

SIMULAZIONE E ANALISI SOFTWARE PER MACCHINE UTENSILI

Antonio Scippa

Ottimizzare i parametri per una lavorazione di fresatura su macchina a controllo numerico significa sfruttare in modo più efficiente l'utensile, ridurre i tempi di lavorazione e ottenere un migliore risultato finale. Vediamo come la simulazione virtuale di questo processo possa favorire il perseguimento di tale obiettivo.

UTENSILE E MACCHINA NELLA LAVORAZIONE NC

Nell'ambito delle lavorazioni meccaniche su centri a controllo numerico le variabili che influiscono sui livelli di prestazione e qualità sono molteplici.

A prescindere dalla geometria dei percorsi di lavorazione, la cui definizione ottimale trova supporto nei software CAM oggi disponibili, i fattori tecnologici connessi alle caratteristiche intrinseche della macchina e dell'utensile risultano determinanti per l'ottimizzazione dell'intero processo di lavorazione.

Per focalizzare l'attenzione su tali aspetti e comprendere come la simulazione numerica costituisca un valido supporto anche alla corretta definizione dei parametri tecnologici in una lavorazione NC, facciamo riferimento a specifiche analisi condotte presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Firenze.



Antonio Scippa, ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Firenze, ha seguito lo studio sulla valutazione degli errori dovuti alla cinematica e alla dinamica della macchina, attraverso il supporto dei software di modellazione e simulazione virtuale MSC Adams e NASTRAN



Laboratorio dedicato
alla sperimentazione su
macchina utensile reale.

“La qualità di un componente ottenuto mediante lavorazione per asportazione di truciolo”, spiega Antonio Scippa, ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell’Università degli Studi di Firenze, “dipende ovviamente dalla precisione geometrica del modello virtuale realizzato in ambiente CAD e dalla sua ricostruzione/discretizzazione all’interno dei software CAM ed è naturalmente legata al livello di finitura superficiale consentito dal processo di lavorazione”.

Tali errori possono essere ridotti grazie all’utilizzo dei cosiddetti CAM “verticali”, che sono in grado di definire il percorso utensile direttamente dalla matematica della superficie finale del pezzo.

Naturalmente questo tipo di approccio può essere applicato in pratica solo a elementi caratterizzati da geometrie ben definite, quali profili alari, come le palette di turbomacchine, o profili coniugati, come quelli di ruote dentate.

“In maniera analoga, però, errori legati alla cinematica della macchina utensile, come ad esempio giochi e tolleranze posizionali degli assi rotanti, possono incidere in modo significativo sull’accuratezza dimensionale del pezzo in lavorazione. I livelli di finitura superficiale sono invece influenzati dalla dinamica della macchina utensile e dalla scelta dei parametri di taglio”.

Poiché buoni risultati richiedono una lavorazione dinamicamente stabile e un controllo accurato del posizionamento degli assi macchina, è importante essere in grado di prevedere sia gli errori dovuti alla cinematica dei percorsi sia quelli dinamici, correlati cioè alla movimentazione di utensile e corpo macchina.

Conoscere il reale comportamento di un utensile durante una lavorazione significa inoltre poter stabilire un set di parametri tecnologici in grado di ottimizzare il processo e quindi garantire la qualità del risultato.

“Per conoscere gli errori di lavorazione dovuti alla cinematica del percorso e alla dinamica di macchina”, sottolinea Antonio Scippa, “è utile ricorrere a una metodologia che coniughi simulazione virtuale e sperimentazione. La comparazione fra i risultati simulati e quelli sperimentali consente di inquadrare meglio le problematiche e delineare strategie appropriate per la messa a punto dei parametri tecnologici in relazione alle finalità e modalità della specifica lavorazione”.

Gli studi sugli errori cinematici e dinamici nel settore delle macchine utensili, nell’ambito di una sperimentazione più ampia condotta presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale, riguardano in modo particolare la fresatura a cinque assi con tecnologia ad alta velocità.

Sono queste, infatti, le situazioni più complesse e nelle quali il comportamento dinamico della macchina utensile incide in modo particolare sugli errori in lavorazione.

Trattandosi peraltro di tecnologie moderne, oggi ampiamente utilizzate nel mondo industriale, è importante osservare come le considerazioni oggetto di tali studi possano avere benefiche ricadute sulla reale operatività in una vasta gamma di aree produttive.

