

# Montaggio dei cuscinetti con albero verticale

---

 [evolution.skf.com/it/capire-il-montaggio-dei-cuscinetti-con-albero-verticale/](https://evolution.skf.com/it/capire-il-montaggio-dei-cuscinetti-con-albero-verticale/)

## Capire il montaggio dei cuscinetti con albero verticale

---

Il montaggio a caldo dei cuscinetti con albero in posizione verticale è una delle procedure più frequenti. Considerando tutti i metodi di montaggio tipici, addirittura un cuscinetto ogni sei si può danneggiare a causa di un montaggio improprio. La procedura con l'albero in posizione verticale è ampiamente diffusa, ma presenta alcuni rischi meno noti. Questo articolo si concentra sui potenziali problemi e su come risolverli.

### Contenuto correlato

Il montaggio a caldo dei cuscinetti e di altri componenti come giunti e ingranaggi ha dimostrato di essere un metodo molto pratico e il riscaldamento a induzione è un sistema rapido e conveniente in termini di costo. La manipolazione dei componenti in posizione verticale è relativamente semplice, il centraggio dei componenti montati in posizione verticale è agevole e la gravità consente di mantenere correttamente posizionato un componente contro lo spallamento quando si raffredda e si restringe.

Dopo il riscaldamento è importante eseguire il montaggio in modo rapido per evitare cali di temperatura, che possono bloccare il componente nella posizione scorretta o causare altri danneggiamenti.



Figura 1: Montaggio con albero in posizione verticale.

## Opzioni per il riscaldamento e il montaggio

---

Vi sono diverse opzioni per la procedura di montaggio a caldo. Le più comuni includono:

- cuscinetto caldo montato su una sede dell'albero a temperatura ambiente;
- albero a temperatura ambiente inserito in un cuscinetto caldo;
- cuscinetto a temperatura ambiente inserito in un alloggiamento caldo;
- alloggiamento caldo montato su un cuscinetto con albero a temperatura ambiente.

Durante il montaggio in posizione verticale i cuscinetti, tuttavia, si comportano in modo diverso rispetto ad altri componenti. Tutte le opzioni comportano un aumento del gioco nel cuscinetto e una sua successiva diminuzione durante i vari cicli di riscaldamento e raffreddamento. Nei cuscinetti vi è una relazione tra il gioco assiale e quello radiale che è definita dall'angolo di contatto. Nei cuscinetti a due corone di sfere si calcola con l'equazione:

$$\Delta_a = 2.3 \times Y_o \times \Delta_r \quad (\Delta_a \text{ di norma è } 5\text{-}15 \text{ volte il gioco radiale}).$$

Pertanto, un movimento minimo in senso radiale (ad esempio una variazione del gioco) determina un movimento ampio in senso assiale.

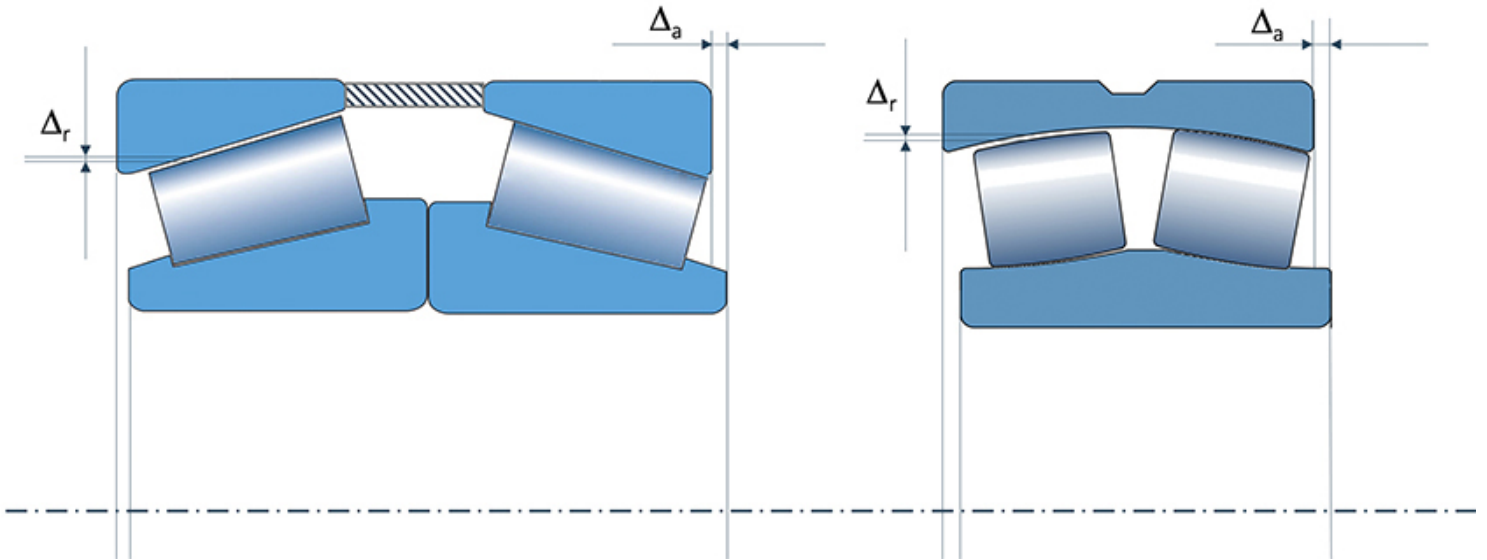


Fig. 2: Nei cuscinetti esiste una relazione tra gioco radiale e gioco assiale.

Su un albero verticale il cuscinetto si muove in senso assiale se si verifica una variazione del gioco radiale. Questo si può dimostrare (figura 3) osservando innanzitutto un cuscinetto caldo (evidenziato in rosso). Entrambi gli anelli hanno la stessa temperatura e il gioco del cuscinetto è minimo. Il cuscinetto è sostenuto dall'anello esterno. L'anello interno si muove leggermente verso il basso. Quando un albero a temperatura ambiente viene inserito e abbassato sull'anello, l'anello interno viene raffreddato dall'albero, come indicato dal colore grigio (figura 4). Le dimensioni dell'anello interno si riducono, aumentando così il gioco del cuscinetto, e l'anello interno si muove in senso assiale verso il basso grazie al gioco assiale maggiore.

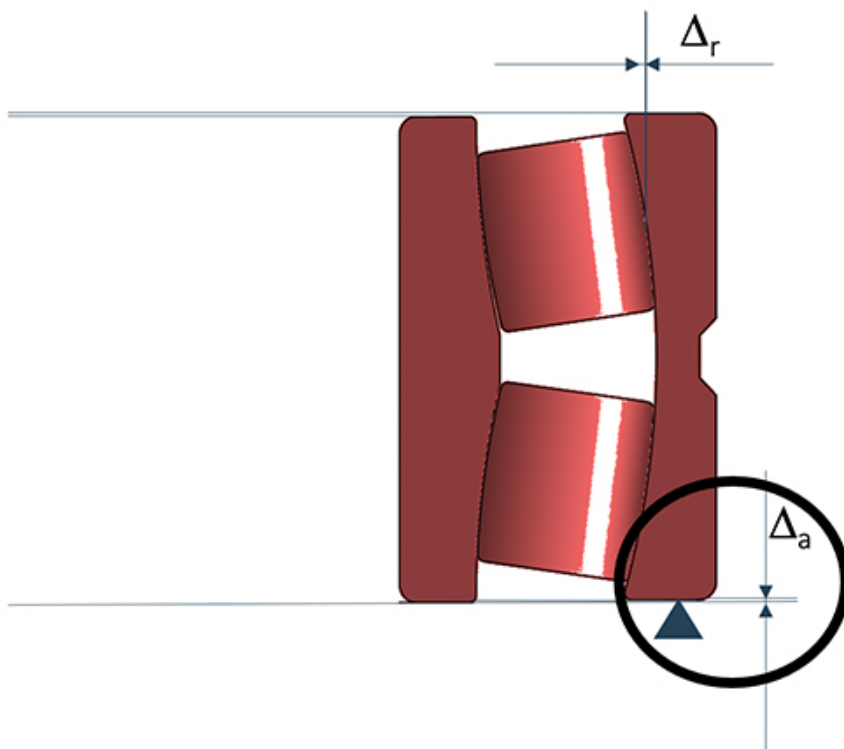


Fig. 3: Su un albero in posizione verticale le variazioni del gioco radiale determinano un movimento assiale.

