esterno del cuscinetto di fig. 18



## MODI DI GUASTO: SCHEGGIATURA

La scalfitura o scheggiatura (*spalling*) è il distacco di schegge di metallo dalla superficie delle piste e dei corpi volenti; è simile alla sfaldatura, con cui spesso viene confusa (quest'ultima però parte dall'interno, mentre la scalfitura parte dalla superficie). Può trattarsi di: a) scalfitura in senso assiale in fase di montaggio (v. fig. 21); b) scheggiature sugli orletti delle piste e sulle teste dei rulli (v. fig. 22 e 23); c) abrasioni sulle piste e sulle superfici dei corpi volenti, nella direzione del moto.

Cause: montaggio / smontaggio non corretto. Grippaggio per interruzione della pellicola di lubrificante sulla superficie di contatto, a seguito di carico o pre-carico eccessivo, o di ingresso di corpi estranei. Cattiva lubrificazione.



Fig. 21: Scalfiture in fase di montaggio (rullo cilindrico)



Fig. 22: Scheggiatura dell'orletto per carico eccessivo (cuscinetto a rulli cilindrici)



Fig. 23: Scheggiatura da cattiva lubrificazione (rulli conici)



## MODI DI GUASTO: SMERIGLIATURA (1)

La smerigliatura e riporto di materiale (*smearing* = “spalmatura”) è conseguenza dello strisciamento sotto carico tra due superfici non lubrificate, per rottura della pellicola di lubrificante: le superfici ne risultano graffiate o striate e, spesso, brunite. Il calore generato per attrito porta spesso al trasferimento di materiale per saldatura da una superficie all'altra (riporto). Tale riscaldamento causa in genere incrudimento del metallo, con tensioni superficiali e conseguenti incrinature o sfaldature.

**Situazione 1:** smerigliatura / riporto sulle teste dei rulli (v. fig. 24) e sugli orletti delle piste.

Causa: strisciamento sotto forte carico assiale con lubrificazione inadeguata.

**Situazione 2:** smerigliatura / riporto dei rulli e delle piste, per accumulodi piccoli grippaggi (*scoring*).

Cause: slittamento dei rulli per improvvisi cambiamenti di velocità. Slittamento dei rulli all'entrata nella zona in cui sono soggetti a carico radiale (i rulli hanno rallentato nella zona scarica). Slittamento dei corpi volventi per eccesso di lubrificante (v. fig 25). Slittamento dei corpi volventi per entrata di corpi estranei. Carico eccessivo. Lubrificazione inadeguata. Flessione dell'albero.

**Situazione 3:** segni di smerigliatura della pista alla stessa distanza dei rulli (cuscinetti a rulli cilindrici – v. fig. 26).

Causa: l'anello con la gabbia e i rulli è stato inserito a forza nell'altro anello, senza farlo ruotare.

**Situazione 4:** smerigliatura / riporto in diagonale delle piste dei cuscinetti assiali a sfere (v. fig. 27).

Causa: velocità di rotazione elevata e carico basso (la forza centrifuga porta le sfere a contatto del lato esterno della pista, con conseguente strisciamento anziché rotolamento).

**Situazione 5:** smerigliatura / riporto delle superfici esterne (di calettamento – v. fig. 28).

Causa: rotazione dell'anello sull'albero o nell'alloggiamento del supporto.



## MODI DI GUASTO: SMERIGLIATURA (2)

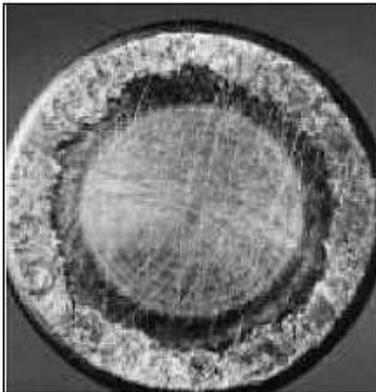


Fig. 24: Smerigliatura /  
riporto di rullo cilindrico per  
carico eccessivo e  
lubrificazione inadeguata



Fig. 25: Smerigliatura da slittamento per eccesso di grasso (cuscinetto a rulli cilindrici)



Fig. 26: Smerigliatura da inserimento forzato di gabbia e rulli (cuscinetto a rulli cilindr.)



