



Informazioni tecniche

## Dynamic Precision: lavorazione dinamica e di elevata accuratezza

Incremento della produttività e riduzione dei costi sono obiettivi prioritari delle imprese di produzione moderne, strettamente correlati anche all'esigenza di numero ridotto di scarti, inferiori tempi di lavorazione e la prevenzione di ripassature o riprese. I controlli numerici per macchine utensili devono pertanto essere in grado di trovare l'approccio ottimale per la fresatrice e il processo di produzione nel complesso conflitto tra tempo di lavorazione, qualità superficiale e accuratezza del pezzo.

Con il termine "Dynamic Precision" HEIDENHAIN combina un gruppo di funzioni per controlli numerici TNC che migliorano notevolmente l'accuratezza di traiettoria di macchine utensili anche con avanzamenti elevati e movimenti complessi. L'accuratezza dinamica di una macchina utensile è determinata dalle accelerazioni degli assi di avanzamento che sono necessari per generare un movimento preciso della traiettoria tra pezzo e utensile.

In fase di accelerazione di assi di avanzamento i componenti della macchina possono deformarsi a causa delle forze di inerzia o persino causare vibrazioni. Dynamic Precision consente di ridurre notevolmente gli errori dinamici nel Tool Center Point (TCP), che si verificano durante la lavorazione, così da eseguire i programmi NC migliorando l'accuratezza del pezzo e la qualità superficiale persino con maggiore velocità.



Grazie alla netta riduzione degli errori nel Tool Center Point per esecuzioni altamente dinamiche di programmi NC, Dynamic Precision fornisce pertanto un prezioso contributo all'incremento delle prestazioni di macchine utensili.

Gli utenti risparmiano tempo e denaro per inutili scarti, in quanto la maggiore accuratezza dinamica di macchine utensili con Dynamic Precision si traduce in tempi di lavorazione inferiori, migliore accuratezza del pezzo e maggiore qualità superficiale.

dynamic  precision

# Dynamic Precision

## Inferiori tempi di lavorazione, maggiore accuratezza, migliore qualità superficiale

Gli errori superficiali visibili su pezzo nonché gli errori geometrici misurabili possono essere ricondotti a tre categorie causali.

Tra gli **errori cinematici** o **statici** di macchine utensili si raggruppano gli effetti di scostamenti di una cinematica reale della macchina dal modello cinematico archiviato nel controllo numerico. I seguenti fattori si riflettono nell'impiego pratico sull'accuratezza della cinematica della macchina:

- accuratezza di produzione e montaggio dei componenti della macchina,
- flessione determinata dal peso o relative deformazioni del telaio.

Gli errori cinematici variano di norma soltanto di poco nelle macchine utensili di elevate prestazioni e possono essere raffigurati e adeguatamente compensati tramite le opzioni software TNC KinematicsComp e KinematicsOpt.

La categoria degli **errori termici** comprende gli effetti delle variazioni di temperatura nel telaio della macchina o nel pezzo sull'accuratezza nel Tool Center Point TCP. Variazioni termiche nel telaio sono dovute a:

- correnti d'aria calde o fredde nell'ambiente di lavoro delle macchine,
- irradiazione solare,
- sviluppo termico di gruppi e azionamenti in una macchina utensile,
- flussi di lubrorefrigerante caldi o freddi nell'area di lavoro della macchina.

Gli errori termici di macchine utensili si contraddistinguono sul pezzo per gli intervalli di tempo compresi tra pochi minuti fino a diverse ore. L'opzione software KinematicsOpt consente all'operatore di macchine a cinque assi di compensare facilmente gli effetti degli errori termici sulla posizione degli assi rotativi.

Gli **errori dinamici** di una macchina utensile comprendono errori nel breve periodo od oscillazioni nel Tool Center Point. Gli errori dinamici presentano le seguenti cause:

- forze e coppie di avanzamento nonché forze di lavorazione garantiscono errori di posizione e angolari nel Tool Center Point;
- gli errori di inseguimento tra posizione nominale e posizione effettiva degli assi di avanzamento non possono essere completamente compensati dal sistema di regolazione.

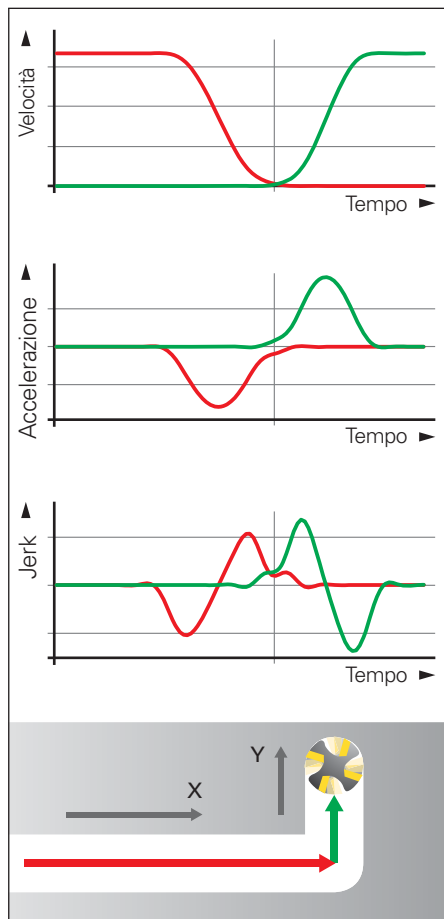
Gli errori dinamici in genere aumentano incrementando la velocità di esecuzione dei programmi NC. La riduzione dei tempi di lavorazione si ripercuote però sui costi dell'accuratezza e della qualità superficiale. E al contrario per profili precisi occorre rassegnarsi ad accettare tempi di lavorazione più lunghi.

Questo riguarda in particolare le lavorazioni di **superfici sagomate** con massima qualità superficiale ed elevata accuratezza. In molte lavorazioni di profili sagomati gli spigoli si combinano con superfici leggermente curve, con conseguenti rapidi cambi di direzione del movimento di fresatura. Ad ogni cambio di direzione gli assi devono frenare o accelerare. Il parametro di misura della durata dell'accelerazione è il jerk. Un jerk elevato determina una rapida accelerazione e quindi un guadagno in termini di tempo. Un jerk elevato sollecita tuttavia anche le vibrazioni della macchina e comporta pertanto imprecisioni ed errori sulla superficie del pezzo. Per ridurre il più possibile gli scostamenti dovuti a errori dinamici, è necessario adottare traslazioni lente.

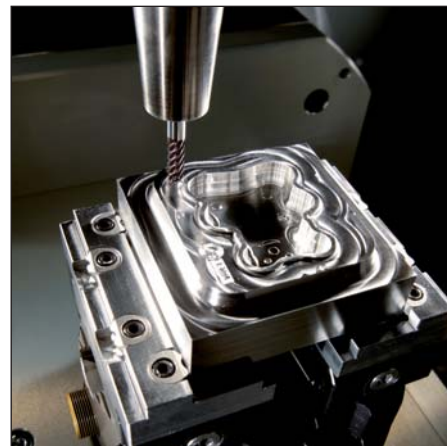
Per pezzi con superfici **leggermente curve** o inclinate si verificano spesso problemi dovuti a ombreggiature sulla superficie. Queste possono essere causate da vibrazioni della macchina ma anche da disturbi esterni.

Per la **lavorazione a 5 assi** negli assi lineari a causa di movimenti di compensazione si determinano movimenti altamente dinamici (avanzamento elevato, accelerazione elevata). A sua volta possono risultare considerevoli scostamenti a causa di vibrazioni o altri errori dinamici.