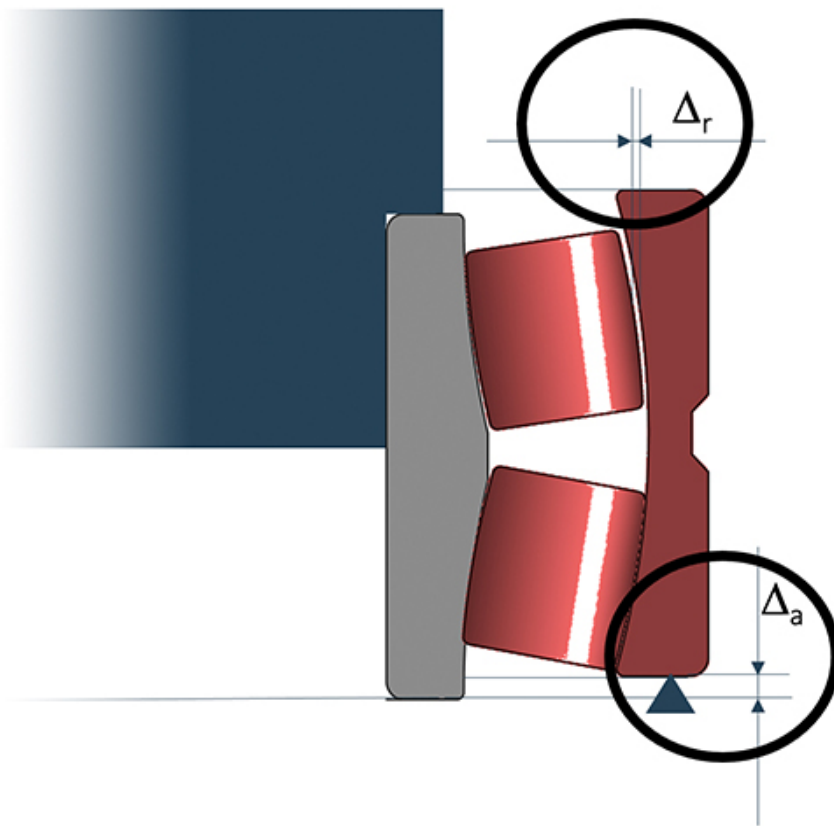


Fig. 4: L'anello interno si è mosso leggermente verso il basso.

Infine l'anello esterno raggiunge la temperatura ambiente (figura 5), che è la stessa dell'anello interno, determinando una riduzione del gioco del cuscinetto. L'anello interno però è stato forzato verso l'alto dato che il gioco era stato ridotto.

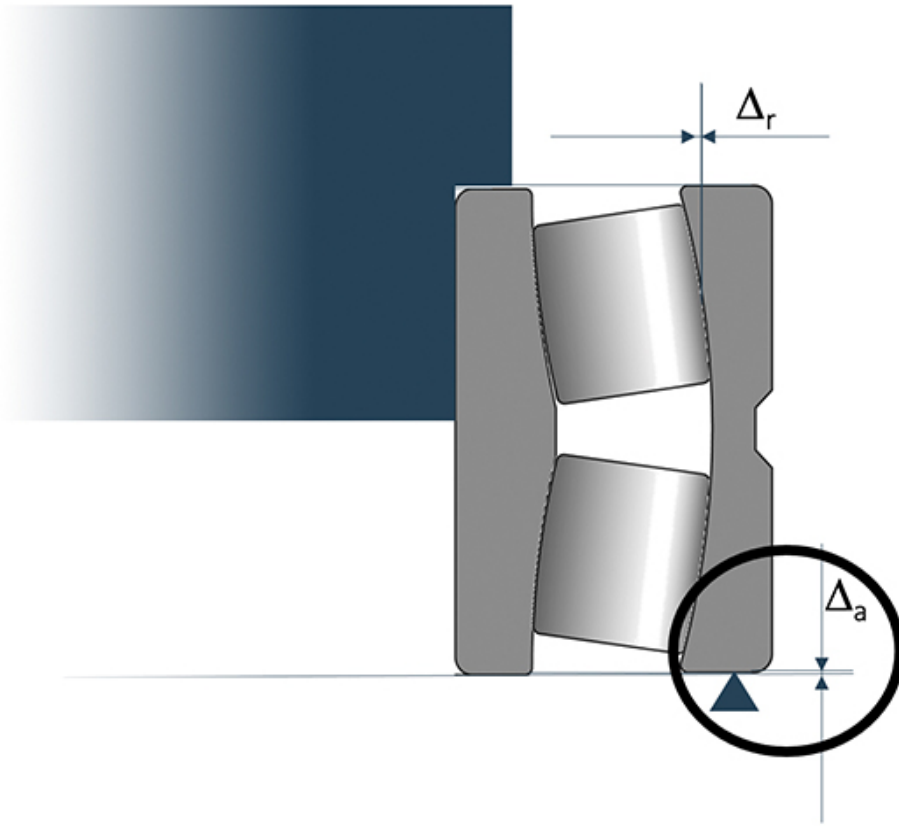


Fig. 5: Successivamente anche l'anello esterno raggiunge la temperatura ambiente.

Se da un lato questo è interessante a livello di fisica applicata, quali sono le sue implicazioni pratiche? In primo luogo, occorre considerare i movimenti e le forze all'interno del cuscinetto (figura 6).

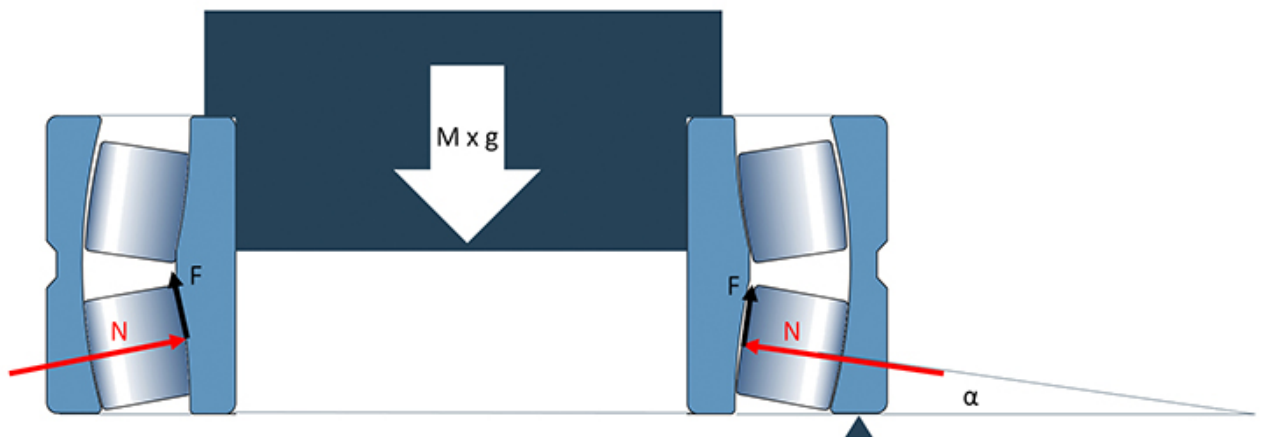


Fig. 6: Movimenti e forze all'interno del cuscinetto. Prima sequenza: l'anello interno si muove verso il basso.

Inizialmente l'anello interno si muove verso il basso e il carico verticale ( $M \times g$ ) è supportato dalla corona inferiore del cuscinetto. Vi sono i carichi sui rulli (indicati in rosso) e i carichi di attrito (indicati in nero). Occorre poi considerare l'angolo di contatto  $\alpha$  e il numero di rulli  $Z$ . Utilizzando l'equazione:

$N = (M \times g)/Z(\sin(\alpha) + \mu \times \cos(\alpha))$  si può notare che l'attrito riduce il carico dei rulli.

