

Scheda tecnica

## Accuratezza costante nella produzione di piccole e medie serie

L'accuratezza di una macchina utensile dipende in larga misura dalla sua capacità di affrontare condizioni di impiego in continuo cambiamento. Il passaggio dalla lavorazione di sgrossatura a quella di finitura modifica considerevolmente il carico termico e meccanico della macchina potenzialmente causando variazioni nell'accuratezza della lavorazione. Modifiche simili degli stati di carico subentrano in fase di lavorazione di piccoli lotti. La costante alternanza tra operazioni di attrezzaggio e lavorazione producono variazioni termiche con conseguenti effetti sull'accuratezza. Proprio per i piccoli lotti è invece necessario garantire l'accuratezza definita dal primo fino all'ultimo pezzo per poter lavorare con efficienza commesse dalle tolleranze minime. In tale contesto la stabilità termica di una macchina utensile costituisce un aspetto essenziale, per il quale rivestono un ruolo importante in particolare gli assi di avanzamento. Sono fortemente sollecitati dalle elevate velocità di traslazione e accelerazione e generano molto calore. Senza idonei sistemi di misura di posizione, tale calore può generare in un breve tempo errori di posizionamento in ordini di grandezza imprevedibili. Il riscaldamento prodotto dalla vite a ricircolo di sfere in acciaio della lunghezza di 1 m da 20 °C a oltre i normali 45 °C può comportare una dilatazione di 250 µm (coefficiente di dilatazione termica dell'acciaio: 10 µm al metro di lunghezza e gradi di differenza di temperatura).

### Stabilità termica delle macchine utensili

Soluzioni per evitare scostamenti dimensionali determinati da condizioni termiche differenti dei pezzi interessano in misura sempre maggiore la progettazione delle macchine utensili. Sistemi di raffreddamento attivi, strutture simmetriche delle macchine e misurazioni della temperatura sono oggi provvedimenti comuni.

Una fonte essenziale di variazioni termiche è rappresentata dagli assi di avanzamento basati su viti a ricircolo di sfere. In funzione delle velocità e delle forze di avanzamento si modifica rapidamente la distribuzione termica sulle viti a ricircolo di sfere. Su macchine utensili senza sistemi di misura lineari le variazioni lineari risultanti possono comportare errori significativi sul pezzo.

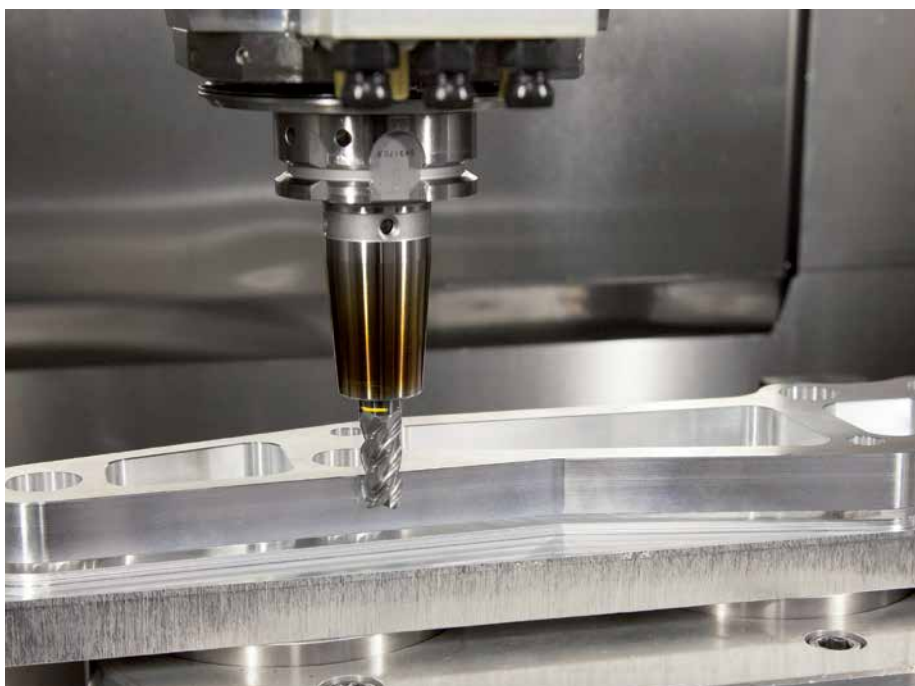


Figura 1 Condizione di lavorazione tipica

## Rilevamento della posizione degli assi

La posizione di un asse NC può essere rilevata tramite viti a ricircolo di sfere in combinazione con un trasduttore rotativo o un sistema di misura lineare.