Fig. 27: Smerigliatura diagonale causata da strisciamento sfere (cuscinetto assiale)



Fig. 28: Smerigliatura / riporto per slittamento nel supporto (cuscin. orientabile a rulli)



## MODI DI GUASTO: USURA

L'usura abrasiva (*wear*) è una asportazione di materiale, più evidente nei componenti di minore durezza (es. gabbia – v. fig. 29 e 30), con conseguente diminuzione delle dimensioni delle parti usurate – la cui superficie appare abrasa – che, rispetto alle zone circostanti non soggette a questa anomalia, possono presentare degli “scalini” (*stepped wear* – v. fig. 31).

Cause: presenza di particelle abrasive, preesistenti nel cuscinetto o introdotte in fase di montaggio o con il lubrificante (v. fig. 29), oppure entrate attraverso le tenute, cui si aggiungono quelle prodotte dalla stessa usura. Azione abrasiva di ossidi di ferro originati da corrosione. Movimento irregolare dei rulli (non paralleli all'asse). Lubrificante insufficiente o che ha perso le sue caratteristiche (v. fig. 30 e 31); in questo caso, all'inizio le superfici possono risultare lucidate “a specchio”, per il distacco delle micro-asperità superficiali (v. fig. 32).

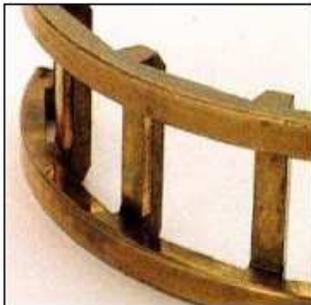


Fig. 29: Usura da abrasione della gabbia in ottone (cuscinetto a rulli cilindrici)

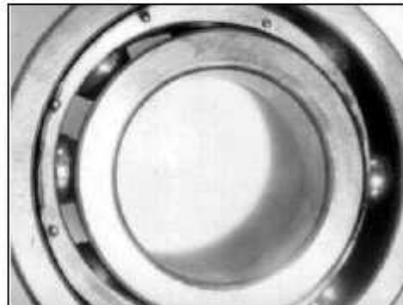


Fig. 30: Usura della gabbia in ottone per cattiva lubrificazione (cuscinetto a sfere)



Fig. 31: Usura della pista per cattiva lubrificazione (cuscinetto a rulli cilindrici)



Fig. 32: Usura “a specchio” sull'anello esterno (cuscinetto orientabile a rulli)



## MODI DI GUASTO: SFREGAMENTO

L'usura da sfregamento (*fretting wear*) si presenta sulle superfici di contatto tra due metalli, fortemente compresse l'una contro l'altra, soggette a scorrimenti alternativi di piccola entità (dell'ordine dei  $\mu\text{m}$ ). È tipica delle superfici di contatto cuscinetto - albero e cuscinetto - supporto, dove si presenta in forma di vaiolature o solcature. I detriti restano nella zona di contatto, accelerando il processo di usura. Il fenomeno può essere innescato da ruggine, o aggravato dalla ossidazione dei detriti; in questo caso si parla di corrosione da sfregamento (*fretting corrosion*).

Cause: interferenza di calettamento insufficiente (v. fig. 33). Sede del cuscinetto, sull'albero o nel supporto, irregolare, per cattiva lavorazione o per corrosione (v. fig. 34). I micro-movimenti sono causati da vibrazioni (v. fig. 35), o dalle piccole deformazioni elastiche degli anelli prodotte dal passaggio dei corpi volventi.



Fig. 33: Usura da sfregamento per calettamento lasco (cuscinetto obliquo a sfere)

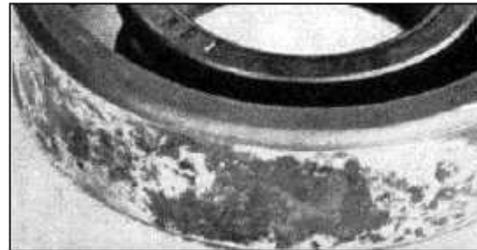


Fig. 34: Usura da sfregamento per sede irregolare e corrosione (cuscinetto a sfere)



Fig. 35: Usura da sfregamento per vibrazioni (cuscinetto a sfere)

N.B.: quando l'usura da sfregamento si manifesta nel contatto tra piste e corpi volventi, si parla di "falso brinelling" (v. "dentellatura")



## MODI DI GUASTO: DENTELLATURA (1)

La dentellatura o indentatura (*denting* o *indentation*) si presenta con delle tacche o incisioni sulle superfici di rotolamento.