Siccome l'accuratezza dinamica della macchina varia con **l'aumentare dell'età della macchina e in funzione del carico**, possono riscontrarsi ulteriori scostamenti. Questi effetti si evidenziano principalmente nelle fasi di accelerazione.



Lavorazione di uno spigolo: velocità, accelerazione e jerk nei due assi X e Y



Con il termine **Dynamic Precision** si combinano funzioni opzionali per i controlli numerici HEIDENHAIN, che riducono significativamente gli errori dinamici delle macchine utensili. Migliorano il comportamento dinamico della macchina, conseguono una maggiore rigidità nel TCP e consentono così di fresare al limite delle possibilità tecnologiche indipendentemente dall'età della macchina, dalla sua sollecitazione e dalla posizione di lavorazione.

**Vantaggi di Dynamic Precision per utilizzatori finali**

Per pezzi precisi con elevata qualità superficiale non è più indispensabile adottare lavorazioni lente. Le macchine utensili lavorano con Dynamic Precision **in modo rapido e allo stesso tempo preciso.**

Elevata precisione con lavorazione rapida implica tuttavia anche un incremento della produttività. I costi al pezzo si abbassano senza compromettere l'accuratezza e la qualità superficiale.

Dynamic Precision garantisce anche che l'accuratezza rimanga invariata indipendentemente dalla durata operativa e dal carico. Non è così necessario ridurre gli avanzamenti a causa dell'età della macchina e del carico.

**Cosa si intende per Dynamic Precision?**

Le funzioni di Dynamic Precision sono disponibili come opzioni per i controlli numerici di HEIDENHAIN. Possono essere impiegate singolarmente o anche combinate.

- CTC – Compensazione di errori di posizione di assi accoppiati nel Tool Center Point, con conseguente maggiore accuratezza nelle fasi di accelerazione
- AVD – Smorzamento attivo delle vibrazioni per superfici di migliore qualità
- PAC – Adattamento in funzione della posizione dei parametri di regolazione
- LAC – Adattamento in funzione del carico dei parametri di regolazione con conseguente accuratezza elevata indipendentemente dal carico e dall'età della macchina
- MAC – Adattamento in funzione del movimento dei parametri di regolazione

Le singole funzioni sono dettagliatamente descritte di seguito.

**Come lavora Dynamic Precision?**

Le funzioni di Dynamic Precision vengono adattate nell'unità di regolazione – una componente dei controlli numerici HEIDENHAIN – con elevata frequenza di clock nei movimenti e nelle sollecitazioni della macchina utensile.

Trattandosi di funzioni software, con Dynamic Precision non è necessario alcun intervento nella meccanica della macchina o nella catena cinematica. Il costruttore della macchina deve tuttavia abilitare le singole funzioni, parametrizzarle e adattarle alla macchina.



## Compensazione di errori di posizione di assi accoppiati nel Tool Center Point

A causa delle operazioni di accelerazione dinamica si verificano forze che possono deformare per breve tempo i componenti della macchina. Questo può causare scostamenti nel centro dell'utensile, il Tool Center Point (TCP). Oltre alla deformazione in direzione assiale l'accelerazione dinamica di un asse può comportare deformazioni trasversalmente alla direzione di accelerazione a causa degli accoppiamenti meccanici. Questo si applica in particolare quando le forze di avanzamento non intervengono nel fulcro di un asse. Durante le fasi di frenatura e accelerazione possono verificarsi movimenti oscillatori a causa dell'inerzia delle masse (vedere figura 1).

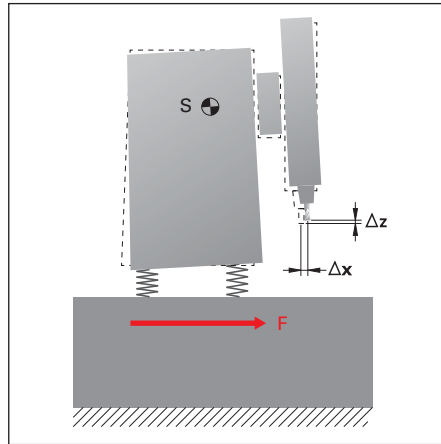


Figura 1: movimento oscillatorio di un asse

Gli errori di posizione risultanti in direzione dell'asse accelerato e degli assi trasversali sono pertanto proporzionali all'accelerazione dell'asse di avanzamento spostato (figura 2). Gli scostamenti dipendono inoltre dalla rigidità delle guide, dalla distanza fra il punto di intervento della forza di avanzamento e il centro di gravità nonché dalla distanza tra il centro di gravità e il TCP.

Tali scostamenti non vengono rilevati dagli encoder di posizione. La regolazione degli assi di avanzamento non è pertanto in grado di reagire a questo errore.

### Effetti sul pezzo

L'effetto si evidenzia nettamente quando lo stesso punto sul pezzo viene raggiunto una volta con un'accelerazione elevata e una volta con un'accelerazione ridotta.

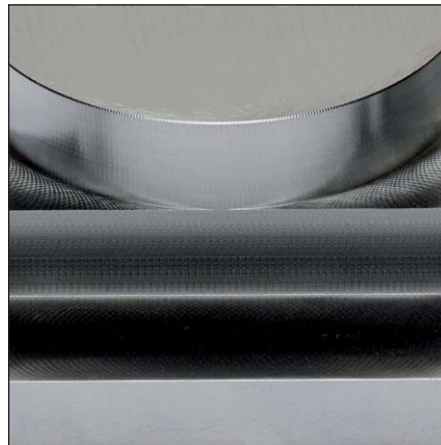


Figura 3: perno su quadrato; fresato con CTC, nessun appiattimento visibile

### Esempio 1: fresatura di cerchi

In seguito alla deformazione elastica dinamica nell'asse X e Y il perno (R32 F10000) viene realizzato troppo grande, come illustrato durante la fresatura del quadrato che si trova sotto il perno. Siccome la lunghezza del suo lato corrisponde esattamente al diametro del perno, il quadrato è idealmente tangente al perno di forma circolare (figura 3). Siccome il perno è tuttavia troppo grande a causa della deformazione elastica, durante la fresatura del quadrato sottostante una parte del perno viene eliminata. Nel cerchio si riscontra un appiattimento (figura 4).

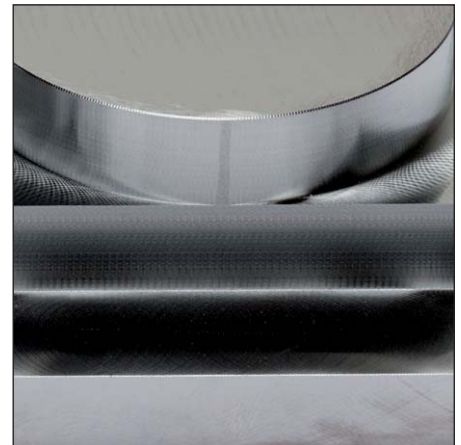


Figura 4: effetto della deformazione elastica (il perno troppo grande è stato appiattito durante la fresatura del quadrato)

