

Velocità di taglio vs velocità di avanzamento

 xometry.pro/it/articoli/velocita-taglio-vs-velocita-avanzamento



Indice

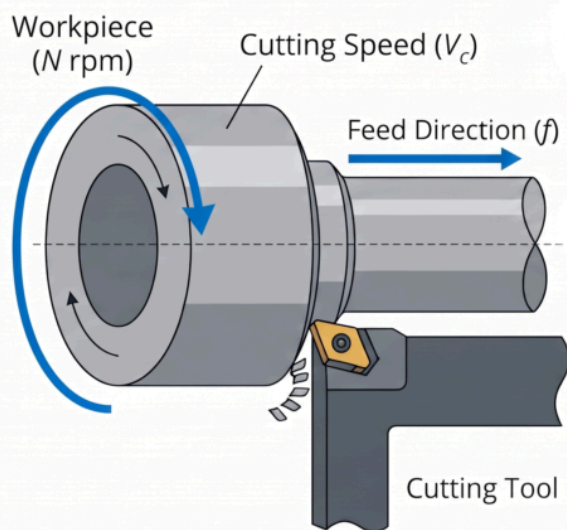
- [Quali sono la velocità di taglio e quella di avanzamento?](#)
- [Effetti della velocità di taglio e di avanzamento](#)
- [Fattori che influenzano la velocità di taglio](#)
- [Fattori che influenzano la velocità di avanzamento](#)
- [Come interagiscono velocità di taglio e di avanzamento](#)
- [Ottimizzazione delle lavorazioni](#)
- [Linee guida DfM per i parametri di velocità e avanzamento](#)
- [Regolazione della velocità e dell'avanzamento](#)

La soluzione non è usare una punta migliore. Si tratta di capire come la velocità di taglio e quella di avanzamento interagiscono tra loro e perché ottimizzare l'una senza controllare l'altra porti proprio a questo tipo di problema.

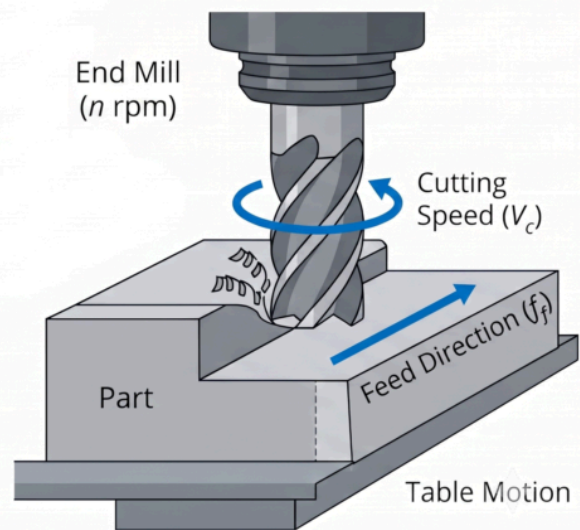
Quali sono la velocità di taglio e quella di avanzamento?

La velocità di taglio è la velocità relativa tra il tagliente e la superficie del pezzo nel punto di taglio, misurata in metri al minuto (m/min) o piedi al minuto (SFM). Nella [tornitura](#), è la velocità periferica del pezzo rotante. Nella fresatura, è la velocità periferica dell'utensile, determinata dai giri al minuto del mandrino e dal raggio della fresa.

TURNING OPERATION (LATHE)



MILLING OPERATION (MILL)



La velocità di avanzamento è la distanza percorsa dall'utensile rispetto al pezzo per unità di tempo, misurata in millimetri al minuto (mm/min) o pollici al minuto (IPM). Viene anche indicata come avanzamento per giro (mm/giro) nella tornitura e nella foratura, o come avanzamento per dente (mm/dente, detto anche carico del truciolo) nella [fresatura](#).

Parameter	Metric Formula	Imperial Formula
Cutting Speed	$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1,000}$	$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{12}$
Spindle Speed	$n = \frac{V_c \times 1,000}{\pi \times D}$	$n = \frac{V_c \times 12}{\pi \times D}$
Feed Rate	$V_f = f_z \times Z \times n$	$V_f = f_z \times Z \times n$
Feed Per Tooth	$f_z = \frac{V_f}{n \times Z}$	

Variable Key

V_c = cutting speed (m/min or SFM)
 D = tool or part diameter (mm or inch)
 n = spindle speed (RPM)
 V_f = feed rate (mm/min or IPM)
 f_z = feed per tooth (mm/tooth or IPT)
 Z = number of flutes

