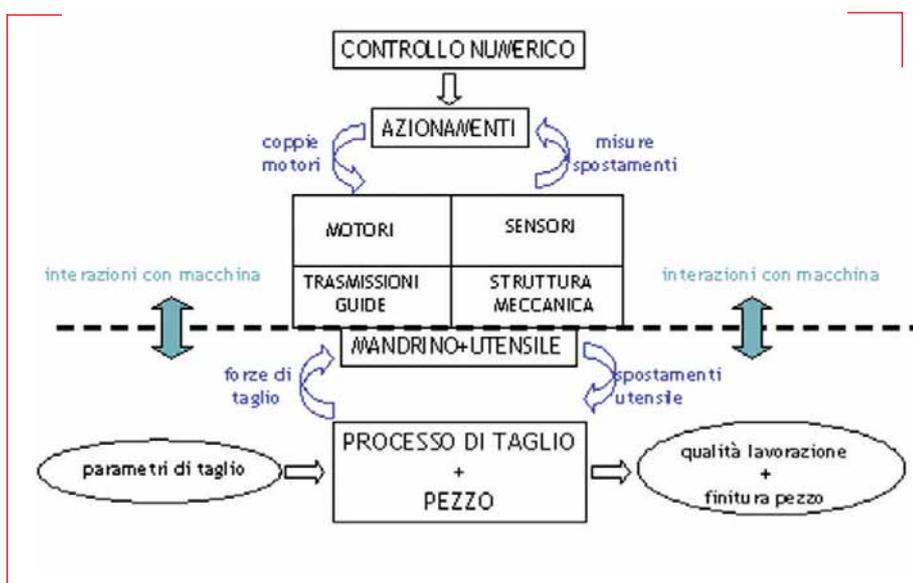


Il progetto delle macchine utensili



I. Modello dinamico di macchina utensile.

In occasione della venticinquesima edizione di Bimu, si è tenuta una giornata di studio sulla progettazione avanzata di macchine utensili che ha ricevuto un'ottima risposta in termini di affluenza e interesse. I relatori erano per la maggior parte ricercatori presso il Musp, il laboratorio per la ricerca applicata nel settore delle Macchine Utensili e dei Sistemi di Produzione (www.musp.it), nato grazie a università (Politecnico e Cattolica), imprese del settore macchine utensili (Jobs, Lafer, Mandelli, MCM, Sandvik, Samputensili e Working Process), associazioni (Ucimu-Sistemi per Produrre, Confindustria Piacenza) e istituzioni (Fondazione di Piacenza e Vigevano, Comune e Provincia di Piacenza).

Ai relatori è stato posto un quesito specifico, attorno al quale sono state sviluppate tutte le presentazioni della giornata, coordinate dal Professore Michele Monno, direttore e coordinatore scientifico del Laboratorio Musp: «Esiste un futuro possibile per l'industria europea della macchina utensile?».

Prospettive positive

I ricercatori di Musp, ne sono tutti convinti, ma pensano che questo futuro passi attraverso una spinta innovativa permanente cui, come laboratorio di ricerca specificamente rivolto a questo settore, vogliono contribuire. Proprio per questo motivo Musp ha aderito prontamente alla richiesta di Ucimu-Sistemi

In una interessante giornata di studio in occasione della Bimu è stato fatto il punto sulle tecniche e sulle tecnologie innovative per la progettazione di macchine utensili, nonché sulla possibilità di studiare sistemi già esistenti per migliorarne le prestazioni. Per i ricercatori del Musp esiste un futuro possibile per l'industria europea della macchina utensile

	Modelli CAD	Modelli PC	Modelli Fem
CNC	✗	Siemens Fanuc Heidenheim	✗
Motori	✗	Brushless	✗
Meccanica	Elementi strutturali Elementi cinematici	Traversa Cannotto Carro Viti Guida Chiocciolo	
Componenti ausiliari		Sistema Pneumatico	
strutture macchina modellate			

2. Database di modelli delle parti di macchina utensile.

per Produrre e di Aitem (Associazione Italiana Tecnologia Meccanica) di promuovere una giornata di aggiornamento sulle tecniche avanzate applicabili alla progettazione di sistemi meccanici complessi.

Dalle presentazioni dei relatori, che riassumevano le considerazioni emerse dal lavoro di ricerca sviluppato anche grazie all'appoggio e alla collaborazione di alcune delle realtà imprenditoriali che fanno parte di Musp, è emersa la possibilità di impiegare tecniche e tecnologie innovative per la progettazione di macchine utensili, nonché la possibilità di studiare sistemi già esistenti per migliorarne le prestazioni.