“Nell’ambito del nostro studio sugli errori geometrici indotti sul pezzo in lavorazione e correlati alla movimentazione degli assi macchina, abbiamo sviluppato un modello multi-body”, continua Scippa, “mentre, per quanto riguar-

da la dinamica, la scelta è ricaduta su un approccio ibrido numerico-sperimentale, in grado di prevedere il comportamento dinamico del sistema macchina utensile - fresa. In sintesi, grazie all'approccio sviluppato è possibile, con un numero limitato di misure sperimentali, caratterizzare il comportamento dinamico di una macchina utensile attraverso un'analisi modale sperimentale condotta sul solo portautensile montato sul mandrino, per ottenere in seguito, tramite simulazione numerica, la dinamica al tool-tip, per qualsiasi tipologia di utensile modellato tramite elementi finiti".

L'ambiente di simulazione software per l'analisi del comportamento dinamico è, nello specifico, MSC Nastran.

Per quanto concerne lo studio degli errori quasi statici legati alle tolleranze di posizionamento dell'utensile, esso invece si basa su un modello multi-body sviluppato in ambiente MSC-Adams.

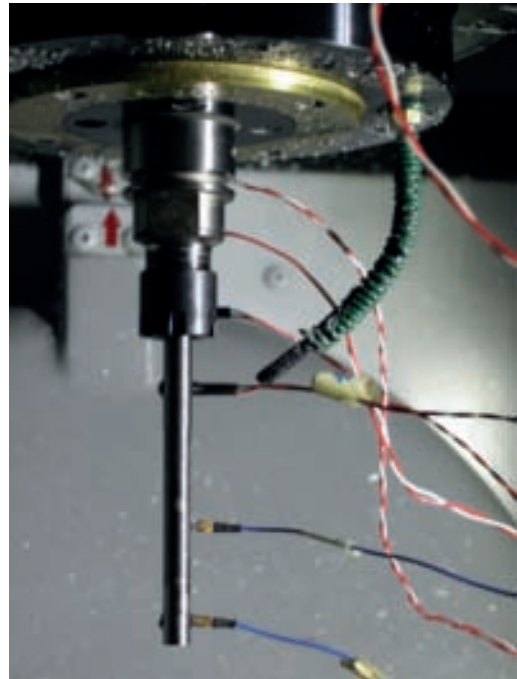
Se la simulazione del comportamento cinematico riguarda in modo specifico gli errori di posizionamento, quella relativa al comportamento dinamico prende in considerazione le vibrazioni provocate dalle forzanti in gioco, per condurre a un diagramma di stabilità che relaziona il numero di giri del mandrino con i parametri ottimali di taglio utilizzabili nella lavorazione.

Individuando le condizioni di taglio ottimali, questa relazione stabilisce quali sono le aree di lavoro nelle quali occorre ridurre il tasso d'asportazione di materiale a causa delle criticità dinamiche dovute all'interazione tra la rigidità dinamica dell'utensile, le forze di taglio e l'elevato numero di giri, e le aree in cui invece è possibile aumentare la produttività.

ANALISI ERRORI PER LAVORAZIONI A CINQUE ASSI

Nello studio concreto relativo a una macchina a cinque assi, accanto alla fase sperimentale si affianca una simulazione numerica svolta nei due ambienti MSC Adams e MSC Nastran.

Per valutare l'influenza degli errori geometrici dovuti alla cinematica di macchine a cinque assi, attualmente le più versatili e performanti sul mercato, la procedura seguita prevede innanzitutto, come di norma, il collaudo della macchina con un test di contornatura del cono. L'errore sul profilo del cono lavorato in condizioni di taglio stabili, con velocità di contornatu-



Dettaglio tecnico nella fase sperimentale.

ra ridotta e in condizioni termiche prestabilite, permette di evidenziare il livello di accuratezza cinematica della movimentazione sincrona dei cinque assi e di tarare il modello numerico per la previsione degli errori cinematici di una generica lavorazione a 5 assi.