Se la posizione dell'asse viene determinata sulla base del passo della vite a ricircolo di sfere in combinazione con un trasduttore rotativo (figura 2), la vite a ricircolo di sfere esercita una doppia funzione: come sistema di azionamento ha il compito di trasmettere forze elevate, ma per la determinazione della posizione deve soddisfare i requisiti di elevata precisione e ripetibilità del passo della vite. Il loop di posizione comprende tuttavia soltanto il trasduttore rotativo. Non essendo possibile compensare le variazioni dovute a usura e le variazioni di temperatura nella meccanica dell'asse, si parla in tal caso di un funzionamento in Semi-Closed Loop. Gli errori di posizionamento degli assi risultano inevitabili e possono influire notevolmente sulla qualità dei pezzi.

Se il sistema di misura lineare viene impiegato per rilevare la posizione della slitta (figura 3), il loop di posizione comprende la meccanica completa dell'asse. Si parla in tal caso di un funzionamento in Closed Loop. Giochi e imprecisioni negli elementi di trasmissione della macchina non hanno in tal caso alcuna influenza sul rilevamento di posizione. L'accuratezza della misurazione dipende praticamente soltanto dalla precisione e dal corretto posizionamento e montaggio del sistema di misura lineare.

## Conferma dell'accuratezza di posizionamento

### Esempio: fresatura profilo e foratura

Sulla base dell'esempio di una lavorazione di media complessità senza velocità di traslazione particolarmente elevate per la tavola della macchina risultano evidenti le differenze nell'accuratezza di posizionamento in Semi-Closed Loop e in Closed Loop. L'avanzamento massimo per questa lavorazione è di 3,5 m/min. Nei 40 pezzi devono essere eseguiti due fori a una distanza di 350 mm e il profilo deve essere fresato. La lavorazione dura cinque minuti e mezzo, la tolleranza per la distanza tra i fori è definita a  $\pm 0,02$  mm.

Durante la lavorazione la vite a ricircolo di sfere si riscalda costantemente. Il controllo della qualità del pezzo finale determina che, con un rilevamento della posizione di tipo tradizionale, su 40 pezzi da realizzare soltanto i primi 25 rientrano nelle tolleranze. Dopo il 25° pezzo il riscaldamento ha raggiunto il punto critico in cui la dilatazione termica della vite a ricircolo di sfere ha superato il campo di tolleranza di  $\pm 0,02$  mm, arrivando per l'ultimo pezzo persino ad uno scostamento di 70  $\mu$ m.

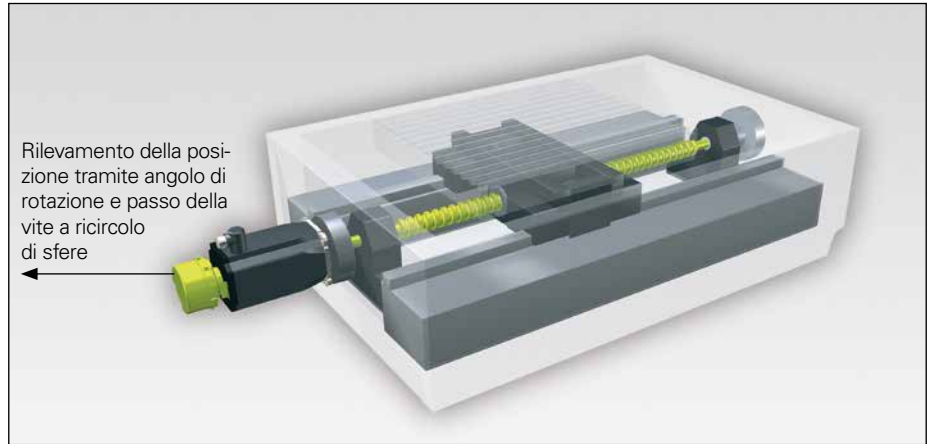


Figura 2 Regolazione della posizione in Semi-Closed Loop tramite vite a ricircolo di sfere e trasduttore rotativo