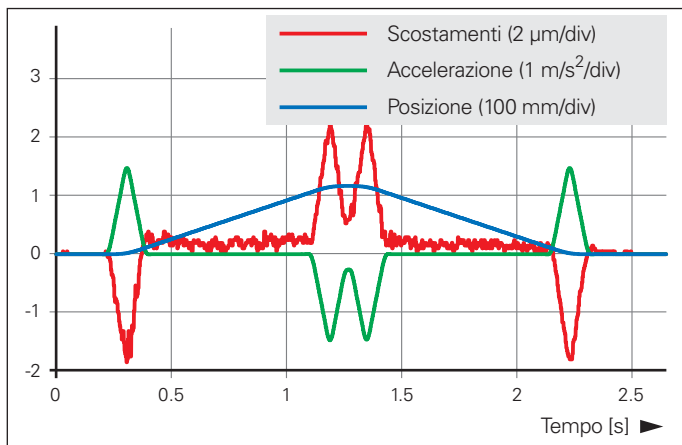


Figura 2: errore in funzione dell'accelerazione per variazioni di posizione

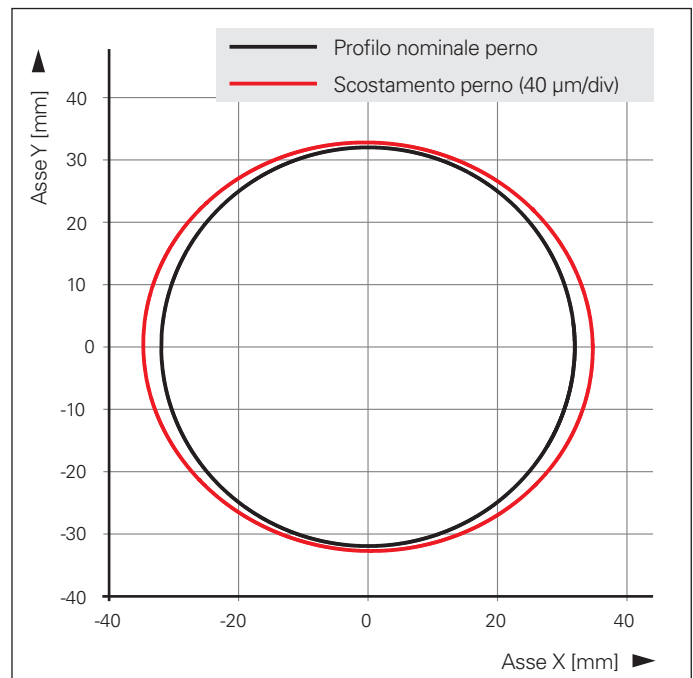


Figura 5: accuratezza del movimento circolare, lo scostamento dal profilo nominale è rappresentato ingrandito di 500 volte

Questo effetto di deformazione è illustrato nella figura 5. Gli scostamenti in funzione dell'accelerazione e noti dalle misurazioni si sommano al movimento reale. La traiettoria risultante mostra una leggera ellissi a causa dei differenti rapporti in direzione X e Y (masse, geometria della macchina ecc.).

Nella figura 6 lo scostamento è rappresentato non ingrandito. È evidente in questo caso che la deformazione elastica causa un ingrandimento del raggio in direzione X di 5 µm circa, in quanto durante la fresatura della superficie sottostante si forma un appiattimento sul cerchio di 1,2 mm di larghezza circa. Questo corrisponde anche all'errore misurato sul pezzo reale.

**Esempio 2: fresatura di tasche, deformazione elastica trasversalmente alla direzione di accelerazione**

Per la fresatura di tasche possono verificarsi rigature sulla superficie (figura 7) a causa di deformazioni degli assi dovute all'accelerazione trasversalmente alla direzione di movimento. Il movimento oscillatorio è determinato dall'operazione di accelerazione. La fresa viene premuta per breve tempo nel materiale. Con CTC si impedisce questo movimento di disturbo (figura 8).

**Compensazione mediante CTC**

Con la funzione CTC (Cross Talk Compensation) HEIDENHAIN offre un'opzione per compensare gli errori di posizione di assi accoppiati nel TCP. Le grandezze e i parametri interessati sono noti nel controllo numerico (accelerazione) oppure devono essere determinati con un procedimento di misura (rigidità della macchina).

Senza modificare meccanicamente la macchina o incrementare il tempo di lavorazione, è possibile produrre con maggiore precisione. Inoltre, con CTC l'accuratezza ottenibile è indipendente dalle accelerazioni eseguite.

**Effetti nell'impiego pratico**

Con l'aiuto di CTC è possibile ridurre fino all'80% sui profili di prova lo scostamento medio misurato con un sistema di misura a griglia. Questo consente di incrementare il jerk (misura della durata dell'accelerazione) e quindi di ridurre nettamente il tempo di lavorazione.

Con un aumento del jerk pari al fattore 2 è stato possibile ridurre i tempi traiettoria fino al 15%. Gli errori medi ammontavano pertanto grazie a CTC ad appena il 50% degli scostamenti raggiunti senza CTC.

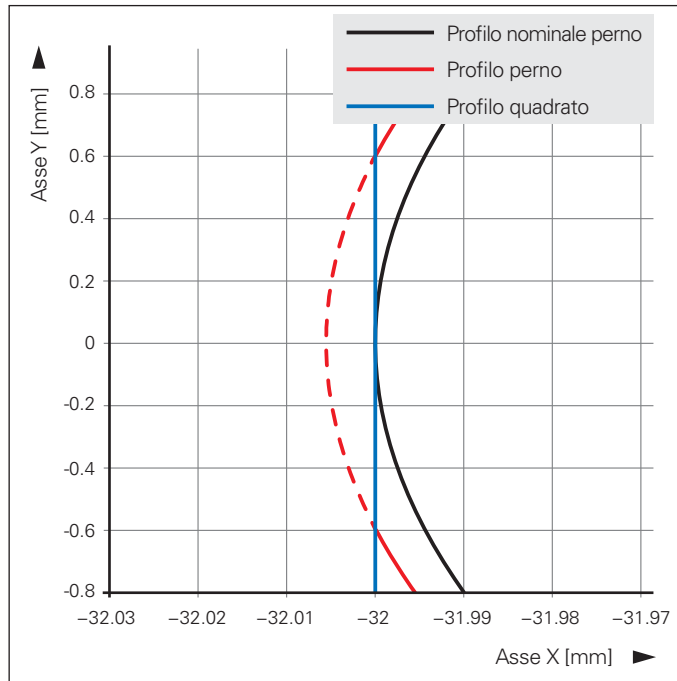


Figura 6: il dettaglio indica il danno del perno durante la fresatura del quadrato



Figura 7: lavorazione senza CTC



Figura 8: lavorazione con CTC

## Smorzamento attivo delle vibrazioni

Su superfici inclinate o curve si verificano spesso problemi superficiali sotto forma di ombre o attenuazioni di contrasto visibili. Hanno un effetto di particolare disturbo, in quanto l'occhio è molto sensibile alle distanze di osservazione tipiche comprese tra 30 e 60 cm per attenuazioni di contrasto con un periodo focale tra 0,5 mm e 5 mm. Le ombre possono essere ricondotte a diverse cause:

- vibrazioni meccaniche che derivano da elasticità nella catena cinematica o in messa in servizio della macchina,
- errori di posizione nell'arco di un periodo del segnale (errore di interpolazione) a causa dell'encoder impiegato (vedere al riguardo Informazioni tecniche *Superfici perfette con encoder HEIDENHAIN*).

In tali Informazioni tecniche sono considerati gli errori superficiali a causa di vibrazioni meccaniche.

Le ombreggiature periodiche sono causate principalmente da vibrazioni a bassa frequenza fino a 100 Hz. Per i consueti avanzamenti di finitura di 3000 - 6000 mm/min, tali vibrazioni si concentrano esattamente nella zona di questi periodi focali. In presenza di luce adeguata possono risultare visibili scostamenti dal profilo di 1  $\mu\text{m}$  e inferiori.

Due cause frequenti di cali della qualità superficiale sono:

- **Elasticità nella catena cinematica**

Nelle catene cinematiche può ad esempio verificarsi una vibrazione tra il lato di ingresso (motore) e il lato di uscita (slitta) a causa di deformazioni elastiche della vite a ricircolo di sfere o elasticità della cinghia dentata.