**Situazione 1:** piccole incisioni sulle superfici di rotolamento.

Cause: ingresso di particelle solide (schegge, piccoli detriti) durante l'installazione, oppure con il lubrificante o dalle tenute (v. fig. 36 e 37).

**Situazione 2:** piccoli crateri o cavità sui corpi volventi e sulle piste, (vaiolatura o *pitting*).

Cause: contaminazione (particelle solide) del lubrificante. Granelli di ruggine (v. fig. 38). Cattiva lubrificazione.

**Situazione 3:** impronte sulle piste, di forma ellittica, dovute a usura (cioè asportazione di materiale), a distanza pari a quella dei corpi volventi, o più fitte per sovrapposizione di impronte in tempi successivi (falso brinelling). Si tratta ancora di usura da sfregamento (vedi).

Cause: usura dovuta a piccoli strisciamenti dei corpi volventi sulle piste, generati da vibrazioni provenienti da fonti esterne, a cuscinetto fermo, quando cioè non si può formare una pellicola di lubrificante (v. fig. 39); il successivo funzionamento del cuscinetto le rende più profonde (v. fig. 40 e 41).

**Situazione 4:** intaccature o impronte sulle piste, a distanza pari a quella dei corpi volventi, dovute a deformazione del materiale, in quanto il carico applicato ne supera il limite di elasticità (brinelling "vero").

Cause: calettamento troppo forzato su sedi coniche (le sfere o i rulli si "piantano" nella pista – v. fig. 42). Urti in fase di movimentazione (caduta del cuscinetto), di immagazzinamento, di montaggio (col martello – v. fig. 43). Carico eccessivo.



## MODI DI GUASTO: DENTELLATURA (2)



Fig. 36: Indentatura da piccoli detriti (anello interno cuscinetto a rulli conici)



Fig. 37: Indentatura da particelle contenute nell'olio (rulli conici)



Fig. 38: Vaiolatura causata da ruggine (cuscinetto assiale)

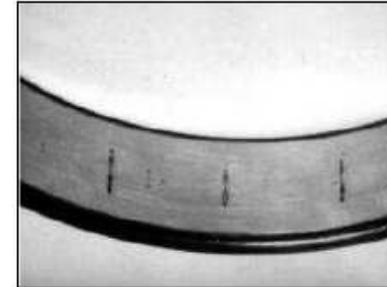


Fig. 39: Falso brinelling per vibrazioni (anello esterno cuscinetto a rulli cilindrici)



Fig. 40: Falso brinelling per vibrazioni e usura successiva (anello esterno cuscinetto a sfere)

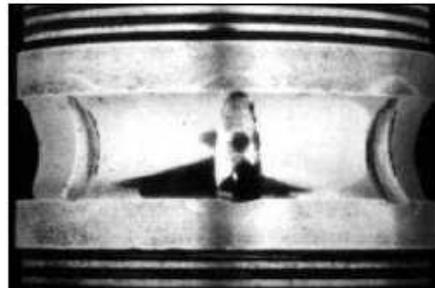


Fig. 41: Falso brinelling per vibrazioni e usura successiva (anello interno cuscinetto a sfere)



Fig. 42: Brinelling per forzatura eccessiva (anello esterno cuscinetto a rulli cilindrici)



Fig. 43: Brinelling da urto (pista int. cusc. rulli cilindrici)



## MODI DI GUASTO: MACCHIE/COLORE

Le macchie (*speckles*) e il cambiamento di colore (*discoloration*) avvengono, solitamente, a seguito di temperatura elevata. Le prime si manifestano sulle superfici di contatto e sono costituite dall'insieme di piccolissime ammaccature delle stesse, oppure da deposito di olio, o ancora da reazione metallo-olio o metallo-acqua. Il cambiamento di colore – dal giallo-oro al bruno e al blu (“brunitura”) – per surriscaldamento può riguardare, oltre agli anelli, i corpi volenti e la gabbia.

Cause: surriscaldamento dovuto a lubrificazione inadeguata (v. fig. 44). Macchie di olio prodotte dalla reazione tra il metallo e il lubrificante. Deposito di olio deteriorato sulle superfici (v. fig. 45). Ingresso di corpi estranei (v. fig. 46) o contaminanti (es.: acqua – v. fig. 47) attraverso le tenute deteriorate.