Nella seconda sequenza l'anello interno si muove verso l'alto e il carico verticale ( $M \times g$ ) è supportato dalla corona inferiore. L'equazione diventa  $N = (M \times g)/Z(\sin(\alpha) - \mu \times \cos(\alpha))$  e l'attrito è invertito (figura 7). Se  $\sin(\alpha) = \mu \times \cos(\alpha)$ , il movimento verso l'alto genera carichi dei rulli molto grandi e in pratica sussiste il rischio di bloccaggio o di smearing.

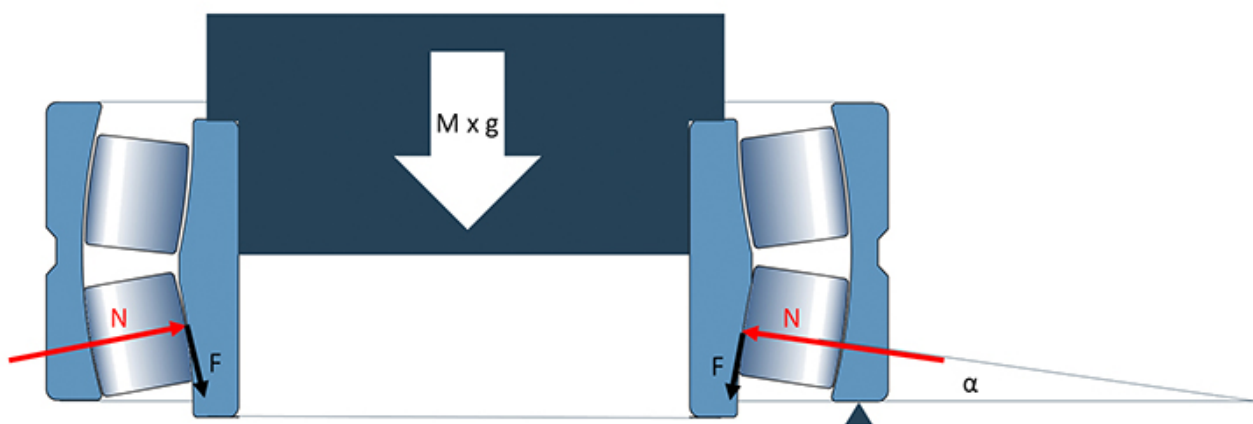


Fig. 7: Seconda sequenza: l'anello interno si muove verso l'alto.

Vi sono combinazioni di coefficienti di attrito e angoli di contatto che possono causare il bloccaggio (figura 8). Da quanto indicato in questa figura il bloccaggio si verifica quando gli angoli di contatto sono compresi tra 4 e 15 gradi e il coefficiente di attrito varia da 0,05 a 0,4. Il danneggiamento potenziale associato al bloccaggio è la deformazione plastica che provoca rumorosità, vibrazioni ed erosione precoce.

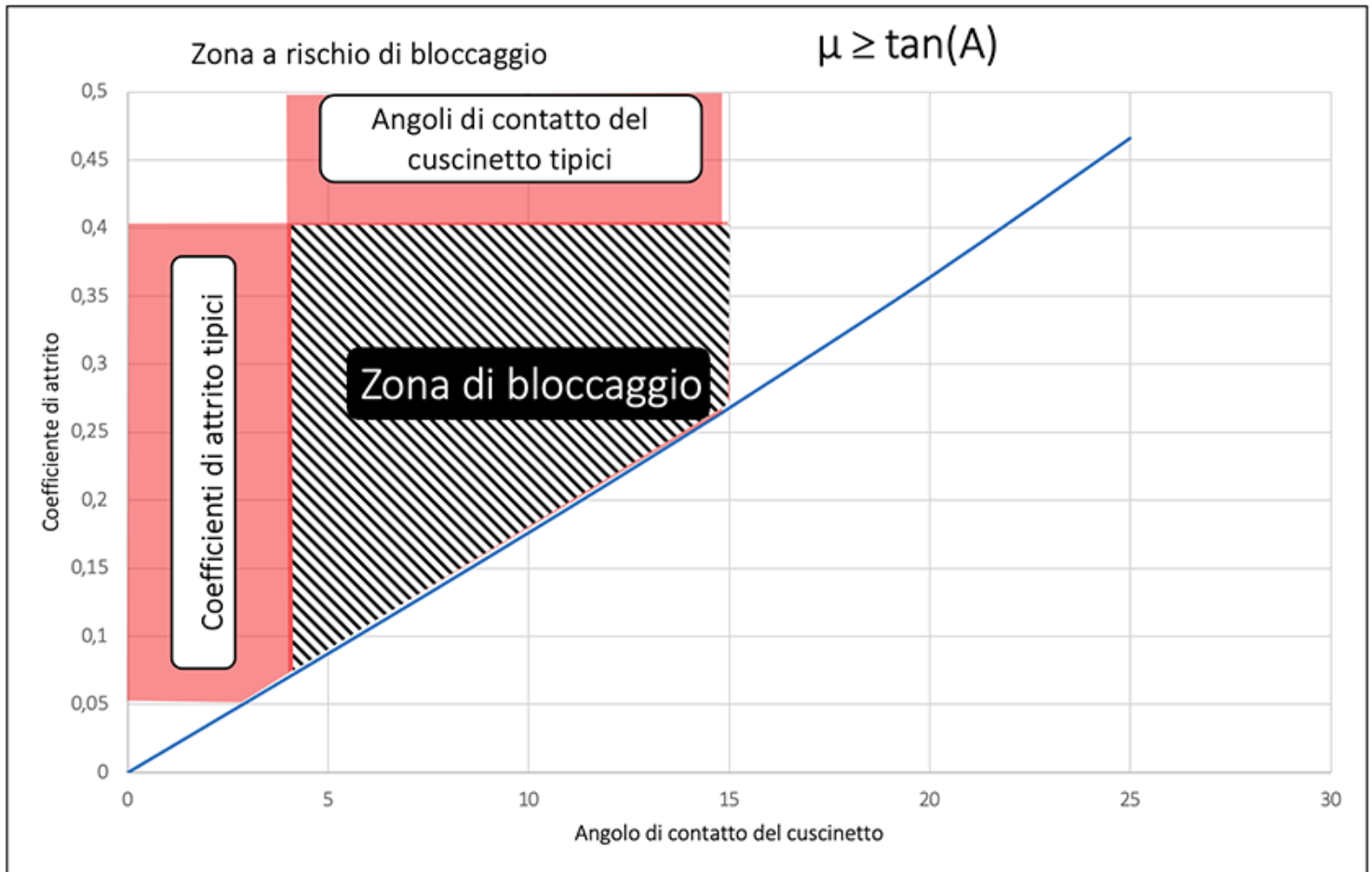


Fig. 8: Combinazioni di angoli di contatto e attrito che comportano bloccaggio.

Inoltre, al di fuori della zona di bloccaggio vi è un'altra zona in cui si può verificare lo smearing (figura 9). In questo caso l'attrito è sufficiente ad arrestare il movimento iniziale, ma non a opporre resistenza al movimento a un carico maggiore. Mentre si sviluppano notevoli forze di contatto, il rullo alla fine si muove in senso assiale. In questo scenario i danneggiamenti associati al movimento assiale con una forza di contatto elevata sono lo strisciamento o, nel peggiore dei casi, lo smearing.