- **Vibrazioni in messa in servizio**

Le vibrazioni in messa in servizio sono inevitabili, sono tipicamente presente nel range di frequenze compreso tra 10 Hz e 30 Hz.

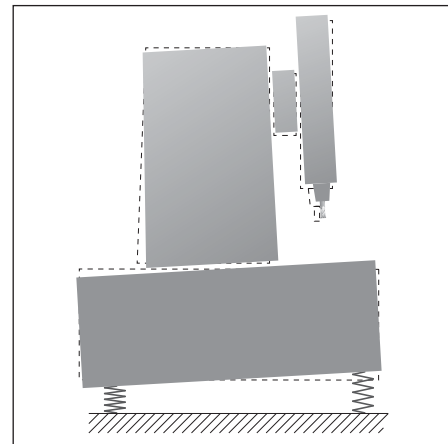


Figura 1: vibrazioni in messa in servizio

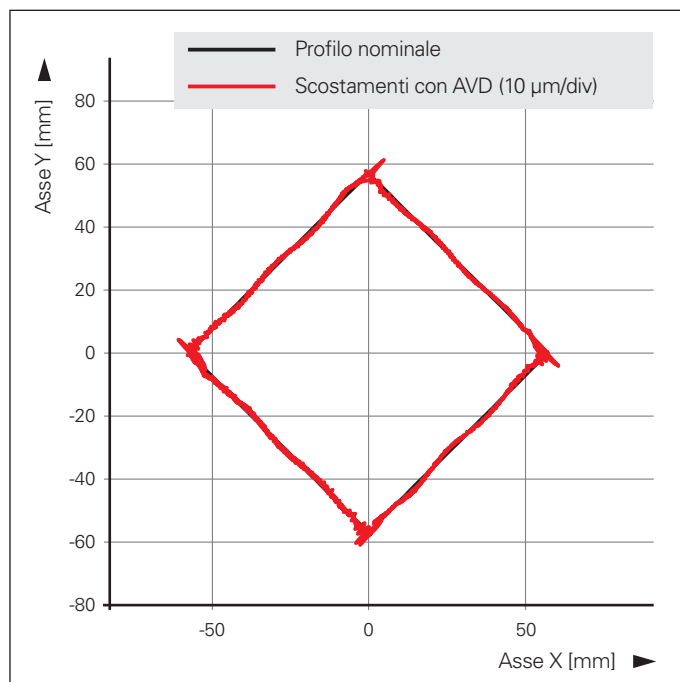
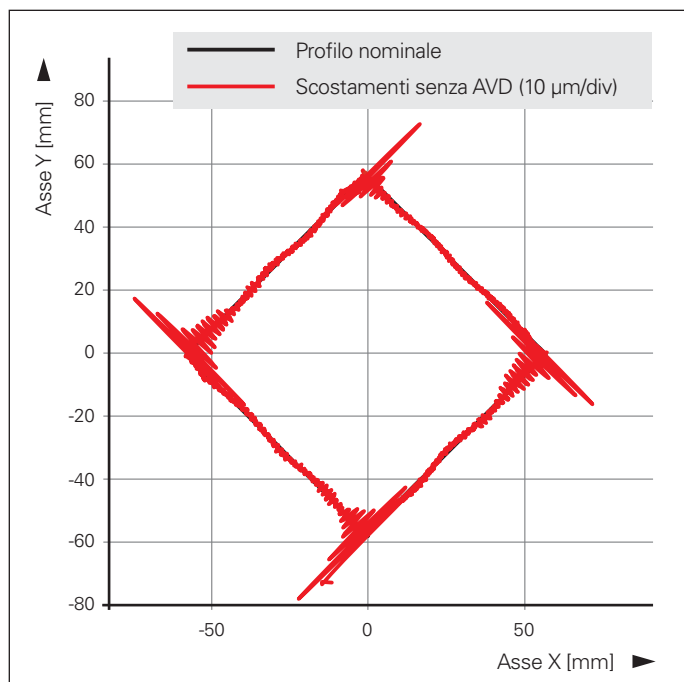


Figura 2 e 3: scostamenti a causa delle vibrazioni

### Contromisure di tipo tradizionale

Le vibrazioni possono essere sollecitate da operazioni di accelerazione della macchina o da accoppiamenti tramite il pavimento, dall'intervento della fresa nonché da ondulazioni di coppia del motore. Le sollecitazioni dovute alle operazioni di accelerazione possono essere ridotte diminuendo il jerk, il che comporta tuttavia tempi di lavorazione più lunghi.

### Compensazione mediante AVD

La funzione AVD (Active Vibration Damping) sopprime la vibrazione dominante a bassa frequenza (vibrazione in messa in servizio o elasticità nella catena cinematica).

AVD consente una fresatura rapida e priva di vibrazioni. Grazie alla soppressione dei disturbi risultanti dalle operazioni di accelerazione si possono raggiungere elevati valori di jerk e quindi elevate accelerazioni. Si riducono così i tempi di lavorazione senza compromettere la qualità superficiale del pezzo.

### Effetti nell'impiego pratico

Nel pezzo esemplificativo due quadrati sono disposti ad angolazioni diverse tra loro. Le operazioni di accelerazione sugli spigoli provocano vibrazioni dell'asse X e Y (figura 2 e 3). Le quote di vibrazioni perpendicolari alla superficie del pezzo sono visibili sotto forma di ombreggiature (figura 4). La lunghezza del periodo di 2 mm con un avanzamento di 2000 mm/min risulta dalla vibrazione in messa in servizio misurata di 16,5 Hz. Grazie alla funzione AVD è stato possibile eliminare quasi totalmente l'ampiezza della vibrazione (figura 5).

Per ottenere superfici equiparabili senza AVD, è stato indispensabile ridurre i valori di jerk del fattore 3.

### Conclusione

La funzione AVD incrementa la produttività della macchina utensile e/o migliora la qualità superficiale dei pezzi.

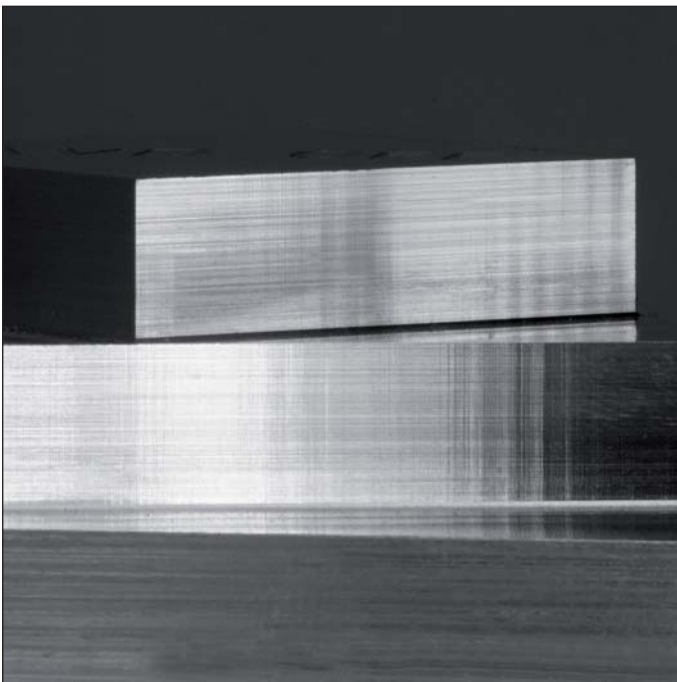


Figura 4: le vibrazioni possono compromettere in misura significativa la qualità superficiale