Unit Conversions

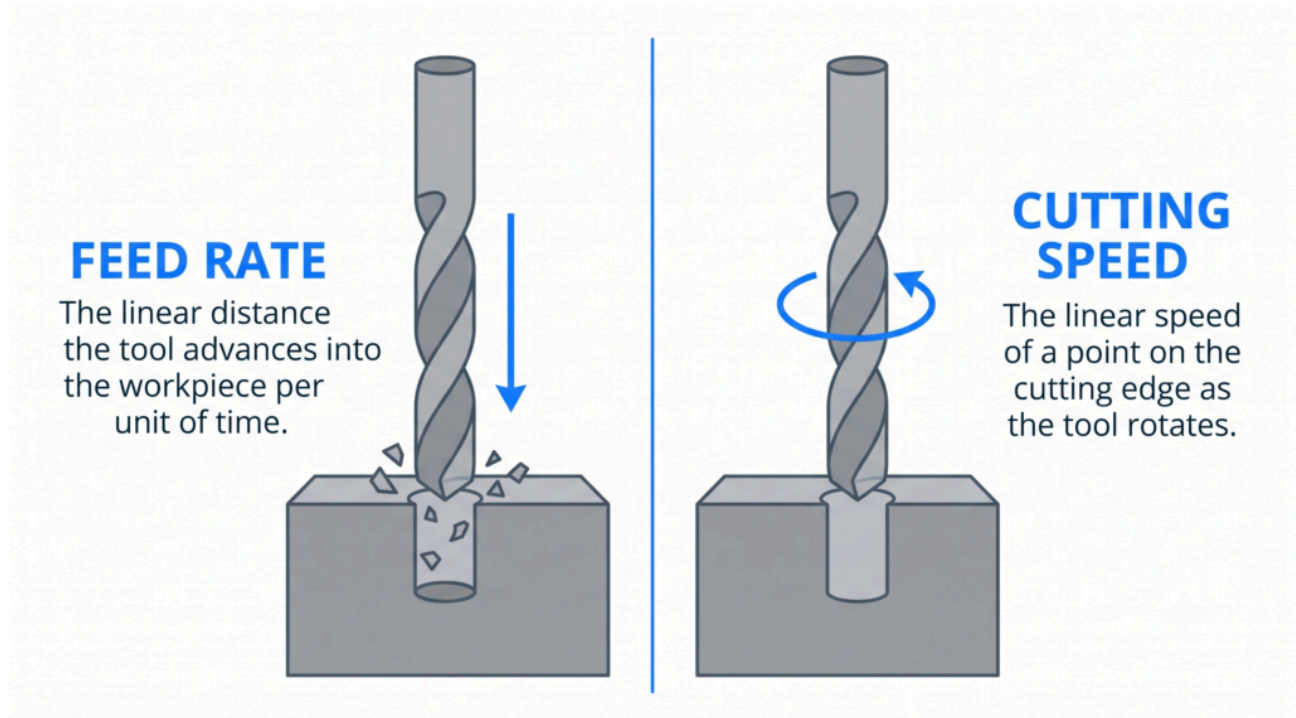
m/min = SFM $\times$ 0.3048
 mm/min = IPM $\times$ 25.4
 mm/tooth = IPT $\times$ 25.4

Effetti della velocità di taglio e di avanzamento

Variare la velocità di taglio e l'avanzamento influisce sulla rugosità superficiale, sulla durata dell'utensile, sulla temperatura di taglio, sulla velocità di asportazione del materiale, sul consumo energetico, sulla formazione dei trucioli, sulle vibrazioni, sulla precisione

dimensionale e sulla forza di taglio. Trovare i valori ottimali significa bilanciare produttività, costi di lavorazione e qualità del componente.

Avanzamenti inferiori migliorano la finitura superficiale e mantengono [tolleranze](#) più strette riducendo i segni di avanzamento e la forza di taglio. Velocità di taglio inferiori riducono la generazione di calore e prolungano la durata dell'utensile, anche se velocità impostate troppo al di sotto dell'intervallo consigliato possono causare la formazione del tagliente di riporto ([BUE](#)), in cui il materiale del pezzo aderisce al tagliente e deteriora la superficie.



Ridurre la velocità di taglio e l'avanzamento diminuisce le vibrazioni e l'usura dell'utensile, a scapito dell'efficienza produttiva. Aumentarle, invece, incrementa la velocità di asportazione del materiale, ma comporta il rischio di danni causati dall'alta temperatura, forze eccessive e rugosità superficiale. In genere, gli operatori macchina aumentano la velocità entro i limiti consigliati fino a raggiungere la soglia di usura dell'utensile o i limiti di qualità.