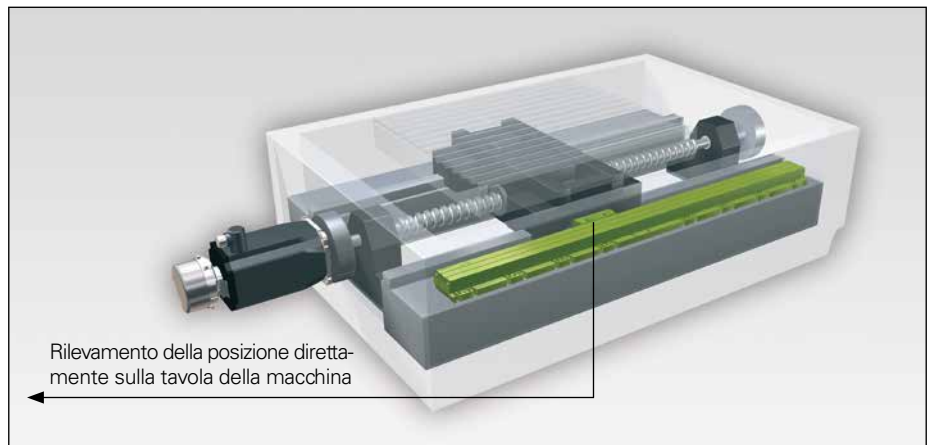


Figura 3 Regolazione della posizione in Closed Loop tramite sistema di misura lineare

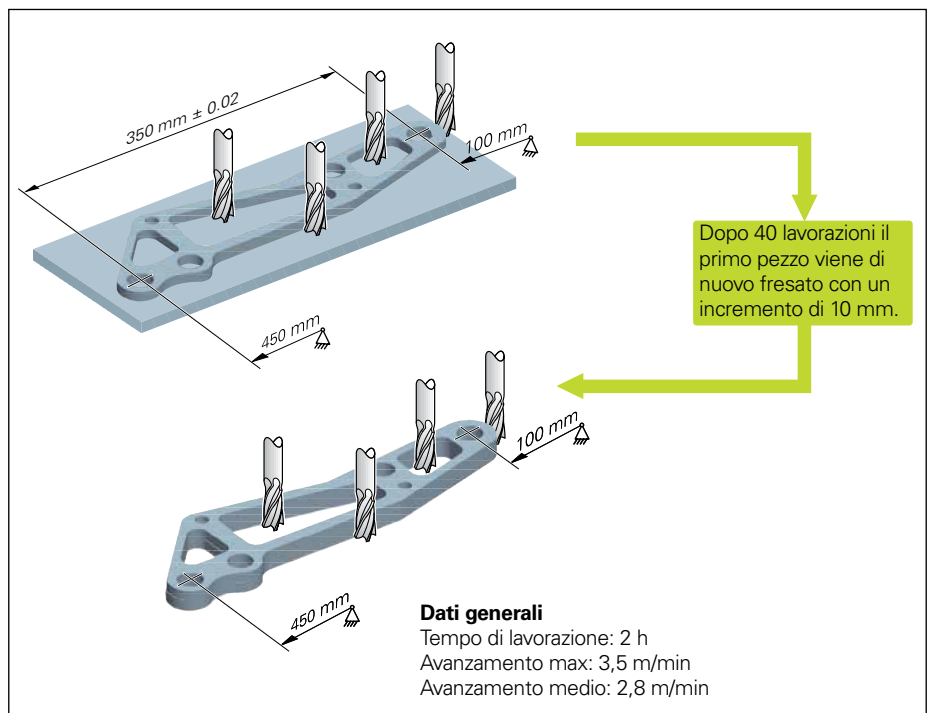


Figura 4 Realizzazione della leva di accoppiamento  
 ▲ = supporto fisso della vite a ricircolo di sfere

Tale errore risulta ancora più visibile lavorando di nuovo il primo pezzo dopo aver ultimato il 40°, dimezzando l'incremento in direzione Z. La seconda foratura eseguita sul componente finito lascia una rigatura nettamente visibile nei fori esistenti, stessa cosa per la seconda lavorazione di fresatura sul profilo – è questa la conseguenza della dilatazione termica di 70 µm della vite a ricircolo di sfere.