Fig. 44: Brunitura per surriscaldamento (anello interno cuscinetto obliquo a sfere)



Fig. 45: Deposito di olio sulla pista esterna (cuscinetto orientabile a rulli)



Fig. 46: Sfera “macchiata” da ammaccature (corpi estranei e cattiva lubrificazione)



Fig. 47: “Brunitura” causata da ingresso di acqua in piccolissima quantità



## MODI DI GUASTO: GRIPPAGGIO

Il grippaggio (*seizure*) è, spesso, la conseguenza estrema di altri modi di guasto: la saldatura tra superfici in movimento relativo è così estesa da bloccarle del tutto, in quanto il surriscaldamento delle parti del cuscinetto le ha rammollite, deformate e fuse, causandone anche il cambiamento di colore (brunitura).

Cause: surriscaldamento dovuto a lubrificazione inadeguata (v. fig. 48), carico eccessivo (v. fig. 49), velocità di rotazione troppo elevata, giochi interni insufficienti (pre-carico eccessivo – v. fig. 50), entrata di acqua e detriti, difetti dell'albero o del supporto, forte flessione dell'albero.



Fig. 48: Grippaggio per mancanza di lubrificazione; l'anello interno e i rulli sono bruniti e fusi, con residui della gabbia in ottone



Fig. 49: Grippaggio per carico eccessivo e lubrificazione inadeguata

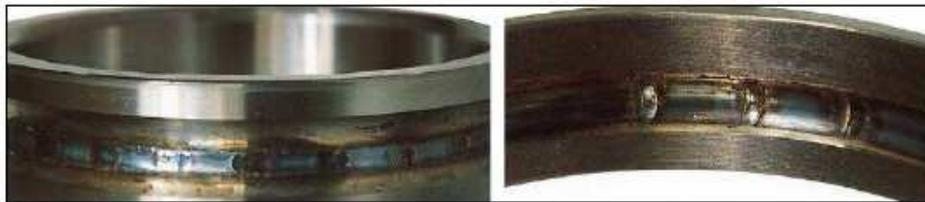


Fig. 50: Grippaggio per giochi interni ridotti da pre-carico eccessivo (cuscinetto obliquo a sfere)



## MODI DI GUASTO: CORROSIONE

La corrosione (*corrosion*) è il risultato dell'aggressione chimica di fattori ambientali (acqua, ossigeno dell'aria) o di fluidi corrosivi (reagenti chimici; additivi o contaminanti del lubrificante) penetrati nel cuscinetto. La superficie aggredita presenta segni di usura, vaiolatura (con ossido nelle cavità), ossidazione, ruggine.

Cause: formazione di condensa nel cuscinetto fermo (a magazzino o a bordo macchina – v. fig. 51). Entrata di acqua (v. fig. 52) o fluidi corrosivi. Presenza di acqua nel lubrificante (v. fig. 53 e 54).



Fig. 51: Corrosione da condensa nelle zone di contatto rulli - pista est.

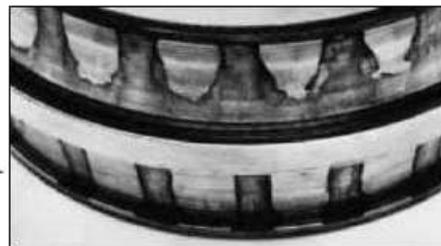


Fig. 52: Corrosione estesa per entrata di acqua (cusc. orientabile a rulli)



Fig. 53: Corrosione per acqua nel lubrificante (cuscinetto a rulli conici)



Fig. 54: Corrosione per acqua nel lubrificante (cusc. a rulli cilindrici)



## MODI DI GUASTO: CRICCHE, ROTTURE

Le *cricche* (*cracks*) sono fessurazioni o crepe del materiale (anelli, corpi volventi) senza distacco di parti; quando si ha questo distacco, solitamente si parla di *rottura* (*fracture*)

**Cause:** eccessiva interferenza (es.: per temperatura dell'albero troppo elevata – v. fig. 55). Carico eccessivo, intermittente. Shock termico da riscaldamento per sfregamento (anello - sede) o strisciamento (es.: anello - battuta – v. fig. 56). Geometria della sede di calettamento errata. Urti o colpi (di martello) in fase di installazione o smontaggio (v. fig. 57 e 58). Crepe conseguenti a sfaldatura (v. fig. 59), usura, smerigliatura, corrosione da sfregamento, indentatura (v. fig. 60).