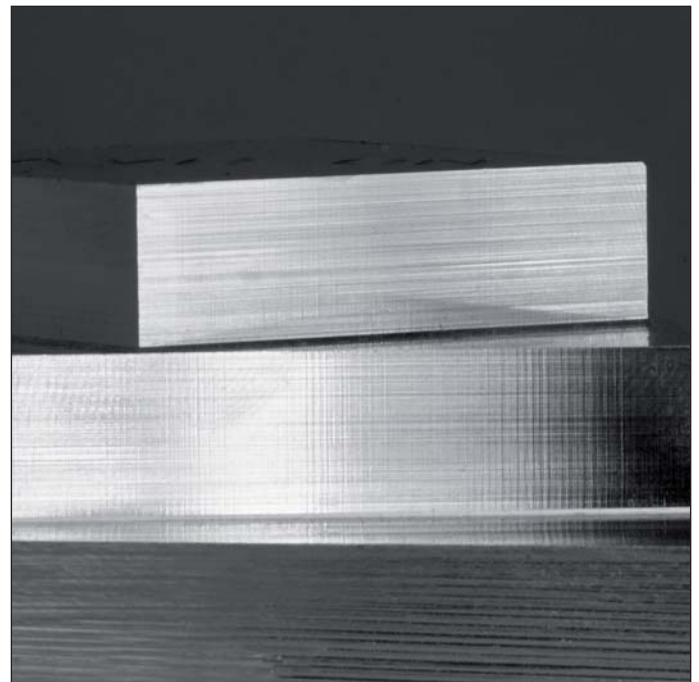


Figura 5: con AVD si consegue una qualità superficiale nettamente superiore

A seconda della cinematica della macchina risulta in funzione della posizione degli assi nell'area di lavoro un comportamento dinamico variabile della macchina che può influire negativamente sulla stabilità ovvero sulla qualità della regolazione in correlazione alle posizioni degli assi.

Modificando le posizioni degli assi variano i rapporti di massa in una macchina (vedere figura 1). Inoltre, in funzione della posizione possono cambiare anche le rigidità, ad esempio per viti a ricircolo di sfere. I modificati rapporti di massa e le diverse rigidità comportano uno spostamento delle frequenze intrinseche nella catena cinematica. Da questo deriva un comportamento di regolazione variabile in funzione della posizione.

Come parametro per la qualità della regolazione si può adottare l'errore di inseguimento, un indicatore che denota la qualità di regolazione di un profilo nominale.

### Provvedimenti di tipo tradizionale

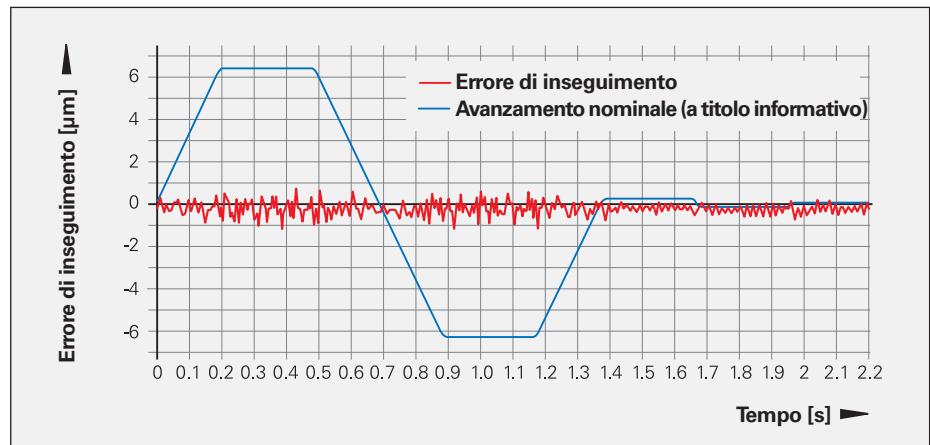
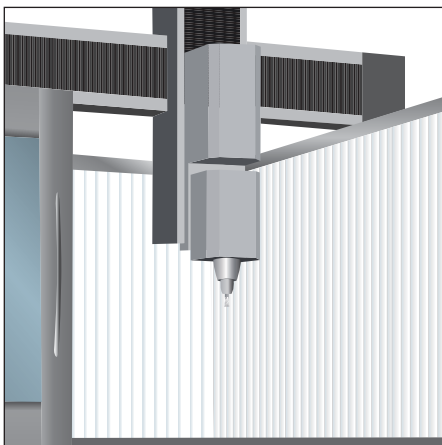
I circuiti di regolazione degli assi devono essere sempre compensati in modo tale da funzionare con stabilità e resistenza in qualsiasi posizione possibile. È pertanto sempre necessaria una taratura sulla posizione più debole. Spesso queste posizioni si trovano al margine del campo di traslazione (zona a margine dell'area di lavoro, cambia utensili, posizione di carico della tavola ecc.). Al centro dell'area di lavoro in cui ha luogo gran parte delle lavorazioni critiche in termini di accuratezza, è stato possibile incrementare notevolmente la dinamica di regolazione e la risultante accuratezza dinamica. Grazie alla taratura sulla posizione più debole rimane inutilizzato del potenziale utile al miglioramento dell'accuratezza dinamica.

Grazie alle impostazioni dei filtri e ai fattori di regolazione in funzione della posizione è possibile definire la regolazione ottimale per la macchina al fine di ottenere in qualsiasi posizione dell'area di lavoro il miglior risultato di lavorazione. A tale scopo è possibile incrementare l'accuratezza dinamica nelle posizioni rilevanti per gran parte delle lavorazioni

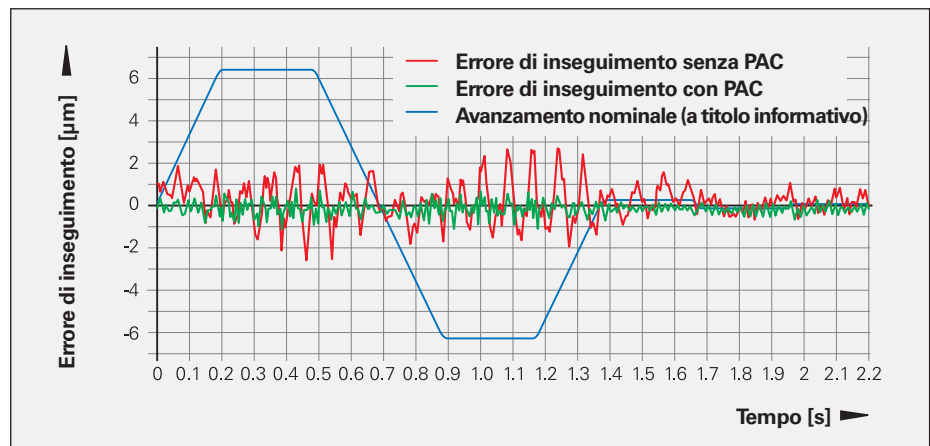
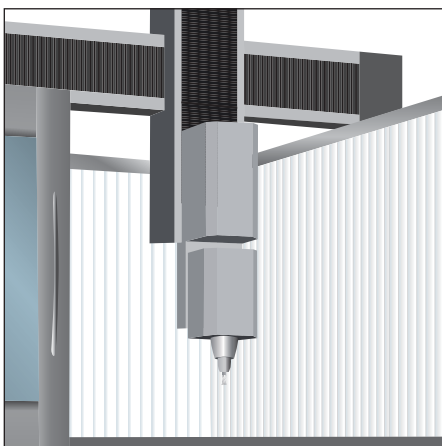
Più alti possono essere i fattori di regolazione selezionabili, migliore potrà essere la soppressione dei disturbi (ad es. errore di trasmissione, ondulazione di coppia del motore, ...) e quindi inferiore sarà l'errore di inseguimento. Questo implica a sua volta una migliore fedeltà del profilo.