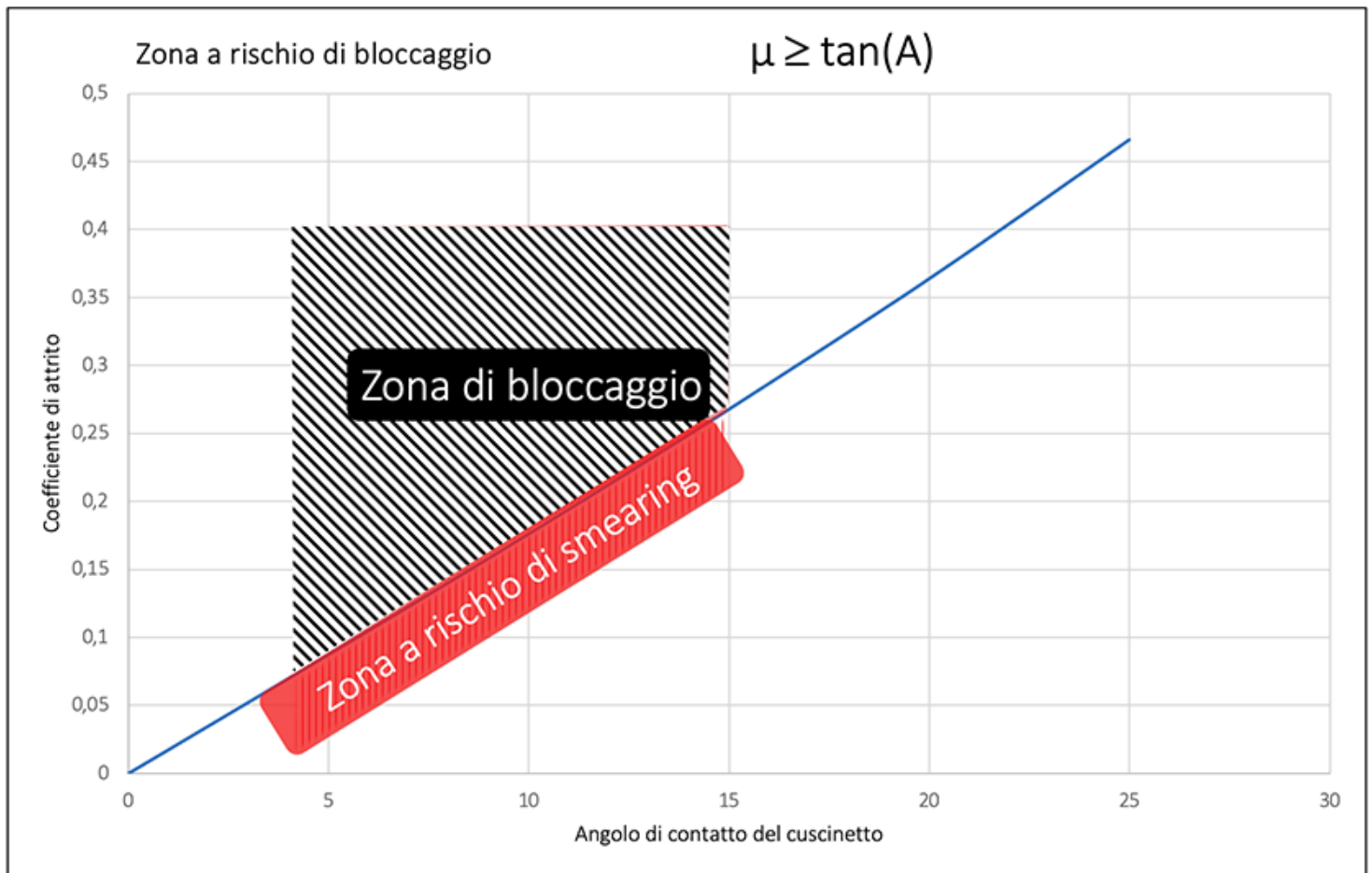


Fig. 9: Combinazioni di angoli di contatto e attrito a bloccaggio parziale.

### Risultati pratici

Sono state individuate due condizioni potenzialmente dannose, sia per il bloccaggio sia per il “bloccaggio parziale”, che si verificano spesso nelle macchine, ma che di rado si considerano come direttamente associati alle procedure di montaggio. La figura 10 mostra alcuni dei danneggiamenti tipici dei cuscinetti.

slide 6 of 2





Fig. 10: Condizioni potenzialmente dannose. Erosioni precoci e profonde a passo rulli.



Fig. 10: Condizioni potenzialmente dannose. Affaticamento e usura superficiali nonostante la lubrificazione adeguata.



Fig. 10: Condizioni potenzialmente dannose. Erosioni precoci e profonde a passo rulli.



Fig. 10: Condizioni potenzialmente dannose. Affaticamento e usura superficiali nonostante la lubrificazione adeguata.



Fig. 10: Condizioni potenzialmente dannose. Erosioni precoci e profonde a passo rulli.



Fig. 10: Condizioni potenzialmente dannose. Affaticamento e usura superficiali nonostante la lubrificazione adeguata.

Nel caso dell'albero principale di una turbina eolica installato a terra il cuscinetto viene riscaldato e montato dall'alto. L'anello interno del cuscinetto viene posizionato quindi contro uno spallamento e il cuscinetto si raffredda mentre l'alloggiamento si riscalda. L'alloggiamento riscaldato viene poi montato dall'alto e posizionato contro l'anello esterno.

Le misurazioni sono state effettuate durante la prima ora di equalizzazione della temperatura (figura 11).

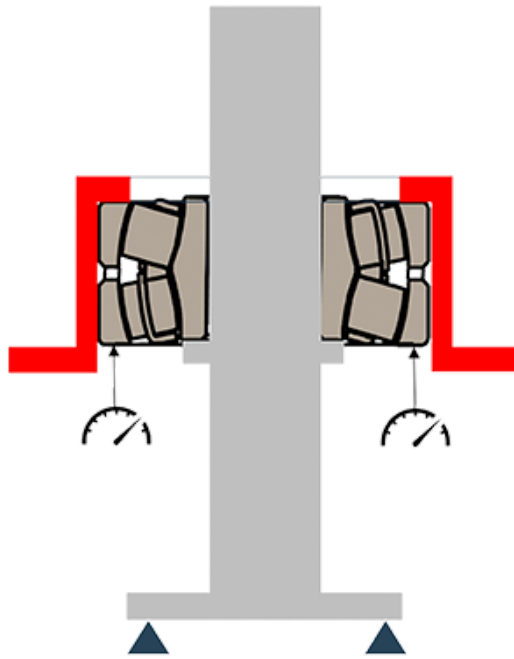


Fig. 11: Albero principale di una turbina eolica installato a terra.

In questo schema sono indicate tre zone diverse. Nella zona 1 l'alloggiamento caldo è posizionato sull'anello esterno. L'anello esterno con l'alloggiamento si muove verso il basso a causa del carico causando una deformazione radiale che determina un movimento assiale. Nella zona 2 l'alloggiamento caldo riscalda l'anello esterno che si espande. Il gioco aumenta. A questo punto l'anello esterno con l'alloggiamento si muove verso il basso finché la temperatura dell'anello esterno aumenta. Nella zona 3 l'anello esterno non si scalda più e, poiché l'alloggiamento si raffredda ulteriormente, si sposta verso l'alto a causa del gioco ridotto. La sequenza di movimento include un esempio di effetto di stick-slip (indicato con i cerchi rossi). Dopo il montaggio è stata effettuata un'ispezione ed era evidente lo strisciamento della superficie (figura 12).