Confronto tra velocità di taglio e di avanzamento

Caratteristica	Velocità di taglio	Velocità di avanzamento
Che cos'è	Velocità relativa tra utensile e pezzo in lavorazione	Velocità con cui l'utensile avanza lungo il pezzo in lavorazione
Fattore determinante primario	Durezza del materiale del pezzo e dell'utensile	Resistenza dell'utensile, finitura superficiale desiderata e rigidità della macchina
Effetti sulla produttività	Tempi ciclo più rapidi	Maggiore velocità di rimozione del materiale
Influisce principalmente	Durata dell'utensile e generazione di calore	Velocità di asportazione del materiale e finitura superficiale
Effetto sulla finitura superficiale	Velocità più elevate riducono il BUE e migliorano la finitura	Velocità di avanzamento inferiori riducono i segni di avanzamento e migliorano la finitura
Come viene misurato	m/min o SFM	mm/min, IPM o avanzamento per dente/giro
Valori eccessivamente elevati causano	Usura degli utensili e danni termici	Elevata forza di taglio e rottura dell'utensile
Valori eccessivamente bassi causano	Scarsa efficienza, incrudimento del pezzo dovuto allo sfregamento	Smussatura degli utensili, formazione di BUE, incrudimento

Parametri estremi e loro caratteristiche distintive

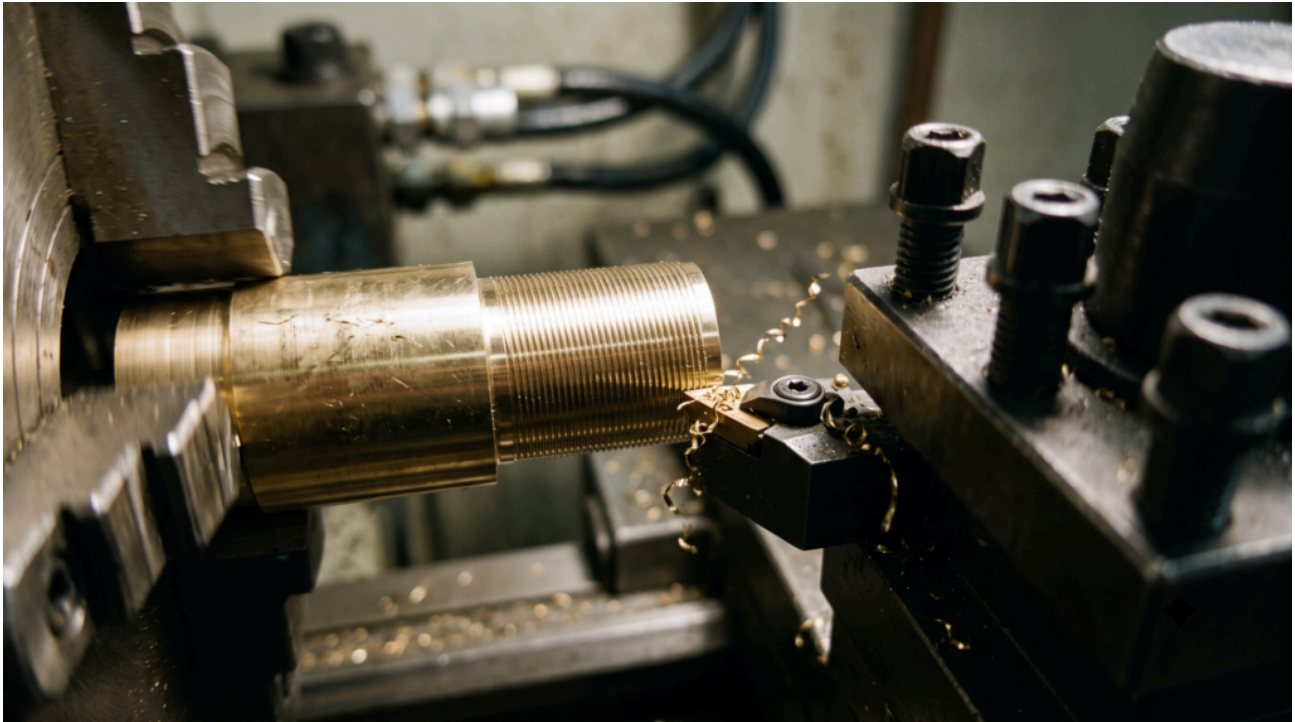
Sintomo sulla parte o sull'utensile	Probabile causa	Regolazione correttiva
Usura sui fianchi lucida e brunita	Velocità di taglio troppo bassa, sfregamento dell'utensile	Aumentare la velocità di taglio fino al valore consigliato
Trucioli blu o scoloriti	Velocità di taglio troppo elevata, calore eccessivo	Ridurre la velocità di taglio o aumentare il flusso del liquido di raffreddamento
Segni di avanzamento profondi e visibili	Velocità di avanzamento troppo elevata per il risultato finale desiderato	Ridurre la velocità di avanzamento nella passata di finitura
Utensile rotto sul punto di ingresso	Velocità di avanzamento troppo elevata per l'evacuazione dei trucioli	Ridurre la velocità di avanzamento, verificare il ciclo di foratura a intermittenza (peck drilling)
Tagliente di riporto sulla superficie di taglio	Velocità o avanzamento troppo bassi per il materiale	Aumentare entrambi verso la gamma del produttore

