

MUSP

Macchine Utensili e Sistemi di Produzione

Checkup delle condizioni di lavorazione in fresatura e tornitura

Rilevazione delle condizioni di chatter

In collaborazione con ITIA-CNR

Riferimenti

aspetti tecnici:	Massimo Goletti	massimo.goletti@musp.it
aspetti amministrativi:	Sabrina Anselmi	sabrina.anselmi@musp.it
aspetti commerciali:	Mario Salmon	mario.salmon@musp.it
	Lisa Concari	lisa.concari@musp.it

Le basi di questo servizio

Il MUSP è un centro di ricerca nato a fine 2005, specializzato nello studio delle macchine utensili per asportazione di truciolo e dei sistemi di produzione. Le sue finalità sono la ricerca e il supporto alle aziende del settore per sostenere la competitività.

L'esperienza ottenuta nelle numerose ricerche effettuate permette al MUSP di offrire non solo capacità di studio ed analisi, ma anche dei servizi *a catalogo* caratterizzati da costi, tempi e modalità di esecuzione predefinite.

In quest'ottica, tale nota illustra le motivazioni, il metodo ed i vantaggi ottenibili con l'intervento denominato "Checkup delle condizioni di lavorazione in fresatura e tornitura" rivolto alle aziende meccaniche.

Perché il checkup

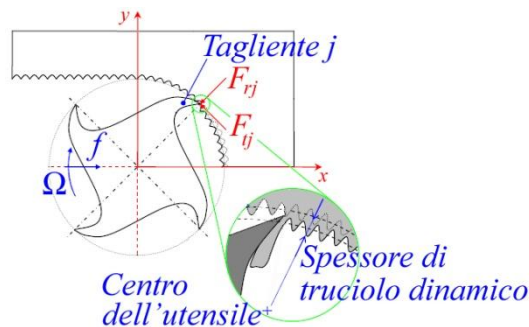
Il checkup delle condizioni di lavorazione in fresatura e tornitura è un servizio rivolto al miglioramento della macchina utensile, degli utensili, dei parametri di lavorazione e del processo di asportazione di truciolo in generale.

Da oltre 20 anni le condizioni di fresatura vengono definite durante la definizione dei part-program (impiegando software CAM) in modo pressoché automatico.

L'automatismo di queste scelte non sempre garantisce il massimo sfruttamento del sistema di lavorazione (utensile, mandrino, macchina, staffaggi, pezzo) e spesso comporta condizioni di lavoro non ottimali o non realizzabili a causa del fenomeno del chatter.

Cenni alla teoria del chatter

Il chatter rigenerativo è un'oscillazione relativa auto-eccitata che incorre tra utensile e pezzo in lavorazione e che si manifesta a causa dell'interazione tra il comportamento dinamico della macchina utensile (i.e. la sua cedevolezza dinamica o FRF) ed il processo di taglio stesso (l'interazione fra pezzo in lavorazione e utensile che genera le forze di taglio). La variazione di tali forze durante la lavorazione comporta una vibrazione della struttura del sistema che, superate determinate condizione limite di lavorazione, aumenta di ampiezza fino a raggiungere un valore di regime con conseguenze disastrose sulla finitura della superficie lavorata e sulla sua precisione dimensionale. Facendo riferimento ad un'operazione di fresatura si ha che, fissati tutti gli altri parametri di processo, il chatter si instaura quando la profondità di taglio assiale supera un determinato valore critico. Per operazioni di tornitura il limite è espresso in funzione della profondità di passata.



Il chatter non dipende direttamente dalle frequenze di risonanza della macchina utensile ma è un meccanismo legato alla forma reale della superficie lavorata. Se si considera la superficie reale generata dal tagliente *j*, il tagliente successivo vedrà uno spessore di truciolo variabile nel tempo quindi anche le forze saranno variabili nel tempo. Se la ciclicità dei due fenomeni (andamento della superficie reale - oscillazione delle forze) è la stessa, la stabilità della lavorazione è garantita mentre se le due oscillazioni sono in contro fase, si instaura un fenomeno rigenerativo che porta il sistema all'instabilità.

In questi casi l'operatore interviene, limitando la velocità di avanzamento o di rotazione del mandrino oppure, riducendo le profondità di taglio assiali e radiali. Questi interventi sono basati sull'esperienza senza l'impiego di un criterio analitico e molto spesso portano ad allontanarsi dalle condizioni di lavorazione prefissate e/o ottimali.