slide 4 of 3

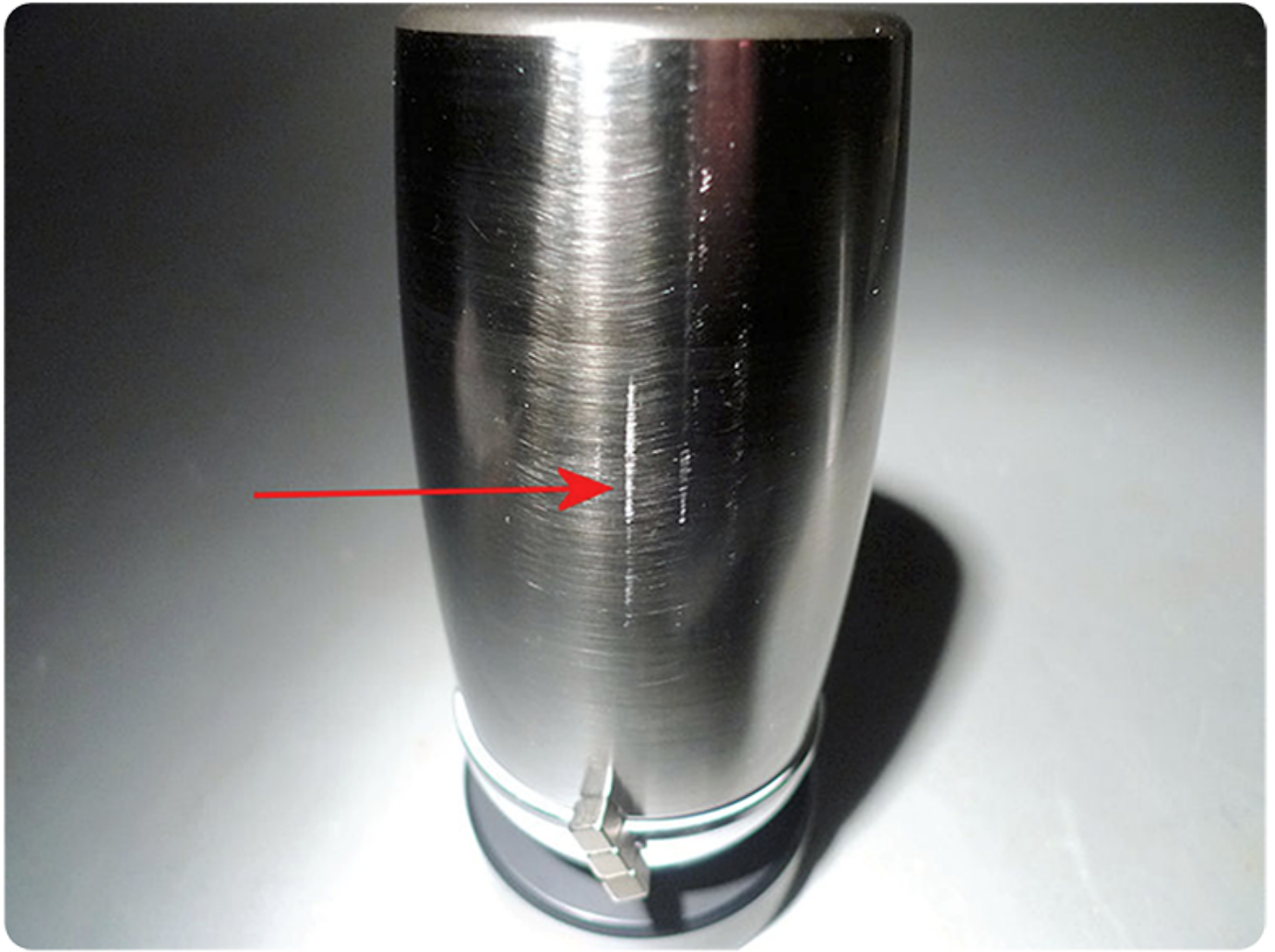


Fig. 12: Ispezione di un rullo una volta completata la sequenza di montaggio e raffreddamento. Strisciamento superficiale.

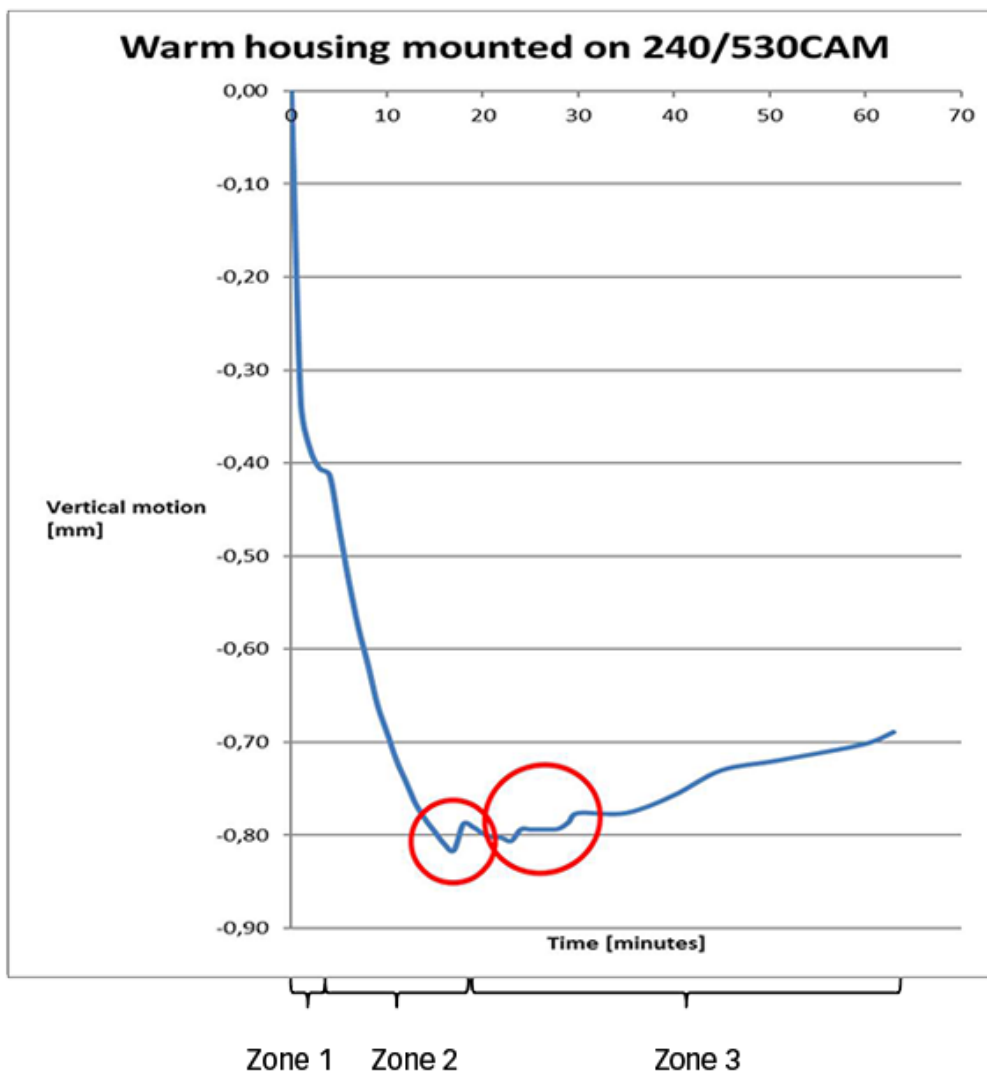


Fig. 12. Inspection du rouleau à l'issue de la séquence montage - refroidissement. Mouvement du palier vers le bas + vers le haut.