Simulare il comportamento di un sistema, infatti, permette di migliorarne la conoscenza e quindi di individuare le possibili vie di sviluppo successivo. È inoltre possibile, con opportuni strumenti di simulazione, valutare l'applicazione di soluzioni innovative sviluppando un prototipo virtuale della macchina utensile che si desidera realizzare. E se in passato uno studio di questo tipo avrebbe richiesto la costruzione di un prototipo fisico, oggi la simulazione riduce tempi e costi di progettazione e permette di prevedere le prestazioni, come, ad esempio, la capacità di asportazione di truciolo.

Trasversale a questo argomento, risulta di notevole interesse quello relativo alla procedura per il collaudo di macchine utensili di questo tipo, che possono sicuramente essere chiamate speciali e per le quali le normative attuali non prevedono una procedura di collaudo ottimizzata.

L'approccio alla progettazione avanzata è sinteticamente riassunto in figura: l'interazione fra pezzo e utensile genera le forze di taglio che dipendono dai parametri di lavorazione e determinano, unitamente al comportamento della macchina utensile e soprattutto del mandrino, la qualità della superficie lavorata.

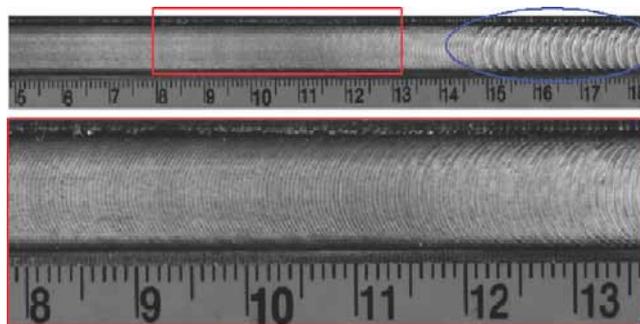
Nelle diverse presentazioni si è visto come valutare le forze di taglio nel caso di macchina ri-

gida, come determinare, utilizzando un database di parti e accessori, il comportamento dinamico di una macchina utensile in base all'architettura che si vuole realizzare e l'importanza di una corretta progettazione dinamica del mandrino. La struttura della macchina utensile nel suo complesso può essere rappresentata, a livello di simulazione (progettuale o di verifica dell'esistente), principalmente in due modi: determinandone sperimentalmente il comportamento mediante una procedura chiamata analisi modale sperimentale o prevedendo il suo comportamento utilizzando software specifici o appositamente sviluppati.

Prevedere le forze di taglio

Come messo in luce dall'ingegner Pittalà del Politecnico di Milano, un aspetto fondamentale del generico modello di simulazione del comportamento statico e dinamico di una macchina utensile è la previsione quantitativa delle forze di taglio in funzione delle caratteristiche del materiale lavorato, dei parametri di lavorazione e della geometria dell'utensile. Esistono essenzialmente due tipologie di modelli previsionali delle forze: modelli meccanici e modelli agli elementi finiti (Fem). Entrambe le tipologie porteranno a stime delle forze di taglio utili per la modellazione meccanica della macchina utensile, in particolare previsione dell'instabilità dinamica della stessa, ma anche per il monitoraggio delle condizioni di lavorazione. Nel primo caso, l'andamento nelle forze durante la lavorazione, unitamente alla risposta dinamica della macchina alle sollecitazioni, è di

3. Condizione di taglio instabile: chatter rigenerativo.



Superficie ottenuta in condizioni di taglio instabile: CHATTER RIGENERATIVO

Un semplice esempio:
Pannello rettangolare orizzontale appoggiato ai vertici 500x1000 mm

Una forza di 1000 N applicata al centro del pannello

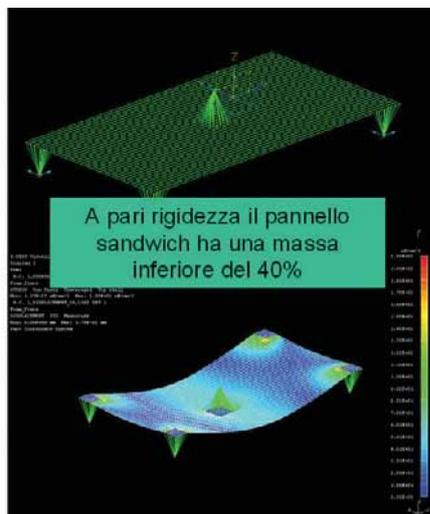
Due soluzioni a pari rigidezza (cedimento al centro 18 µm)

1. Acciaio

- Spessore 13,8mm
- **Massa 53 Kg**

2. Pannello sandwich pelli in acciaio 3,5 mm riempimento in schiuma di alluminio 40 mm

- Spessore totale 47 mm
- **Massa 31 Kg**



fondamentale importanza per la determinazione di parametri di lavorazione chatter-free; per quanto riguarda il TCM (Tool Condition Monitoring) invece, risultano molto interessanti i risultati della simulazione Fem delle forze di taglio in quanto è in grado di prendere in considerazione l'usura utensile.