Fig. 55: Cricca assiale sull'anello interno per eccessiva temperatura albero



Fig. 56: Cricche per surriscaldamento da sfregamento contro la battuta



Fig. 57: Rottura del bordino (colpo di martello nel montaggio)



Fig. 58: Rottura del bordino (urto violento in fase di montaggio)



Fig. 59: Rottura per indebolimento causato da grave sfaldatura

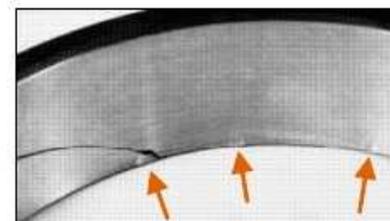


Fig. 60: Rottura da indentatura



## MODI DI GUASTO: DANNI ELETTRICI (1)

Il passaggio di corrente elettrica attraverso gli elementi del cuscinetto, in particolare tra le piste e i corpi volventi, causa nei punti di contatto delle scariche che bruciano la pellicola di lubrificante e fondono il metallo, creando piccoli crateri (visibili con adeguato ingrandimento). Con correnti tra 0,01 e 0,1 A l'aspetto delle piste, a occhio nudo, è quello della normale "fatica" (v. pag. 2), ma la vita del cuscinetto si riduce del 20 ÷ 80%; correnti dell'ordine dei 0,5 A generano per corrosione elettrica (*electrical corrosion*) delle ondulazioni o scanalature (*fluting* – v. fig. 61 e 62) sulle piste, oppure vaiolatura (*electrical pitting* – v. fig. 63 e 64), con cavità arrotondate e senza ossido (v. fig. 65), delle piste e dei corpi volventi, con una riduzione della vita utile ancora maggiore.

Cause: differenza di potenziale elettrico (anche tensione elettrostatica – v. fig. 66) tra i due anelli; è sufficiente una tensione superiore a 0,3 V per cuscinetti a sfere, 0,5 V per quelli a rulli. Tensione di alta frequenza indotta da strumenti o dispositivi usati vicino al cuscinetto (v. fig. 67).

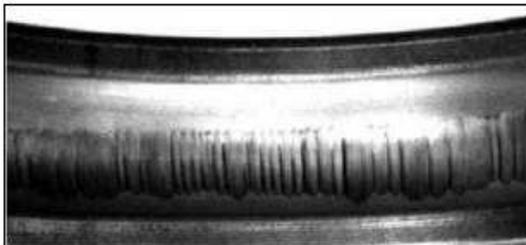


Fig. 61: Ondulazioni per passaggio di corrente elettrica (anello esterno di un cuscinetto a sfere)



Fig. 62: Scanalature per corrosione elettrica (pista interna e rulli di un cuscinetto a rulli conici)



## MODI DI GUASTO: DANNI ELETTRICI (2)

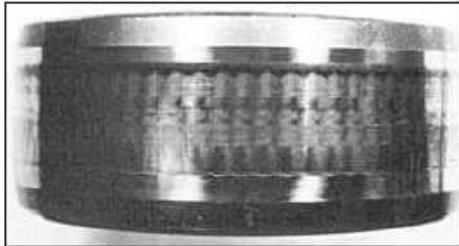


Fig. 63: Ondulazioni e vaiolatura (anello interno di cuscinetto a rulli cilindrici)

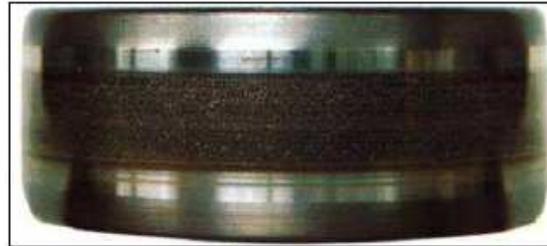


Fig. 64: Vaiolatura su tutta la pista (anello interno di cuscinetto a rulli cilindrici)

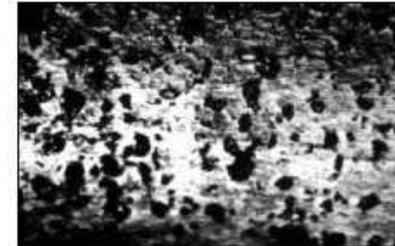


Fig. 65: Vaiolatura causata da scariche a tensione elevata (ingrand.)