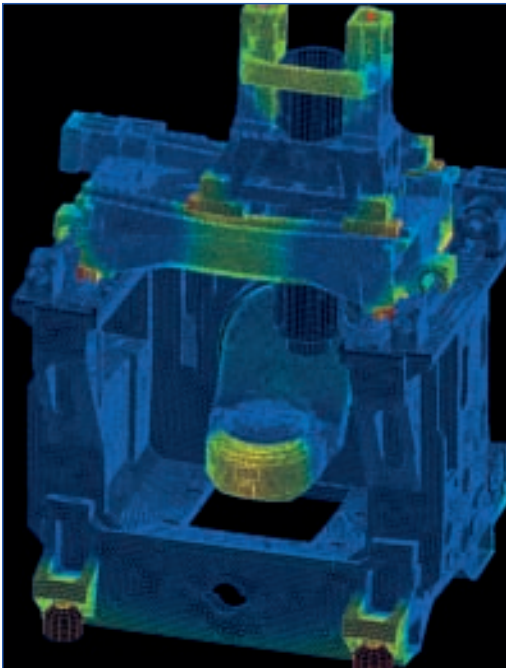
La prestazione complessiva dipende, in termini di precisione, da una serie di fonti geometriche d'errore, correlate fra loro in modo complesso.

Può trattarsi d'imperfezioni geometriche degli assi lineari, così come di errori di ortogonalità e rettilineità, giochi nel posizionamento, oppure errori di posizionamento spaziale degli assi rotanti, da cui dipendono le tolleranze di posizione e perpendicolarità del giunto cinematico.

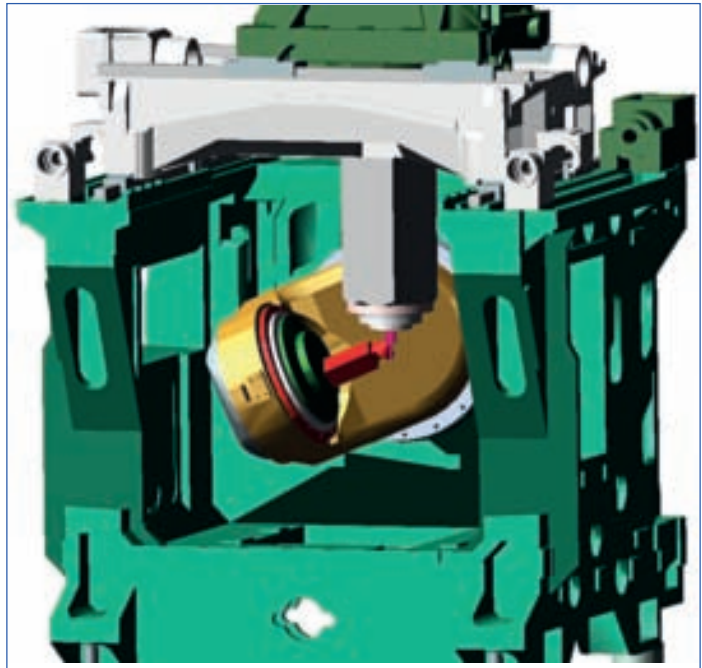
Per determinare l'incidenza di ogni fonte d'errore sulla geometria del componente in lavorazione, occorre modellare i fenomeni quasi-statici del processo di fresatura.

A tale scopo, nell'ambito dell'attività di ricerca condotta in collaborazione con Machine Tool Technologies Research Foundation, il Laboratorio di Tecnologia Meccanica ha sviluppato un modello cinematico multi-body della fresatrice a cinque assi Mori Seiki NMV1500 DCG.

Il modello è stato implementato in ambiente MSC Adams, che ha consentito di gestire, attraverso la Table Editor, i parametri di processo in



Analisi FEM sul modello virtuale della macchina utensile.



Modellazione di Macchina Utensile in ambiente MSC Adams.



Dettaglio del modello virtuale relativo alla lavorazione.