### Vantaggi con PAC

L'opzione PAC (Position Adaptive Control) di HEIDENHAIN consente di modificare i parametri macchina in funzione delle posizioni degli assi. Questo consente di sfruttare appieno la dinamica della macchina.



Regolazione ottimizzata per Z=0, errore di inseguimento all'interno della banda di tolleranza ( $\pm 1 \mu\text{m}$ )



Regolazione con Z = -500

- senza PAC: con oscillazioni ed errori di inseguimento chiaramente identificabili all'esterno della banda di tolleranza ( $\pm 3 \mu\text{m}$ )
- con PAC attiva: errore di inseguimento all'interno della banda di tolleranza ( $\pm 1 \mu\text{m}$ )



Per macchine con tavole mobili il relativo comportamento dinamico può variare in funzione della massa (asse lineare) o dell'inerzia (asse rotativo) del pezzo serrato. I valori del precontrollo di attrito e accelerazione di un asse si applicano soltanto per la massa ovvero per l'inerzia presente durante l'operazione di taratura. Con un carico diverso i valori di precontrollo non si adattano più alla situazione effettiva. Questo si esprime in un errore di inseguimento maggiore durante le fasi di accelerazione. Si possono così verificarsi scostamenti dal profilo.

### Provvedimenti di tipo tradizionale

Per le diverse situazioni di carico i costruttori delle macchine possono predisporre blocchi parametrici in grado di essere attivati tramite una chiamata ciclo. Si riducono così sostanzialmente gli errori di inseguimento, in funzione degli stadi di carico rimangono tuttavia sempre errori residui.

Tipici sono ad esempio due blocchi parametrici per gli stadi di carico da 0 a 150 kg (taratura con 75 kg) e da 150 kg fino a 500 kg

(taratura con 325 kg). Nel peggiore dei casi la massa effettiva diverge dalla situazione di carico tarata per un massimo di 175 kg.

Più critica è la situazione nel caso di una tavola rotante. In questo caso è rilevante per la parametrizzazione del precontrollo l'inerzia e non la massa. In seguito al serraggio sfavorevole è possibile moltiplicare senza problemi la coppia di inerzia in presenza della stessa massa.

### Compensazione mediante LAC

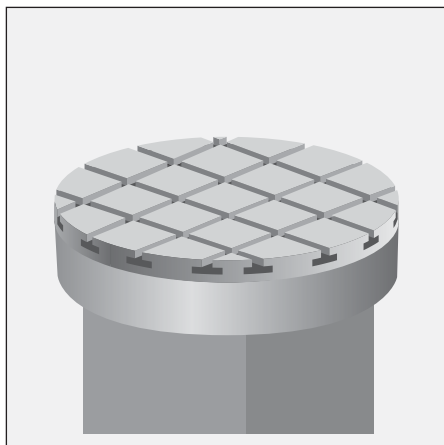
Con l'opzione LAC (Load Adaptive Control) di HEIDENHAIN il controllo numerico è in grado di determinare automaticamente la massa per assi lineari ovvero l'inerzia per assi rotativi attuali nonché le forze di attrito attuali. Per ottimizzare il comportamento di regolazione modificato in presenza di carico differente, i precontrolli adattativi possono essere attivati a velocità elevate in riferimento ad accelerazione, coppia di arresto, attrito statico e dinamico. Anche durante la lavorazione del pezzo il controllo numerico è in grado di adattare in continuo i parame-

tri del precontrollo adattativo di velocità alla massa o all'inerzia attuali del pezzo. La velocità di adattamento viene predefinita mediante parametro. Sono esclusi errori di comando in quanto l'operatore non deve determinare autonomamente lo stato di carico.

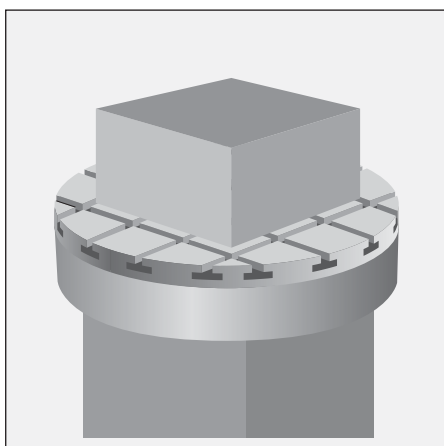
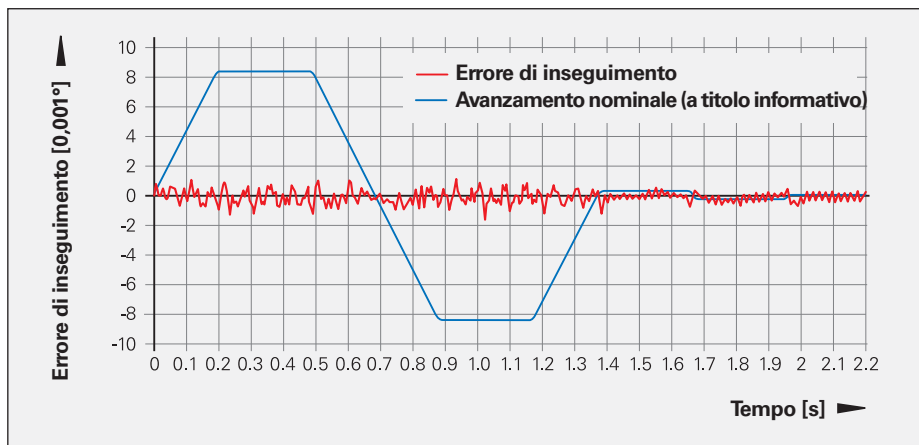
### Ulteriori vantaggi di LAC

A causa dell'invecchiamento dei componenti della macchina, ad esempio guide o viti a ricircolo di sfere, le forze di attrito possono variare fortemente nel corso della vita utile di una macchina utensile. Pertanto il precontrollo impostato in modo ottimale al momento della fornitura non è più valido dopo alcuni anni. Con l'opzione LAC si raggiunge permanentemente una taratura ottimale dell'asse.

Tuttavia anche rapporti di attrito che mutano rapidamente, che ad esempio risultano da impulsi di lubrificazione nel caso delle guide di scorrimento, possono essere ottimamente compensati con LAC.