I vantaggi della simulazione

La presentazione dell'ingegner Fortunato dell'Università di Bologna verteva su un software per la simulazione in campo dinamico di una macchina utensile che si basa, principalmente, su modelli a parametri concentrati delle diverse parti della macchina utensile senza però escludere la possibilità di utilizzare altre metodologie di simulazione come la Finite Element Analysis (Fea) oppure modelli CAD. Un modello a parametri concentrati di una macchina utensile prende in considerazione la cedevolezza di elementi chiave della struttura della macchina come: trasmissioni, guide e, in generale, quegli elementi in cui si ha concentrazione di sforzi e/o deformazioni.

L'utilizzo del software Sistema di Simulazione a Parametri Concentrati, sviluppato su piattaforma Simulink®, prevede un database di parti e componenti di macchina (figura) che è possibile combinare per ottenere, in fase di progettazione, un prototipo virtuale della macchina utensile che si desidera realizzare e del quale è possibile valutare le prestazioni dinamiche mediante il Sistema di Simulazione Integrato.

Entrando nel dettaglio della simulazione, l'ingegner Albertelli del Politecnico di Milano ha messo in evidenza che strumenti di simulazione in grado di prendere in considerazione tutti gli aspetti chiave della simulazione di un mandrino (struttura meccanica, cuscinetti, aspetti termici, cedevolezza utensile e pezzo, dinamica macchina e processo di taglio) non sono ancora disponibili. Come ampiamente dimostrato nel corso della presentazione, la risposta dinamica delle macchine utensili è in gran parte dovuta a quella del solo mandrino. Costruito un modello Fem del mandrino, in particolare con elementi beam, è possibile eseguire uno studio di instabilità della lavorazione senza considerare il comportamento dinamico della macchina nel suo complesso. Le prestazioni dinamiche di un mandrino, infatti, dipendono dalle soluzioni costruttive adottate per i suoi diversi elementi costitutivi: scelta dei cuscinetti, precarico degli stessi, geometria della carcassa e cedevolezza dell'attacco utensile e questi elementi sono essenziali per la valutazione di tali prestazioni. In figura 3 è riportato il risultato di una prova sperimentale in condizioni di instabilità: prevedere, quindi evitare, le condizioni di chatter rigenerativo e individuare parametri di taglio chatter-free permette di aumentare la capacità di asportazione, la qualità della superficie lavorata, di ridurre l'usura di utensile, inserti e mandrino stesso, vibrazioni e potenza assorbita.

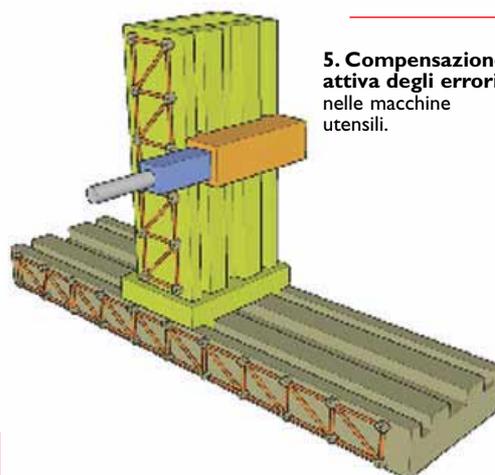
4. Esempio di applicazione di schiume metalliche.

Le schiume metalliche

Per migliorare le prestazioni delle macchine utensili è possibile pensare di utilizzare materiali avanzati come le schiume metalliche. Tali materiali hanno un insieme di caratteristiche, come l'elevato smorzamento e il peso ridotto, che le rendono un ottimo candidato per la sostituzione dei materiali comunemente impiegati per la realizzazione della struttura della macchina utensile. L'ingegner Mussi del Laboratorio Musp, ha esposto un'interessante introduzione sulle schiume metalliche, evidenziandone i metodi di produzione, le caratteristiche e le motivazioni per un impiego nel campo delle macchine utensili (figura 4).

Per schiuma metallica si intende una dispersione uniforme di una fase gassosa (bolle) all'interno di un metallo, ottenuta per solidificazione di una schiuma liquida. Le schiume metalliche possono essere prodotte con una notevole quantità di procedimenti, quelli più adatti a un impiego industriale e dei quali si cita unicamente il nome sono i seguenti: iniezione di gas nel fuso, decomposizione di schiumogeni nel fuso e decomposizione di schiumogeni in semisolidi.