Fattori che influenzano la velocità di taglio

Quattro fattori principali influenzano la velocità di taglio: il materiale dell'utensile, la durezza del pezzo, la durata prevista dell'utensile e la profondità di taglio.

Materiale per utensili da taglio

[Il materiale dell'utensile da taglio](#) influenza fortemente la velocità di taglio consentita, poiché materiali diversi hanno caratteristiche diverse di durezza, durezza a caldo, resistenza all'usura e stabilità termica. Un materiale che mantiene la sua durezza ad alte temperature può tagliare a velocità maggiori senza usura rapida o rottura.



Materiale per utensili	Effetto sulla velocità di taglio	Applicazione
Acciaio ad alta velocità (HSS)	Velocità limitate a basse velocità a causa della minore durezza a caldo (fino a 30 m/min)	Lavorazioni meccaniche manuali a basso volume, foratura, filettatura
Carburo	La maggiore durezza a caldo e la resistenza all'usura consentono velocità più elevate (da 60 a 300 m/min)	Fresatura, tornitura e foratura per uso generale
Diamante policristallino (PCD)	Elevata durezza e resistenza all'usura, velocità estremamente elevate (da 200 a 1.200 m/min)	Materiali non ferrosi: alluminio, grafite, materiali compositi
Nitrato di boro cubico (CBN)	Eccezionale durezza a caldo e stabilità termica (da 100 a 400 m/min)	Materiali ferrosi induriti e leghe indurite
Ceramica	La resistenza alle alte temperature fino a 1.200 °C consente velocità molto elevate (da 300 a 1.200 m/min)	Finitura ad alta velocità delle superleghe

Durezza del pezzo in lavorazione

Quando lo stesso materiale dell'utensile taglia pezzi di diversa durezza, la velocità di taglio deve essere regolata per evitare la rottura dell'utensile. I pezzi più duri richiedono velocità

inferiori, mentre la velocità aumenta per i materiali più teneri. L'acciaio dolce si lavora agevolmente ad alte velocità di taglio, mentre l'acciaio temprato impone un brusco calo di velocità, soprattutto con utensili standard in metallo duro.

Il passaggio ad un utensile più resistente all'usura, come la ceramica o il CBN, consente di recuperare parte della velocità persa e di ripristinare la produttività. La velocità ottimale si ottiene confrontando l'effetto sulla durata dell'utensile, sulla produttività, sulla finitura superficiale e sulla fattibilità economica.

Durata prevista dell'utensile

La velocità di taglio e la durata dell'utensile sono inversamente proporzionali, come espresso dall'equazione di Taylor relativa alla durata dell'utensile:

$$V \times T^n = C$$

Sim-bolo	Variabile	Descrizione
V	Velocità di taglio	Velocità di funzionamento selezionata
T	Durata dell'utensile	Tempo di rottura dell'utensile alla velocità V
n	Esponente della durata dell'utensile	Dipende dalla combinazione utensile-pezzo
C	Costante	Fisso per una data combinazione utensile-pezzo

Anche incrementi moderati della velocità di taglio riducono significativamente la durata dell'utensile a causa del calore eccessivo e dell'usura. Ad esempio, in una combinazione utensile in carburo/acciaio legato, l'aumento della velocità da 100 a 130 m/min (un incremento del 30%) ha ridotto la durata dell'utensile da 150 minuti a soli 52 minuti.