Da quanto appena esposto si evince come siano importanti, oltre alla tipologia di

Il diagramma a lobi

materiale impiegato, all'utensile ed alla strategia di lavorazione, anche la struttura della macchina utensile nel suo complesso: dal mandrino al sistema di fissaggio del pezzo nonché alla geometria del pezzo stesso.

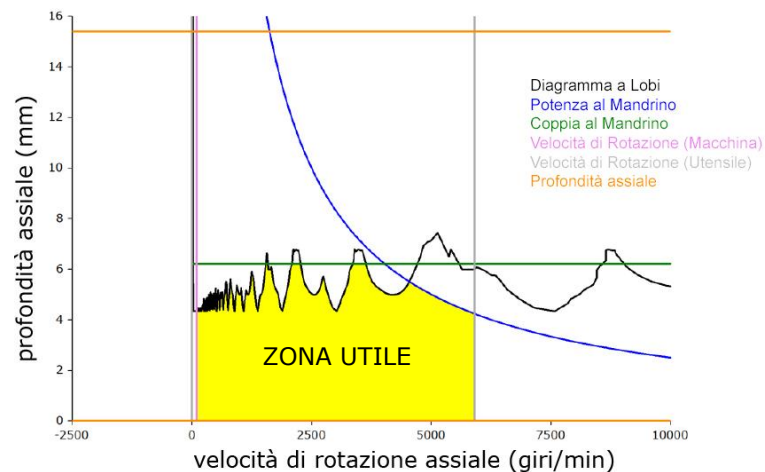
Nella pratica industriale non basta evitare il fenomeno ma si devono cercare le condizioni di lavoro tali da massimizzare l'asportazione di truciolo o diminuire i tempi di ciclo oppure i costi, a seconda dell'obiettivo che si vuole perseguire. Accade spesso, infatti, che per evitare il chatter si operi in condizioni lontane da quelle ideali perdendo in produttività.

Ad oggi è possibile prevedere l'insorgenza di fenomeni di chatter grazie ad uno strumento chiamato diagramma a lobi ottenibile attraverso opportune misure sperimentali e che evidenzia il comportamento del sistema in funzione della velocità di rotazione del mandrino e della profondità di passata.

Per la sua realizzazione richiede:

- *Le cedevolezza dinamiche* misurate all'utensile: dipendono dalla struttura della macchina, da quella del mandrino e dalle caratteristiche dell'utensile (geometria, materiale e attacco mandrino). Numericamente sono rappresentate dalle FRF (*Funzioni di Risposta in Frequenza*) misurate all'utensile ed eventualmente quelle misurate al pezzo in lavorazione.
- *Le caratteristiche dell'utensile*: gli angoli di lavoro dell'utensile, il verso di rotazione del mandrino ed il numero di taglienti/inserti dell'utensile.
- *I coefficienti di strappamento*: rappresentano il legame tra l'area del truciolo e le forze di taglio e dipendono dal materiale in lavorazione, dalle caratteristiche dell'utensile e dallo stato di usura dei taglienti.

Nel diagramma si distinguono: una regione di stabilità (al di sotto della curva in nero) all'interno della quale la lavorazione è esente da eccessive vibrazioni ed una regione di instabilità (al di sopra della curva in nero) in cui le condizioni di lavoro sono soggette a vibrazioni autoeccitate (chatter).



Per semplificare la scelta ottimale dei parametri di taglio è possibile limitare ulteriormente la zona di lavoro facendo ricorso a parametri aggiuntivi dovuti: *alle caratteristiche progettuali del centro di lavoro (specifiche del costruttore), ai parametri tecnologici, alle caratteristiche dell'utensile.*

Risultati del checkup

Il checkup di una lavorazione permette, per una determinata operazione (utensile, materiale e macchina utensile), di:

- *definire le condizioni limite che daranno luogo al chatter;*
- *individuare le condizioni ottimali di lavorazione.*

Con *condizioni ottimali* si intendono diversi aspetti; nel caso più generale:

- selezione della macchina utensile (il diagramma a lobi può essere impiegato come indicatore per il confronto di macchine utensili);
- selezione dell'utensile;
- selezione degli attrezzaggi;
- ottimizzazione delle strategie di asportazione (definizione ciclo);
- ottimizzazione dei parametri di taglio al fine di massimizzare una funzione obiettivo di interesse (asportazione, tempo ciclo, costi, ecc.).