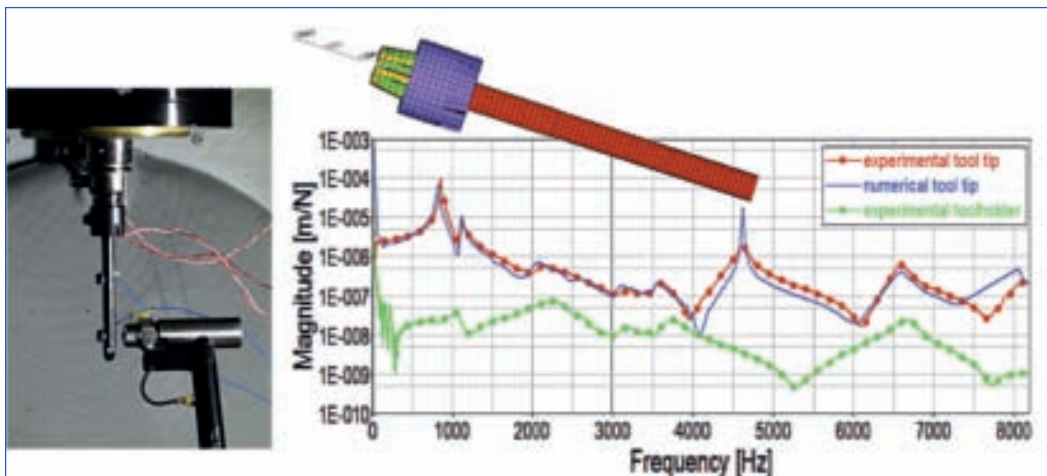
relazione alla posizione del pezzo in lavorazione nell'area di lavoro e agli errori che descrivono le imperfezioni degli assi.

I risultati ottenuti hanno confermato la validità di questa metodologia, dimostrandone l'utilità e versatilità anche come strumento d'indagine dei dati sperimentali.

Il modello sviluppato può quindi essere impiegato come post-processor CAM, in alternativa a

quello tradizionale basato sulla cinematica nominale della macchina utensile, ed è in grado di correggere il percorso utensile in modo appropriato, per ottenere un percorso più fedele alla geometria desiderata.

La costruzione di una generica funzione in Adams View, attraverso la generazione di una Measure Solver Computed, consente di generare leggi di moto esatte, riferibili non solo a entità



Risultati di analisi dinamica in frequenza, condotta con MSC Nastran. Il confronto numerico sperimentale evidenzia l'eccellente capacità previsionale dell'approccio.

geometriche, come curve e superfici CAD, ma anche applicabili ad algoritmi di controllo della velocità e di accelerazione degli assi.

Al contrario di un sistema CAM che trasforma il profilo analitico in segmenti e archi di circonferenza, le Measures Solver Computed assegnano a ciascun asse il movimento, funzione del tempo, che permette la corretta contornatura di un profilo geometrico, tenendo conto del comportamento reale della struttura.

Inoltre lo stesso modello cinematico può essere utilizzato in maniera inversa, per individuare le condizioni e le regioni dell'area di lavoro al cui interno l'errore cinematico complessivo viene influenzato maggiormente da particolari errori geometrici degli assi della macchina utensile.

“Si comprende quindi”, sottolinea Antonio Scippa, “come la simulazione cinematica basata sul software MSC Adams possa essere utilmente impiegata per risalire alle cause di uno specifico errore su un pezzo lavorato”.

Grazie alle informazioni fornite dal simulatore software, l'utente può decidere se seguire una strategia di compensazione dell'errore, modificando il percorso utensile, oppure ripristinare la quota geometrica corretta della macchina.

La simulazione cinematica risulta particolarmente utile nel caso delle lavorazioni con macchina utensile a 5 assi oggetto dello studio.

Infatti per questo tipo di macchina non è possibile generare una mappa tridimensionale dell'errore, che permetta cioè di individuare l'entità dell'errore in una qualsiasi area di lavoro,

dal momento che una posizione del tool-tip può essere raggiunta con diverse configurazioni degli assi.

Ebbene, la simulazione cinematica mediante software consente invece di ricavare l'entità dell'errore per qualunque configurazione degli assi.

È quindi possibile, nel caso di macchine a cinque assi, svolgere un'analisi accurata in grado di stabilire come alcuni errori cinematici influenzino l'errore geometrico del pezzo, in relazione alla posizione degli assi.

Il modello virtuale per lo studio della cinematica di macchina assume come rigide tutte le sue parti strutturali, trascurandone l'effetto dovuto alla loro flessibilità che, per realizzare un modello previsionale più accurato e performante, dovrebbe invece essere considerata nel caso di elevate forze di taglio o inerziali.

D'altra parte, a causa dell'onere computazionale che essa comporta, questa strategia è consigliabile solo nel caso di cicli di lavorazione particolarmente gravosi, oppure nel caso di macchine utensili con rigidità non troppo elevata.

Il modello in questione è stato realizzato, anche in questo caso, in ambiente MSC Adams, modellando la flessibilità dei componenti tramite super elementi FEM.

È stato così possibile considerare l'influenza delle deformazioni strutturali determinate dagli effetti inerziali indotti dalla dinamica degli azionamenti macchina.