Gli operatori macchina devono trovare un equilibrio tra questi compromessi: velocità inferiori privilegiano una maggiore durata degli utensili per la sgrossatura o per utensili costosi, mentre velocità superiori aumentano la produttività nella produzione di massa, a condizione che la durata degli utensili rimanga economicamente sostenibile.

Profondità del taglio

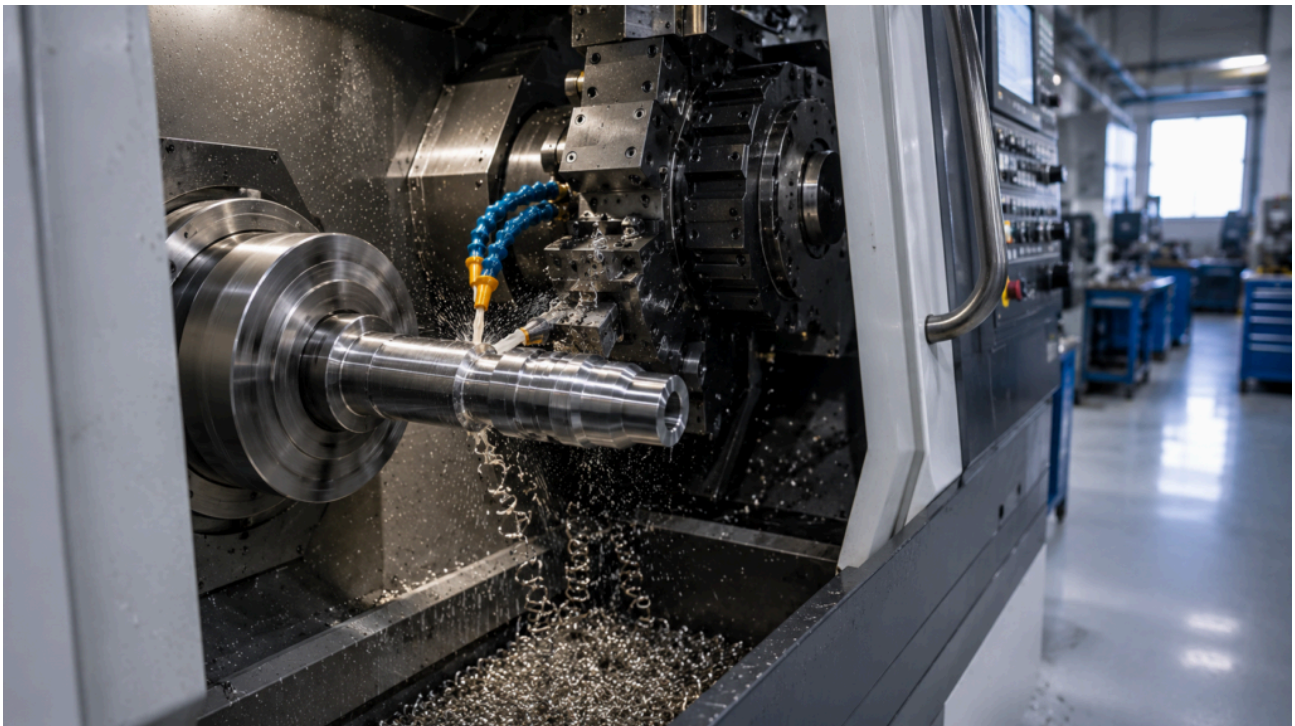
La profondità di taglio è approssimativamente proporzionale al carico di taglio. Una maggiore profondità di taglio genera più calore e un'usura più rapida dell'utensile, quindi in genere si associa ad una velocità di taglio inferiore. Il compromesso favorisce comunque la produttività, poiché sono necessari meno passaggi per raggiungere le dimensioni finali.

La profondità di taglio e la velocità di avanzamento determinano insieme il carico di taglio totale, quindi una grande profondità di taglio combinata con un'elevata velocità di avanzamento richiede una significativa riduzione della velocità di taglio per evitare il surriscaldamento e la rottura dell'utensile.

Fattori che influenzano la velocità di avanzamento

Anche la velocità di avanzamento è altamente variabile, influenzata da una serie di fattori. Molti di questi vengono presi in considerazione dai produttori di utensili quando definiscono le velocità di avanzamento raccomandate per i loro utensili. Alcuni di questi sono:

1. Materiale per utensili e parti da lavorare
2. Geometria dell'utensile
3. Requisiti di finitura superficiale
4. Larghezza di taglio



Materiale per utensili e pezzi da lavorare

I pezzi più duri generano forze di taglio maggiori e richiedono velocità di avanzamento inferiori per proteggere l'utensile. L'acciaio temprato si lavora a basse velocità di avanzamento, l'alluminio tollera velocità di avanzamento elevate perché è morbido, mentre i materiali duttili si collocano in un intervallo intermedio per evitare la formazione del tagliente di riporto.