Come si realizza il checkup

Il checkup prevede una serie di misure sperimentali seguite da un'elaborazione software che restituisce un feedback grafico.

Le misure da eseguire sono:

- misura delle FRF all'utensile;
- eventuali misure delle FRF al pezzo in lavorazione;
- misura dei coefficienti di strappamento.

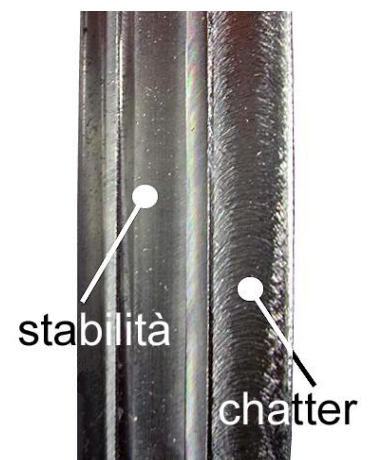
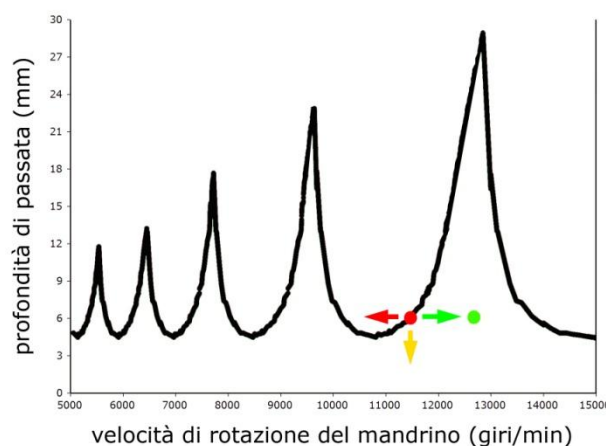
Verranno quindi eseguite una serie di prove di lavorazione di verifica del diagramma a lobi, che permettono di migliorarne la precisione.

Tempi dell'intervento

I tempi dell'intervento sono stimabili in circa 8 ore.

Esempio

Di seguito viene esposto un caso di ottimizzazione relativo ad una lavorazione di fresatura eseguita su di un blocco di alluminio; una lega 7003 da deformazione plastica, utilizzata nel settore automobilistico. Si è scelto di utilizzare una fresa integrale Ø10mm a 2 taglienti in acciaio HSS per un'operazione di slot milling (immersione radiale piena) con avanzamento al dente di 0,1 mm a 11500 giri/min e profondità di passata assiale di 5 mm.



La lavorazione si trova a cavallo del limite di stabilità, ciò comporta un'eccessiva usura dell'utensile (rottura prematura) e un'eccessiva rumorosità.

In tali condizioni la pratica consiglia di:

- ridurre la velocità di rotazione del mandrino (in rosso);
- ridurre la profondità di passata (in arancione).

Il diagramma a lobi mostra come il problema possa essere risolto aumentando la velocità di rotazione del mandrino (12800 giri/min), mantenendo inalterata la profondità di passata; in questo modo oltre all'eliminazione del chatter si è ottenuto un risparmio di tempo di circa l'11%.

Vantaggi ottenibili

I vantaggi ottenibili dipendono dall'oggetto dell'analisi; in particolare è possibile confrontare da un punto di vista numerico diverse macchine utensili, utensili (quindi indirettamente anche strategie di asportazione), ottimizzare i parametri di taglio in base ad una funzione obiettivo prefissata. Quest'ultimo caso, ad esempio, può essere quello della minimizzazione dei tempi di lavorazione per particolari del settore aeronautico oppure la massimizzazione dell'MRR (Material Removal Rate).

Output del checkup

Al termine dell'intervento verrà consegnato un rapporto contenente:

1. richiami alla teoria;
2. funzioni di risposta in frequenza misurate;
3. considerazioni sui modi di vibrare che limitano la capacità di asportazione (ed indicazione dei possibili elementi maggiormente coinvolti del sistema "macchina / pezzo in lavorazione");
4. diagramma a lobi per il/i materiali e utensili di interesse;
5. analisi della/delle lavorazioni che si intendono ottimizzare e parametri di taglio ottimizzati.