Subito si è passati a giustificare l'utilizzo di tali costosi materiali per la realizzazione di parti di macchine utensili e l'aspetto più interessante, nell'ottica della giornata di studio, è risultato l'elevatissimo smorzamento delle vibrazioni che migliora notevolmente il comporta-



5. Compensazione attiva degli errori nelle macchine utensili.

mento dinamico della macchina, nonché l'elevata rigidità e la ridotta densità.

Le deformazioni della struttura

Le condizioni di monitoraggio della macchina utensile non si limitano al solo TCM ma, come esposto dall'ingegner Bosetti dell'Università di Trento, è possibile implementare una strumentazione per la compensazione on-line delle deformazioni dell'intera struttura, che permette di calcolarne la deformata a partire da misure di sensori di deformazione a fibra ottica (in rosso in figura 5). Com'è noto, gli errori geometrici di una struttura di questo tipo, soprattutto se di grandi dimensioni, possono essere dovuti a un numero considerevole di fattori, come il peso proprio della struttura e i gradienti di temperatura dovuti a sorgenti esterne (ventilazione, gradiente giornaliero, ecc.) e interne (guide, motori, ecc.). In questo frangente, Bosetti ha presentato un sistema per la compensazione attiva di tali errori. Utilizzando la rete di sensori in figura 5, è possibile calcolare la deformata della rete quindi risalire alle deformazioni della struttura della macchina utensi-

le e, tramite un'interfaccia con CNC e opportune strategie di compensazione degli errori, è possibile modificare le coordinate dell'utensile in modo tale da compensare i possibili errori geometrici che altrimenti si ripercuoterebbero sul pezzo lavorato. I risultati sperimentali del prototipo realizzato su una struttura reticolare sono molto promettenti e facilmente trasferibili al caso industriale.

Il collaudo di macchine speciali

L'ingegner Lefemine del Laboratorio Musp ha esposto un argomento trasversale rispetto a quelli finora trattati: si tratta di un protocollo abbastanza generalizzato per il collaudo delle macchine utensili speciali. L'argomento risulta di grande attualità soprattutto nel mercato moderno, in cui le macchine utensili tendono a essere molto diversificate come architettura e dimensioni.

La struttura normativa attuale si basa su un documento redatto dal prof. Georg Schlesinger nel 1927: la norma è sicuramente valida, ben articolata, aperta a miglioramenti e completa, se ci si riferisce a macchine di tipologia tradiziona-

le. Oggi ci si trova sempre più spesso di fronte a macchine che sono tradizionali per quanto riguarda l'architettura di base, ma dotate di strutture integrate e con funzioni non tipiche della macchina tradizionale come, ad esempio, torni paralleli dotati di teste a fresare o teste a rettificare, torni verticali dotati di mandrini di fresatura o tavole di posizionamento che possono funzionare come tavole porta pezzi per tornitura.

In conclusione, una macchina utensile può quindi essere vista come un sistema costituito da una struttura di base, da assi lineari porta pezzo e/o porta utensili, da assi rotativi porta pezzo e/o porta utensili e da accessori. Preparati una serie di protocolli di collaudo per ciascuno degli elementi sopra elencati, e indicati su tali documenti le norme di riferimento per l'esecuzione delle verifiche, è possibile svincolarsi dalle configurazioni delle macchine dando una possibilità di definire un quaderno di collaudo completo e soddisfacente. In tale ottica il gruppo di lavoro che si occupa di questo argomento, intende proporre il lavoro svolto per la redazione di una normativa in materia.

readerservice.it n. 57

PER LA VOSTRA PUBBLICITÀ SU QUESTE PAGINE CONTATTATE I NOSTRI AGENTI REGIONALI



▶ **TRI-VENETO** IDELFONSO ELBURGO
VIA PIRANO, 15
35135 PADOVA
TEL. 049 8642988 - FAX 049 8642989
e-mail: ielburg@tin.it

▶ **PIEMONTE-LIGURIA** ROSARIO ROMEO - PUBLIKAPPA
VIA SAGRA S. MICHELE, 37
10139 TORINO
TEL./FAX 011 723406
e-mail: publika@tin.it

▶ **MARCHE-UMBRIA-LAZIO-ABRUZZO-CAMPANIA-MOLISE-BASILICATA-PUGLIA-CALABRIA-SICILIA-SARDEGNA**
ANDREA CESARANO VIA GORKI, 69
20092 CINISELLO B. (MI)
TEL. 02 66034262 - CELL 335 6473911 - FAX 02 700431547
e-mail: andrea.cesarano@libero.it