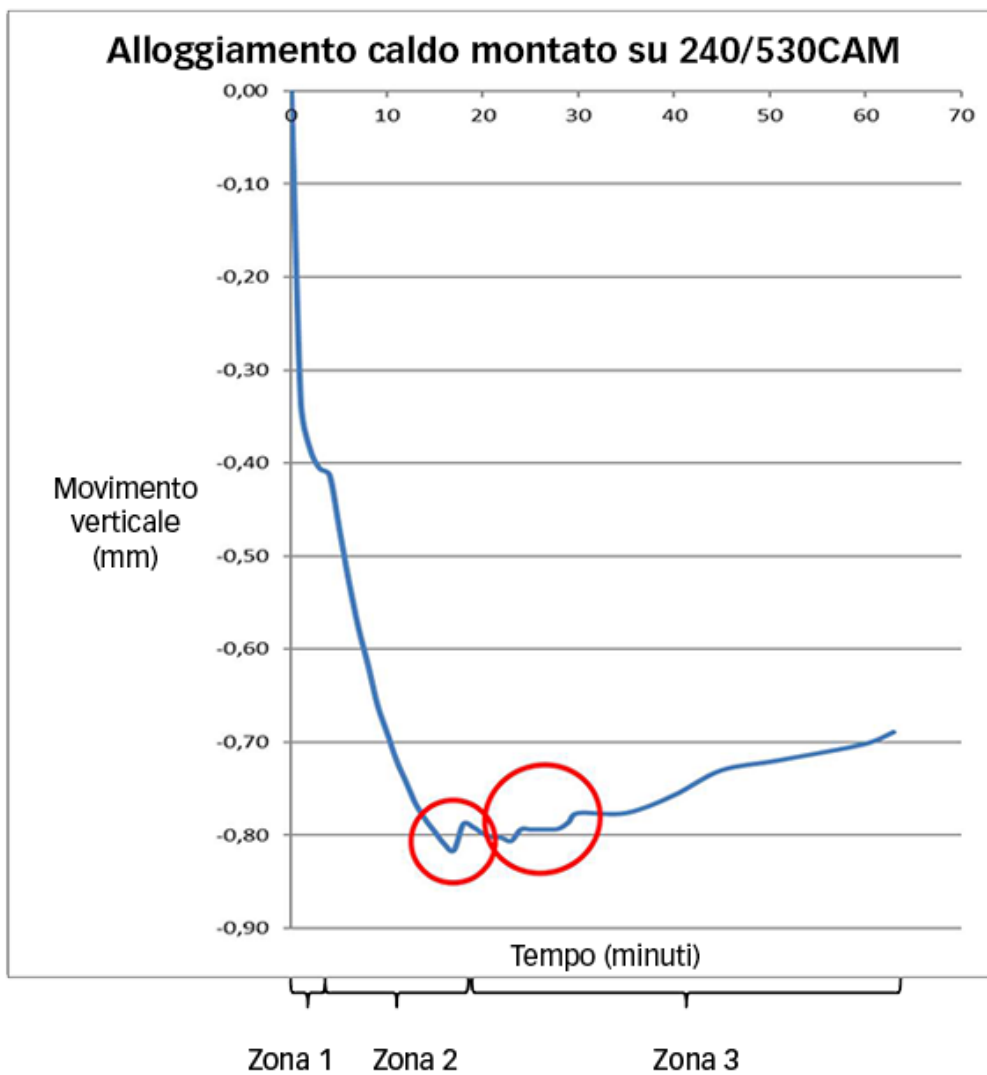


Fig. 12: Ispezione di un rullo una volta completata la sequenza di montaggio e raffreddamento. Movimento verso il basso e verso l'alto dell'alloggiamento.

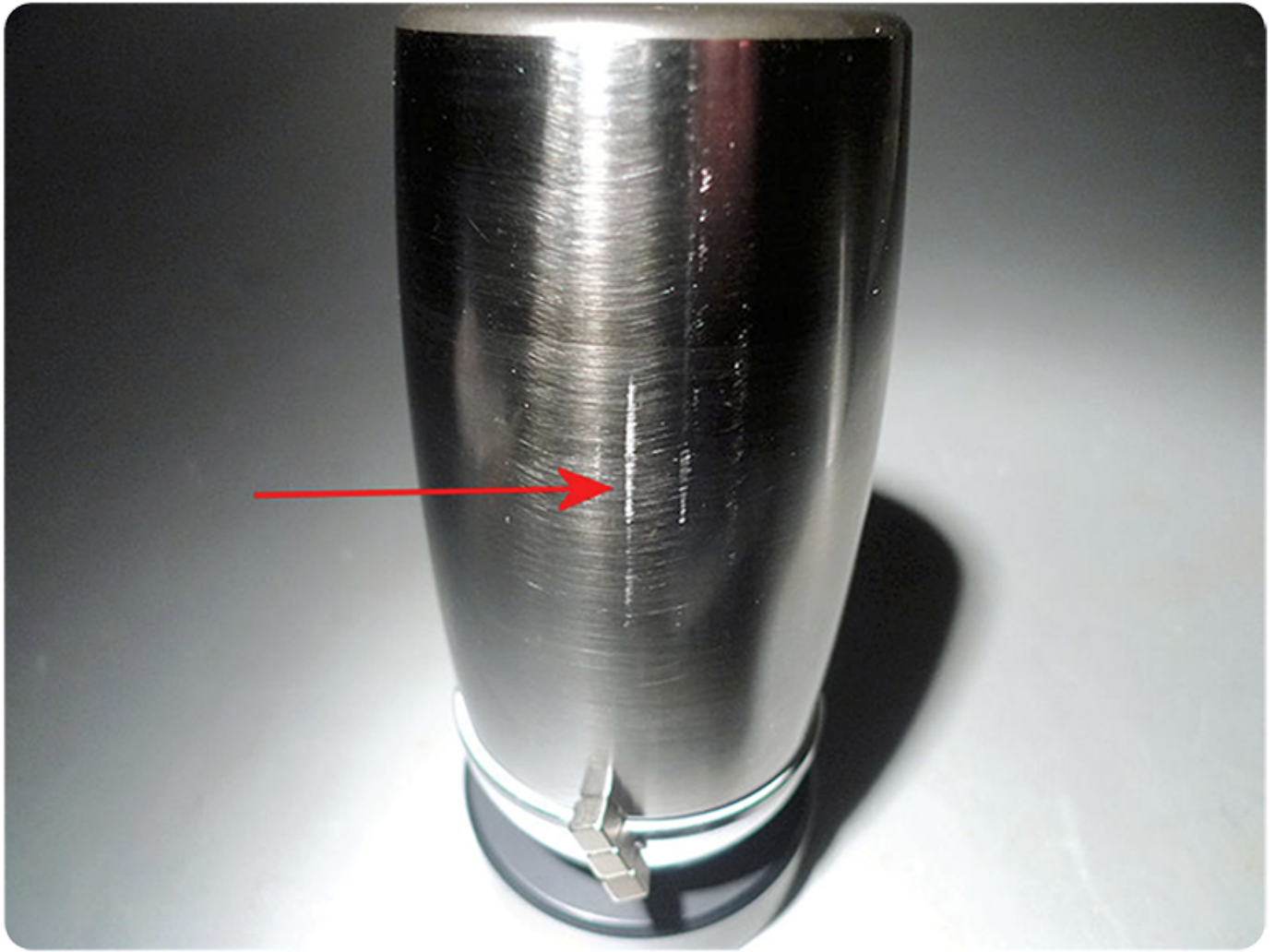


Fig. 12: Ispezione di un rullo una volta completata la sequenza di montaggio e raffreddamento. Strisciamento superficiale.



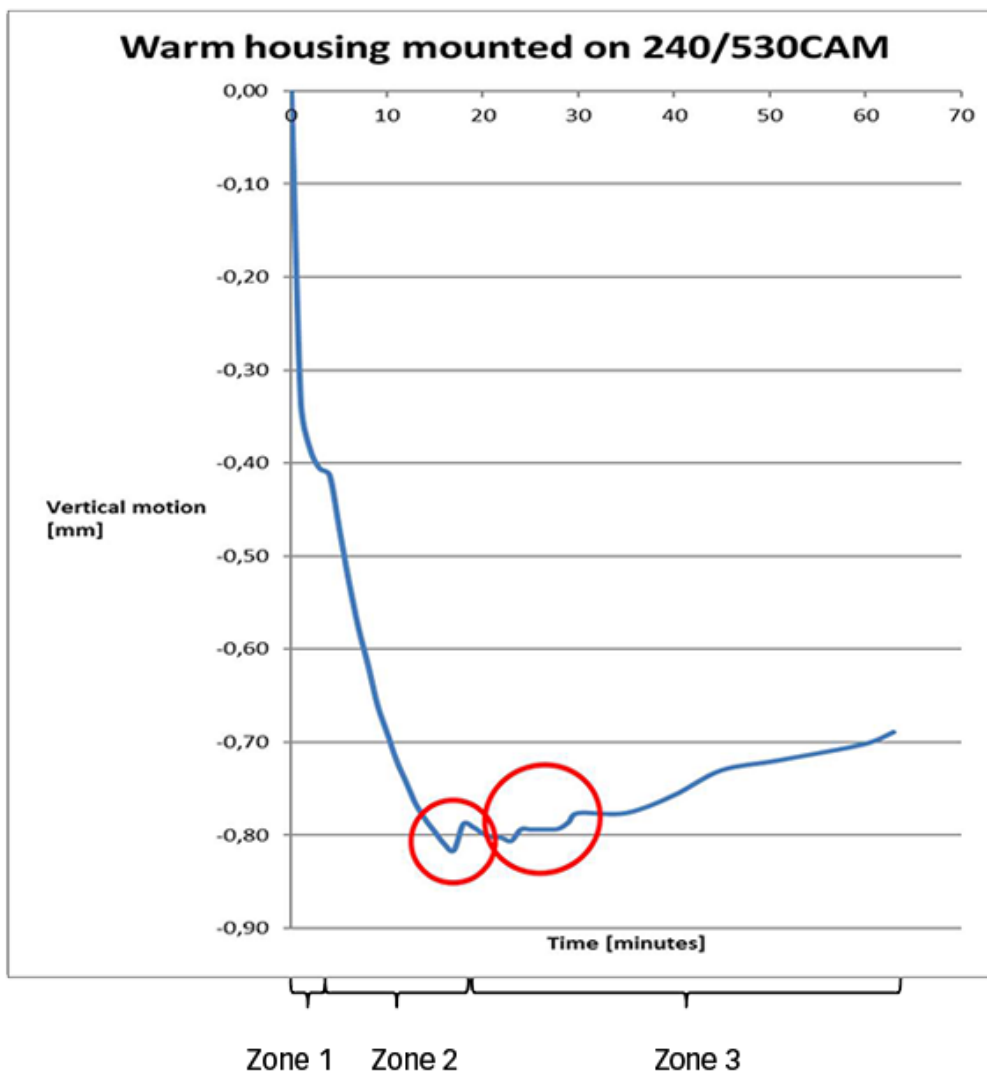


Fig. 12. Inspection du rouleau à l'issue de la séquence montage - refroidissement. Mouvement du palier vers le bas + vers le haut.