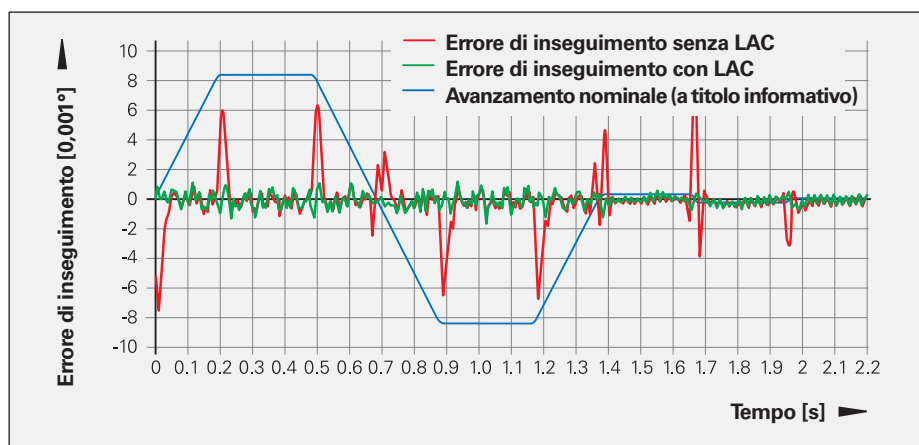


Precontrollo ottimale della velocità per tavola rotante senza carico con errore di inseguimento all'interno della banda di tolleranza ( $\pm 0,001^\circ$ )



Carico modificato

- senza LAC: con precontrollo invariato della velocità l'errore di inseguimento si trova all'esterno della banda di tolleranza ( $\pm 0,008^\circ$ )
- con LAC: con precontrollo della velocità e LAC attivo l'errore di inseguimento si trova all'interno della banda di tolleranza ( $\pm 0,001^\circ$ )



# MAC

## adattamento in funzione del movimento dei parametri di regolazione

dynamic  precision

Il comportamento della macchina può variare non soltanto in funzione della posizione degli assi nell'area di lavoro ma anche in funzione della velocità. Questo è da ricondurre tra l'altro all'influenza della velocità sull'attrito nelle guide. I modificati rapporti di attrito possono ripercuotersi sulle vibrazioni di una macchina utensile. Una regolazione ottimale, eseguita di norma per lo stato di riposo, può comportare in rapido una forte vibrazione.

Con MAC è inoltre possibile modificare comodamente in funzione della velocità il pretensionamento di una cremagliera con due motori di avanzamento indipendenti.

### Vantaggi con MAC

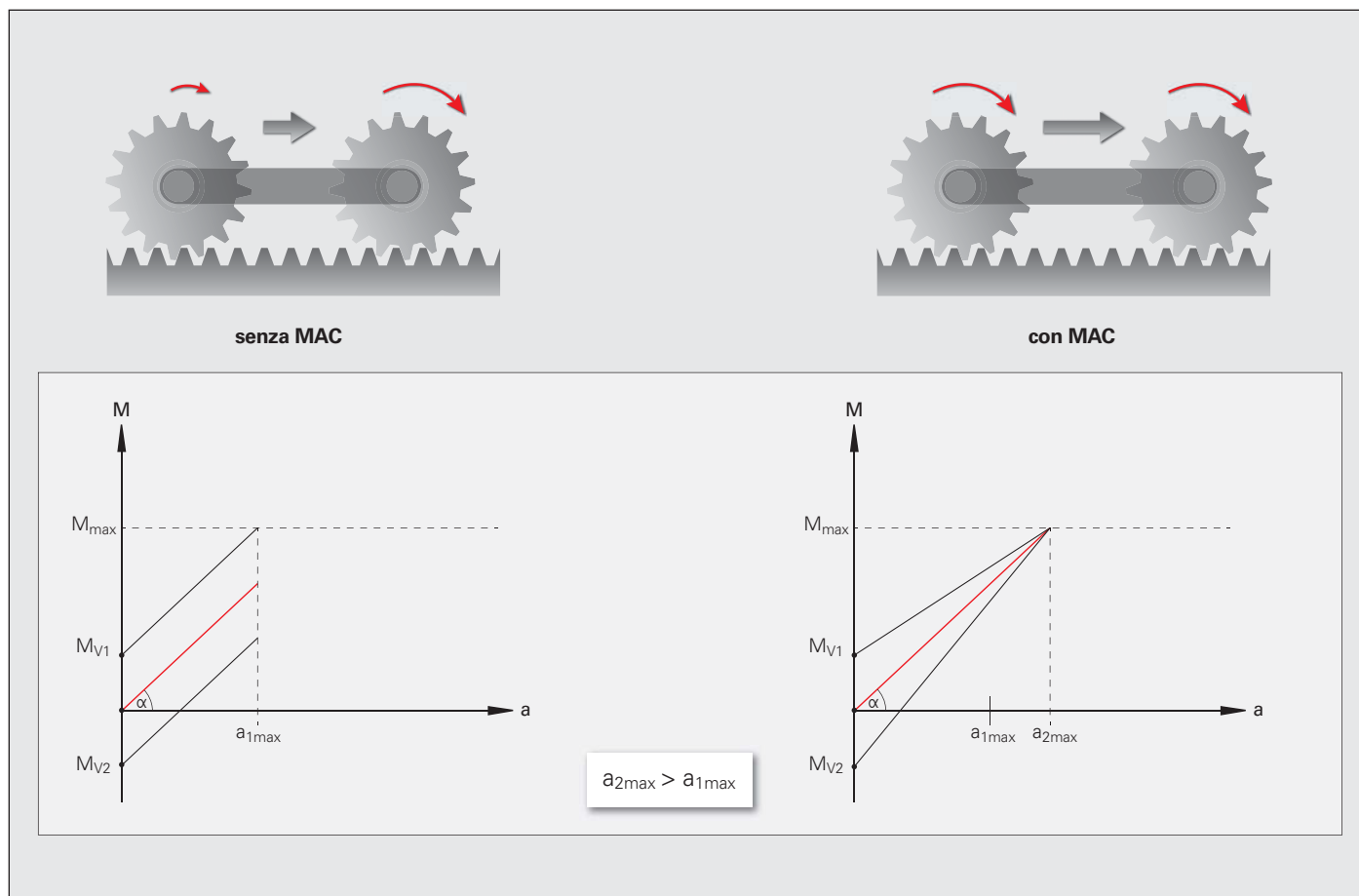
#### Esempio 1

L'opzione MAC (Motion Adaptive Control) offre la possibilità di modificare i parametri macchina in funzione di altre grandezze in ingresso quali velocità, errore di inseguimento o accelerazione di un azionamento. Con questo adattamento in funzione del movimento dei parametri di regolazione è possibile realizzare ad esempio per azionamenti, la cui stabilità varia alle differenti velocità di traslazione, un adattamento in funzione della velocità del fattore Kv. Per ogni situazione di lavorazione è così possibile impiegare l'impostazione di regolazione ottimale. Questo consente una soppressione ideale dei disturbi e migliora il comportamento dinamico della macchina.

#### Esempio 2

Un altro caso applicativo è la variazione in funzione dell'accelerazione della coppia di preserraggio tra asse master e slave per la regolazione MMS. L'opzione MAC consente di raggiungere con questa disposizione, ad esempio mediante una riduzione parametrizzata con accelerazione crescente della coppia di preserraggio, un'accelerazione massima nettamente maggiore in presenza di movimenti in rapido.

Grazie alla riduzione della coppia di pretensionamento in stato di riposo, l'apporto di calore nella macchina risulta notevolmente contenuto e sono pertanto ridotte anche le deformazioni o gli spostamenti termici.



# Dynamic Precision

## Combinazione ottimale di funzioni

Le funzioni combinate in Dynamic Precision si completano a vicenda in modo ottimale. Un semplice profilo esemplificativo – rappresentato in nero nei grafici – illustra tale condizione per CTC e AVD. Gli scostamenti nel TCP sono stati registrati con un sistema di misura a griglia a una velocità di avanzamento di 10000 m/s. Nel grafico gli scostamenti dal profilo sono rappresentati amplificati del fattore 500.

Nella figura 1 gli scostamenti dal profilo nominale sono evidenziati come linea rossa. Proprio nelle fasi di accelerazione sugli spigoli si presentano valori elevati a causa dell'alta velocità.

Con Dynamic Precision, in questo caso attivando le opzioni CTC e AVD, questi scostamenti vengono compensati (linea verde in figura 1). Con contemporaneo avanzamento elevato la lavorazione è essenzialmente precisa nel profilo. A causa degli scostamenti ridotti è possibile incrementare il jerk al fine di ottenere un comportamento dinamico della macchina.