Indipendente dalla dilatazione termica della vite a ricircolo di sfere – e di altri suoi influssi – risulta invece la misurazione della posizione con un sistema di misura lineare in Closed Loop. Come dimostrato con il confronto nell'esempio già descritto, su una macchina con regolazione in Closed Loop non si produce alcuno scarto, tutti i pezzi rientrano nella tolleranza predefinita. Lavorando nuovamente il primo pezzo dopo aver ultimato il 40° con incremento dimezzato in direzione Z non si evidenzia alcuna rigatura visibile.



Figura 5 Leva di accoppiamento doppia lavorata da un pezzo grezzo

## Conclusion

Un processo di lavorazione flessibile presuppone macchine utensili con elevata stabilità termica. Anche un impiego massiccio delle macchine non deve influire minimamente sulla loro precisione. Di conseguenza gli assi di avanzamento devono raggiungere le precisioni richieste sull'intero campo di traslazione, anche in presenza di velocità e forze di lavorazione molto variabili. La dilatazione termica correlata a velocità e carico ha ripercussioni negative sulle viti a ricircolo di sfere degli assi di avanzamento lineari. Durante la lavorazione possono verificarsi errori di posizione di 200 µm e oltre, qualora la posizione dell'asse venga determinata soltanto dal passo della vite e dal trasduttore rotativo del motore. Siccome con questo

metodo gli errori dell'azionamento non vengono compensati nel loop di posizione, si parla di funzionamento dell'azionamento di avanzamento in Semi-Closed Loop. Impiegando sistemi di misura lineari è possibile eliminare completamente queste fonti di errori. Gli assi con sistemi di misura lineari funzionano in Closed Loop, gli errori nella vite a ricircolo di sfere che si ripercuotono nel rilevamento della posizione sono compensati nel controllo numerico. Vantaggi simili si ottengono anche con sistemi di misura angolari su assi rotativi. I sistemi di misura lineari e angolari assicurano pertanto elevata precisione dei componenti da realizzare persino in condizioni di impiego variabili delle macchine utensili.

# Sistemi di misura lineari per macchine utensili

Per elevata accuratezza di posizionamento delle macchine utensili sono indispensabili sistemi di misura lineari per il feedback di posizione. Sono in grado di rilevare direttamente e immediatamente il percorso di traslazione dell'asse di avanzamento. Le imprecisioni introdotte dagli elementi di trasmissione meccanici non hanno quindi alcuna influenza sul rilevamento della posizione: gli errori cinematici e termici o gli effetti delle forze esterne vengono rilevati dal sistema di misura lineare e considerati nel loop di regolazione della posizione, escludendo così una serie di possibili cause di errore:

- errori di posizionamento dovuti al riscaldamento della vite a ricircolo di sfere,
- errori di inversione,
- errori dovuti alla deformazione del sistema meccanico di azionamento per effetto delle forze di lavorazione,
- errori cinematici dovuti a imprecisioni nel passo della vite a ricircolo di sfere.

Su macchine dai requisiti elevati in termini di **precisione di posizionamento e velocità di lavorazione** è pertanto indispensabile utilizzare sistemi di misura lineari.

I sistemi di misura lineari HEIDENHAIN per macchine utensili a controllo numerico sono di impiego universale: sono idonei per macchine e impianti sui quali la traslazione degli assi di avanzamento è regolata, ad esempio per fresatrici, centri di lavoro, foratrici, alesatrici, torni e rettificatrici.

Il favorevole comportamento dinamico dei sistemi di misura lineari, le loro elevate velocità di traslazione e accelerazione ne consentono l'impiego sia per assi con cinematiche tradizionali altamente dinamici che per configurazioni con motori diretti.



**LC 485** fino a 2040 mm



**LC 185** fino a 4240 mm



**LB 201** fino a 28040 mm

## HEIDENHAIN

HEIDENHAIN ITALIANA S.r.l.

Via Asiago, 14  
20128 Milano, Italy  
☎ +39 02 27075-1  
FAX +39 02 27075-210  
E-Mail: info@heidenhain.it

[www.heidenhain.it](http://www.heidenhain.it)

### Per ulteriori informazioni:

- Catalogo *Sistemi di misura lineari per macchine utensili a controllo numerico*
- Scheda tecnica *Accuratezza del posizionamento*
- Catalogo *Sistemi di misura per il collaudo e la verifica di macchine utensili*