Nel secondo caso le misurazioni degli anelli sono state effettuate in un'applicazione di un riduttore industriale dove l'albero e l'ingranaggio sono montati in posizione verticale. Innanzitutto si inserisce il cuscinetto nell'alloggiamento e si posiziona un distanziale sull'anello interno. Si posiziona poi un ingranaggio riscaldato sul distanziale/anello interno. Infine, si inserisce un albero raffreddato attraverso l'ingranaggio e nell'anello interno. In questo caso si misura il movimento assiale. Poiché ha una struttura monoblocco, l'involucro è ruotato lateralmente (figura 13).

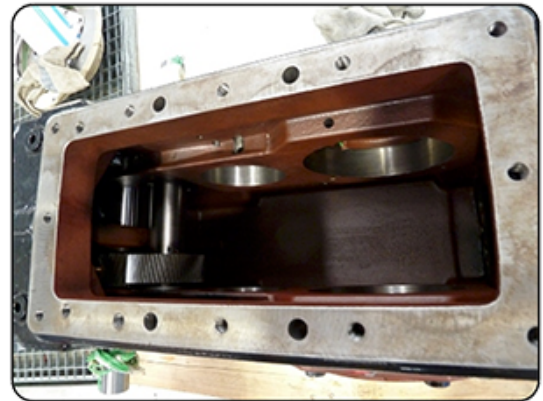
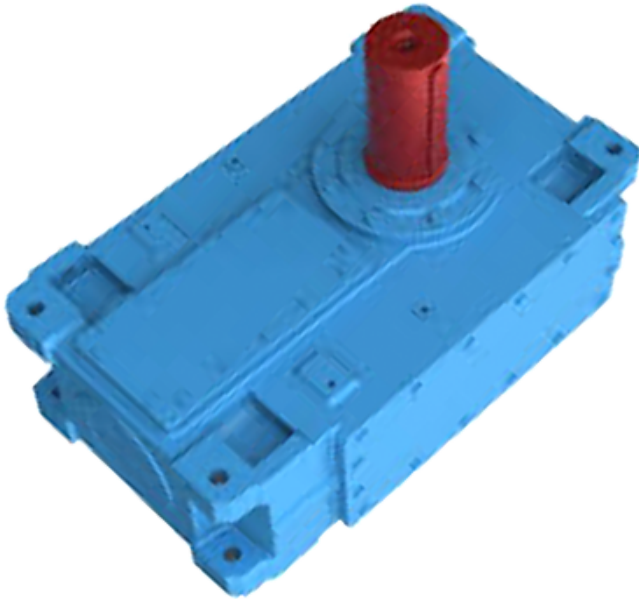


Fig. 13: Struttura monoblocco con corpo ruotato lateralmente.

In questo caso vi sono due sequenze di montaggio. Nella sequenza di montaggio 1 l'involucro a temperatura ambiente viene posizionato contro un supporto di montaggio, mentre il cuscinetto a temperatura ambiente viene montato lateralmente nell'involucro e poi verso il basso. Si inserisce l'anello esterno del cuscinetto nell'involucro e infine si posiziona un distanziale a temperatura ambiente sopra l'anello interno. Per la sequenza di montaggio 2, mentre l'involucro a temperatura ambiente con il cuscinetto è ancora sul supporto di montaggio, si monta un ingranaggio caldo lateralmente nell'involucro e poi verso il basso. L'ingranaggio viene quindi posizionato contro il distanziale e a sua volta sull'anello interno. Poi, si monta un albero molto freddo dall'alto, attraverso l'ingranaggio, il distanziale e l'anello interno.

Le misurazioni sono state effettuate nella prima ora e mezza di equalizzazione della temperatura. Per agevolare le misurazioni, è stato utilizzato un alloggiamento fittizio (figura 14).

slide 2 of 3



Fig. 14: Raffreddamento dell'albero.

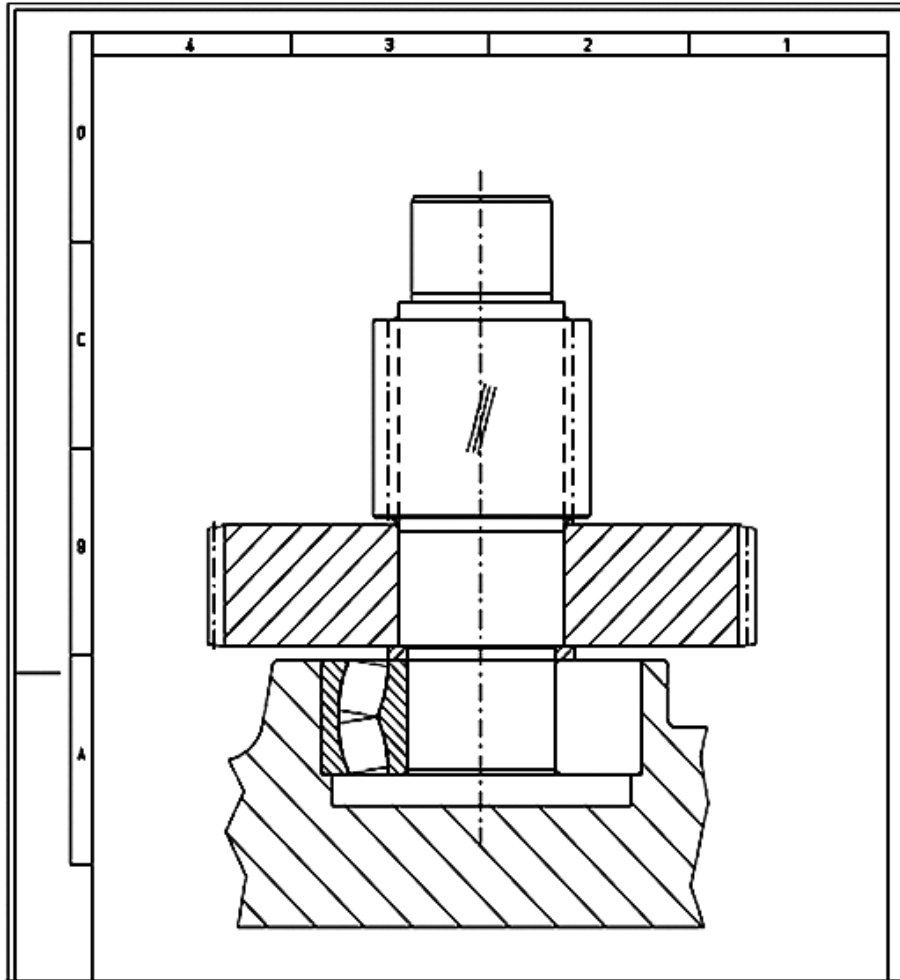


Fig. 14: "Alloggiamento fittizio".



Fig. 14: Comparatori.



Fig. 14: Raffreddamento dell'albero.