Jerk elevati sollecitano fortemente la macchina. Le vibrazioni da ciò risultano possono manifestarsi sul pezzo sotto forma di ombreggiature. Queste vibrazioni più intense vengono a loro volte ridotte dall'opzione AVD.

La figura 2 mette a confronto lo stato di uscita (linea rossa: senza Dynamic Precision con jerk al 100%) con la lavorazione con Dynamic Precision e jerk al 200% (figura 2, linea verde). Risulta pertanto evidente che grazie a Dynamic Precision con dinamica elevata si ottiene uno scostamento medio sempre migliorato del fattore 2. Grazie al raddoppiamento del jerk è stato inoltre possibile ridurre il tempo traiettoria per questo profilo del 12%.

	Scostamento medio	Tempo
CTC off AVD off R100%	2,6 µm	1,04 s
CTC on AVD on R100%	0,4 µm	1,04 s
CTC on AVD on R200%	0,6 µm	0,91 s

### Conclusion

Dynamic Precision consente di lavorare in maniera nettamente più precisa oppure – se si incrementa il jerk – in maniera più precisa e rapida.

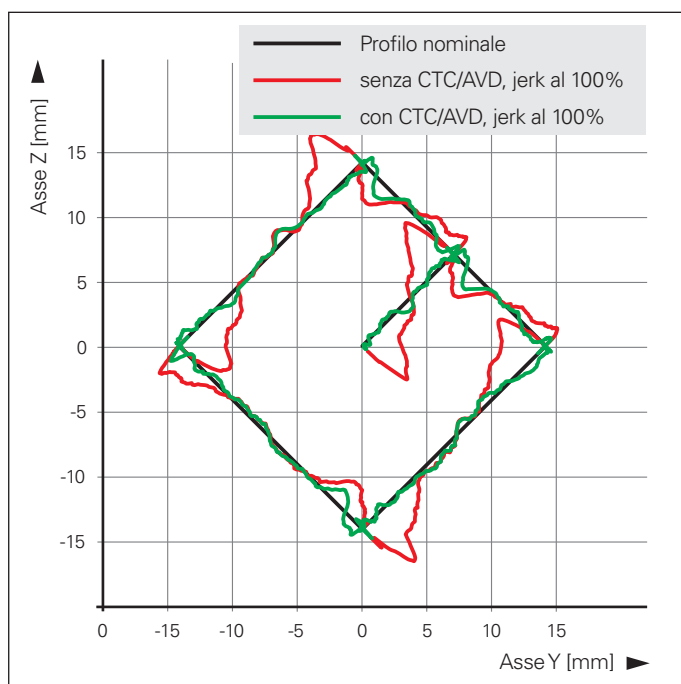


Figura 1: scostamenti senza e con Dynamic Precision per jerk al 100%

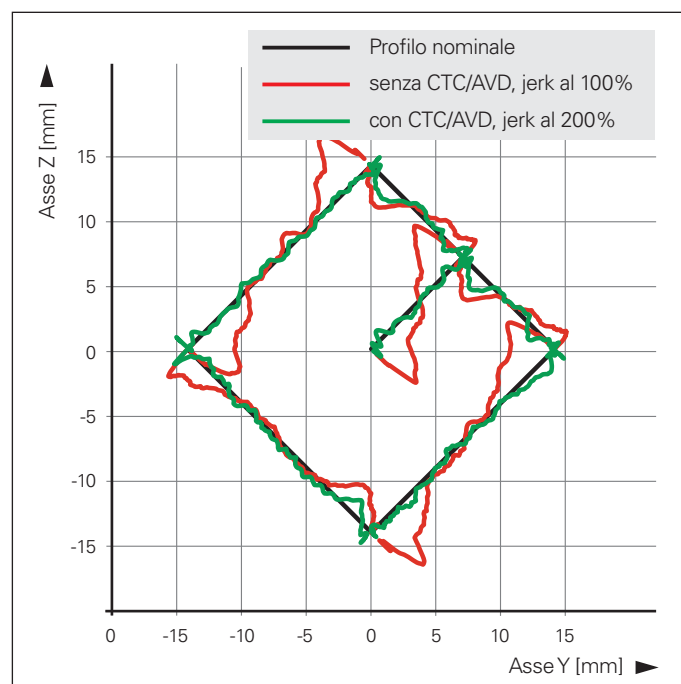


Figura 2: scostamenti senza Dynamic Precision per jerk al 100% e con Dynamic Precision per jerk al 200%

# Controlli numerici HEIDENHAIN

## Controlli numerici continui per fresatrici, alesatrici, foratrici, centri di fresatura-tornitura e centri di lavoro

I controlli TNC HEIDENHAIN costituiscono una linea universale: dal semplice e compatto controllo numerico parassiale a 3 assi TNC 128 al controllo numerico continuo iTNC 530 (fino a 18 assi più mandrino), andando così a coprire pressoché qualsiasi applicazione, cui si aggiunge anche il TNC 640, il controllo numerico continuo per lavorazioni di fresatura e tornitura.

ITNC di HEIDENHAIN sono versatili: di semplice funzionamento ma anche programmabili dall'esterno e quindi ideali per la produzione automatizzata. È possibile eseguire con massima affidabilità sia semplici lavorazioni di fresatura sia, ad esempio con TNC 640 e iTNC 530, fresatura ad alta velocità e con movimento particolarmente uniforme o la lavorazione a 5 assi con testa orientabile e tavola rotante.

Con i termini **Dynamic Efficiency** e **Dynamic Precision** di HEIDENHAIN si combinano funzioni di controllo innovative per una lavorazione altamente precisa ed efficiente.

**Dynamic Efficiency** consente all'utilizzatore di rendere più efficiente l'asportazione elevata del truciolo e la lavorazione di sgrossatura ma anche di garantire una maggiore sicurezza di processo. **Dynamic Efficiency** è disponibile sui controlli numerici TNC 640 e iTNC 530.

**Dynamic Precision** assicura pezzi più precisi con superfici pulite con lavorazione rapida, ossia elevata accuratezza abbinata ad alta produttività. Le opzioni software di **Dynamic Precision** possono essere utilizzate con TNC 640, iTNC 530 e TNC 620.



TNC 640



iTNC 530



TNC 620

	TNC 640	iTNC530	TNC 620
<b>Dynamic Precision</b>	x	x	x
<b>CTC</b> – Compensazione di errori di posizione a causa di elasticità	opzione	opzione	opzione
<b>AVD</b> – Smorzamento attivo delle vibrazioni	opzione	opzione	opzione
<b>PAC</b> – Adattamento in funzione della posizione dei parametri di regolazione	opzione	opzione	opzione
<b>LAC</b> – Adattamento in funzione del carico dei parametri di regolazione	opzione	opzione	opzione
<b>MAC</b> – Adattamento in funzione del movimento dei parametri di regolazione	opzione	opzione	opzione
<b>Dynamic Efficiency</b>	x	x	–
<b>ACC</b> – Soppressione attiva delle vibrazioni	opzione	opzione	opzione
<b>AFC</b> – Controllo adattativo dell'avanzamento	opzione	opzione	–
<b>Fresatura trocoidale</b>	•	•	•

x funzioni possibili  
• funzione standard

## HEIDENHAIN

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH**  
Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5  
83301 Traunreut, Germany

☎ +49 8669 31-0

FAX +49 8669 5061

E-mail: info@heidenhain.de

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

### Ulteriori informazioni:

- Catalogo *TNC 640*
- Catalogo *iTNC 530*
- Catalogo *TNC 620*
- Informazioni tecniche *Dynamic Efficiency*