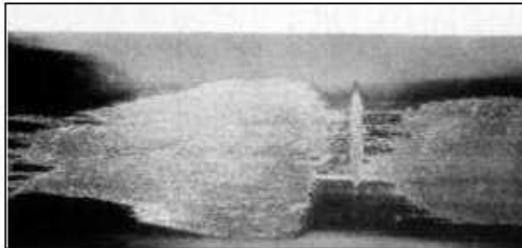


Fig. 66: Corrosione elettrica causata da scariche elettrostatiche



Fig. 67: Scanalature da corrosione elettrica causata da corrente ad alta frequenza (cuscinetto a sfere – in basso a destra ingrandimento della pista interna)



## MODI DI GUASTO: DANNI GABBIA (1)

I danni alla gabbia di un cuscinetto possono essere:

**Situazione 1:** deformazione, alveoli schiacciati, tracce di urti.

Cause: urti o colpi nel trasporto o maneggio (v. fig. 68), oppure in fase di montaggio (v. fig. 69).

**Situazione 2:** rottura; rottura dei rivetti o delle colonnine degli alveoli.

Cause: montaggio erraneo (urti, colpi – v. fig. 69). Disassamento, disallineamento (v. fig. 70). Vibrazioni eccessive. Velocità eccessiva (cuscinetti a sfere). Calettamento troppo forzato (interferenza eccessiva). Grippaggio del cuscinetto. Corpo estraneo incuneato tra gabbia e corpo volvente. Surriscaldamento (gabbie in plastica – v. fig. 71). Usura eccessiva – v. situazione 3 (v. fig. 72).

**Situazione 3:** usura degli alveoli (la gabbia è in materiale meno duro, e il contatto con i corpi volventi è di strisciamento). Usura degli anelli laterali per strisciamento contro gli anelli del cuscinetto.

Cause: cattiva lubrificazione (v. fig. 72). Entrata di particelle abrasive (v. fig. 73). Sovraccarico assiale. Forti accelerazioni o decelerazioni. Disallineamento (v. fig. 74).



Fig. 68: Deformazione della gabbia in acciaio stampato per urto durante il maneggio (cuscinetto obliquo a sfere)



Fig. 69: Deformazione e rottura della gabbia in ottone per urto in fase di montaggio



## MODI DI GUASTO: DANNI GABBIA (2)



Fig. 70: Gabbia in ottone usurata, deformata e rotta per disallineamento del cuscinetto (cuscinetto obliquo a sfere)



Fig. 71: Gabbia in poliammide rotta per usura e surriscaldamento (cuscinetto a sfere)



Fig. 72: Gabbia in ottone usurata e rotta per cattiva lubrificazione (cuscinetto obliquo a sfere)

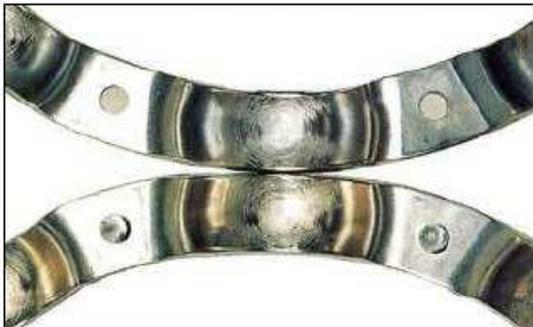


Fig. 73: Gabbia in acciaio abrasa e usurata per entrata di particelle estranee (cuscinetto a sfere)

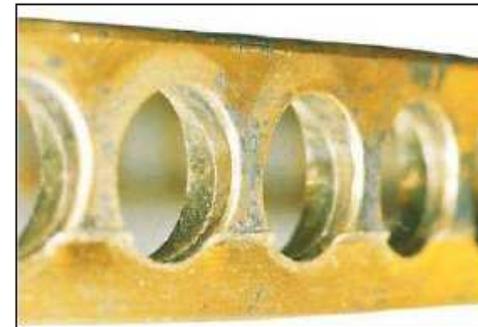


Fig. 74: Gabbia in ottone usurata per disallineamento (cuscinetto obliquo a sfere)