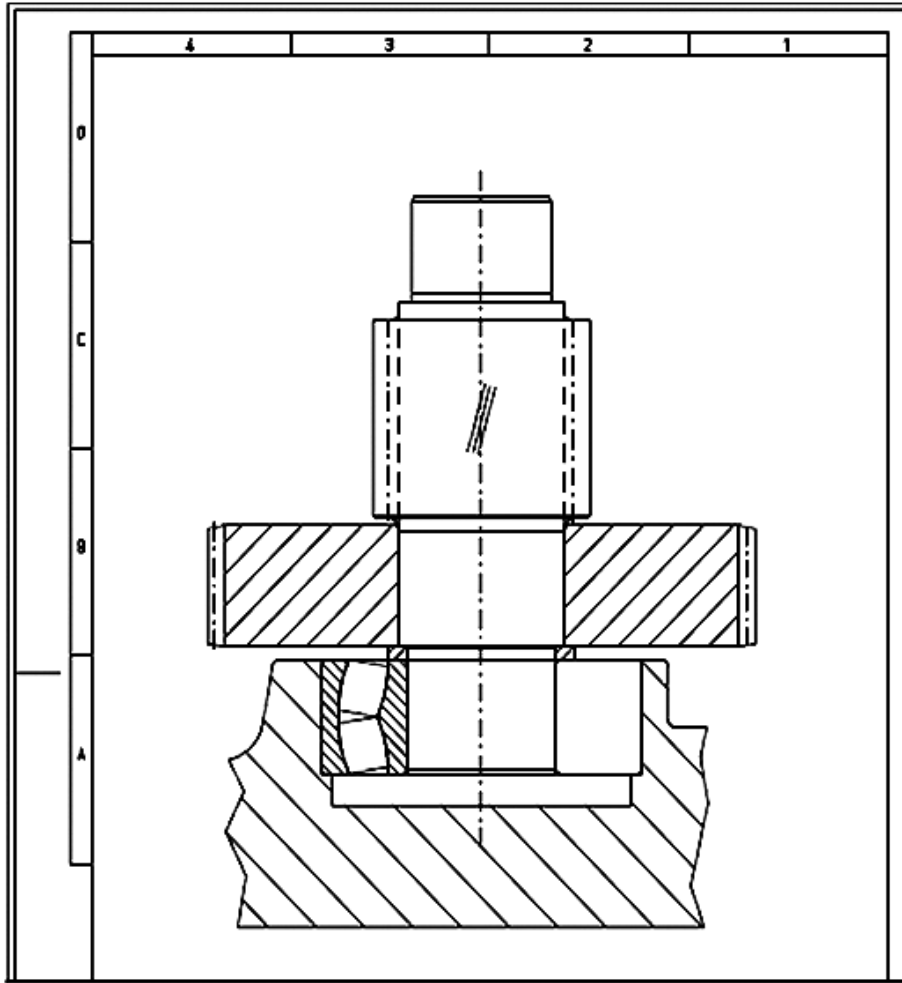


Fig. 14: "Alloggiamento fittizio".

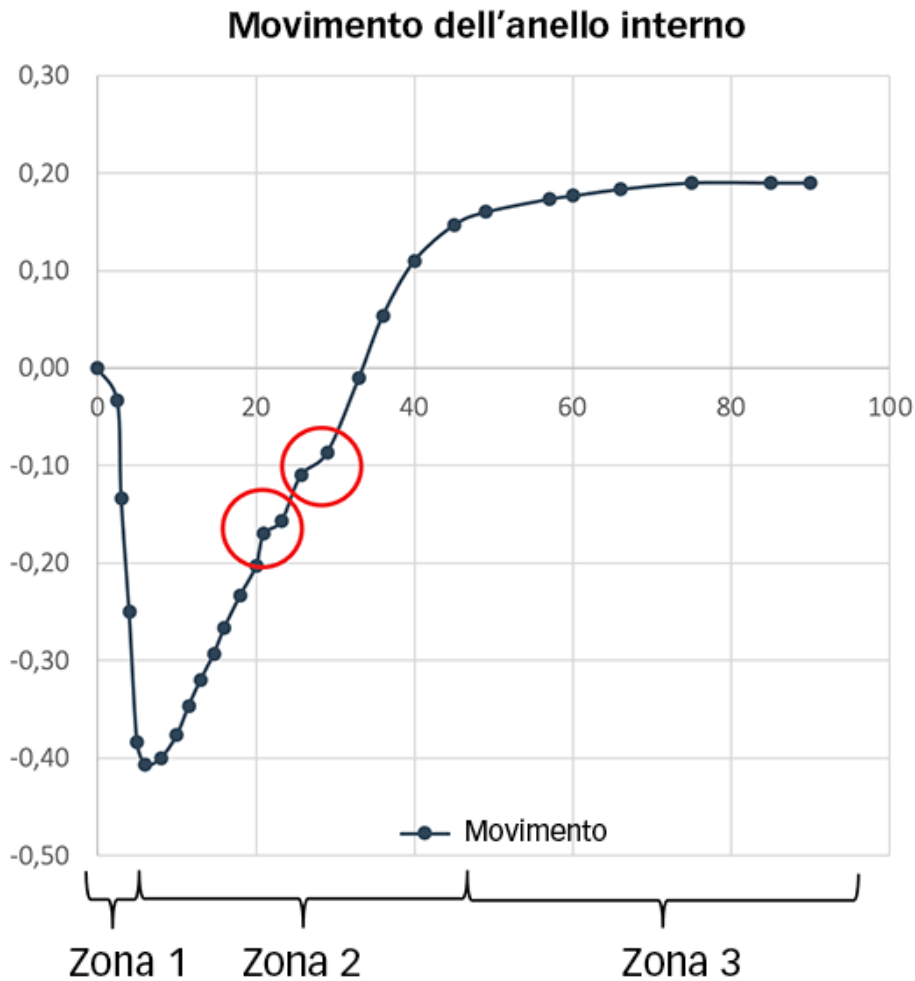


Fig. 15: Misurazioni del movimento durante il raffreddamento.

Ancora una volta si possono individuare tre zone diverse. Nella zona 1 l'albero molto freddo raffredda l'anello interno. Il gioco quindi aumenta. L'anello interno con l'albero e l'ingranaggio si muove in senso assiale verso il basso. Nella zona 2 l'ingranaggio caldo riscalda l'albero, che a sua volta riscalda l'anello interno. Quindi l'anello interno si espande. Il gioco diminuisce. L'anello interno con l'albero e l'ingranaggio si muove in senso assiale verso l'alto. La zona 3 indica che il movimento reale tra i rulli e la pista potrebbe essersi arrestato. È probabile che siano state misurate variazioni dimensionali correlate alla temperatura dell'intero banco di prova. Le misurazioni evidenziano due possibili eventi di "stick-slip" (indicati con i cerchi rossi).

In questo caso l'aspetto della pista dell'anello interno inferiore del cuscinetto di prova è stato studiato dopo aver smontato il cuscinetto. Si potevano notare dei segni sottili orientati in senso assiale.

Tuttavia, non tutti i contatti dei rulli avevano lasciato tali segni. Analizzandoli al microscopio, si è scoperto che questi segni orientati in senso assiale in parte erano costituiti da materiale prodotto dallo smearing.

Tale danneggiamento, a causa del rotolamento, evolverà fino a determinare affaticamento e usura superficiali.



Per evitare danneggiamenti derivanti dal montaggio occorre intervenire su tre elementi. Innanzitutto è importante ridurre o eliminare il carico del cuscinetto durante la sequenza di montaggio. Il percorso logico è quello di evitare il montaggio verticale e/o di contrastare la gravità. Se ciò non è possibile, eseguire il montaggio verticale, ma poi inclinare il cuscinetto in orizzontale per ridurre il carico assiale durante il raffreddamento. Cercare di limitare l'attrito eseguendo delle rotazioni ed evitare movimenti relativi con un'operazione di centraggio in senso assiale durante il raffreddamento. È fondamentale essere consapevoli dei danneggiamenti potenziali durante il montaggio per ridurre eventuali rischi.

SKF ha una notevole esperienza nel montaggio dei cuscinetti e la sua app Bearing Assist può essere di aiuto per risolvere i problemi di montaggio. SKF può inoltre fornire ai montatori una formazione specializzata sulle procedure di riferimento e aiutare a rivedere la progettazione delle macchine e le procedure di montaggio dei cuscinetti per qualsiasi tipo di macchinario.