Geometria dell'utensile

L'angolo di spoglia, il raggio di punta, la resistenza del tagliente, il design della scanalatura, l'angolo di elica e l'angolo di scarico influiscono tutti sulle forze di taglio e sull'evacuazione dei trucioli, e quindi sulla velocità di avanzamento che un determinato utensile può sostenere.

Requisiti di finitura superficiale

Una finitura più [liscia](#) richiede una velocità di avanzamento inferiore. Velocità di avanzamento più elevate aumentano la [rugosità superficiale](#) e lasciano segni di passate più profondi.

Larghezza di taglio

La larghezza di taglio, detta anche profondità di taglio radiale o passo laterale nella fresatura, definisce quanta parte dell'utensile entra in contatto con il pezzo. Un maggiore impegno radiale aumenta la forza di taglio, il calore e il carico sul mandrino, quindi una maggiore larghezza di taglio si abbina a una velocità di avanzamento inferiore per mantenere la stabilità della macchina.

Come interagiscono velocità di taglio e di avanzamento

La velocità di taglio e di avanzamento dipendono da fattori simili e non possono essere ottimizzate indipendentemente, poiché insieme determinano la forza di taglio, la generazione di calore, la stabilità della macchina, la formazione del truciolo e l'usura dell'utensile. Anche quando ciascun parametro appare accettabile singolarmente, una combinazione aggressiva può sovraccaricare l'utensile o la macchina.

Combinazioni di velocità e avanzamento

Combinazione	Ideale per	Compromesso
Alta velocità, avanzamento elevato	Produzione di massa, tempi ciclo rapidi	Forza e calore elevati, richiede utensili resistenti, lubrificazione e un fissaggio rigido del pezzo
Alta velocità, avanzamento basso	Passaggi di finitura, superficie liscia, elevata precisione	Un basso avanzamento rischia di provocare sfregamento dell'utensile e smussatura del tagliente
Bassa velocità, avanzamento elevato	Lavorazione di materiali resistenti, generazione di calore limitata	Finitura superficiale scadente, forza di taglio maggiore
Bassa velocità, avanzamento basso	Materiali resistenti all'usura o delicati, configurazioni soggette a vibrazioni	Bassa velocità di rimozione del materiale, tempo ciclo più lungo

Ottimizzazione delle lavorazioni

Massimizzare velocità e avanzamento riduce i tempi ciclo, ma comporta il rischio di un aumento dell'usura degli utensili, del calore e dei costi. Gli operatori macchina bilanciano questi compromessi utilizzando i seguenti metodi:

Metodi di ottimizzazione

Metodo	Cosa fornisce	Ideale per
Dati di taglio del produttore	Valori di riferimento per velocità, avanzamento, carico di trucioli, profondità di taglio e refrigerante in base all'utensile e al materiale	Impostazione iniziale dei parametri prima di qualsiasi taglio
Raccomandazioni per software CAM	Suggerimenti per avanzamento, velocità, percorso utensile e profondità di taglio in base al materiale e alla geometria, oltre a simulazione di collisioni e tempo ciclo	Programmazione di componenti complessi e lavorazioni con più utensili
Tagli di prova	Validazione dei dati del produttore e del software CAM rispetto alle reali condizioni di bloccaggio del pezzo, rigidità e refrigerante	Confermare il carico di trucioli, le vibrazioni e la finitura prima della produzione
Monitoraggio dell'usura degli utensili	Feedback diretto sull'usura dei fianchi, sull'usura da cratere, sulle scheggiature e sulle cricche termiche	Perfezionamento continuo durante i cicli di produzione

I dati di taglio del produttore provengono da [grafici standardizzati](#) in base al materiale dell'utensile, alla geometria, al materiale del pezzo, al rivestimento e all'operazione.

Software CAM come [Mastercam](#), Fusion 360 ed Esprit si basano su questo concetto, simulando l'impiego degli utensili e il tempo di ciclo.

Le prove di taglio permettono di individuare ciò che la simulazione non riesce a rilevare, come ad esempio un fissaggio instabile del pezzo o una rigidità insufficiente, e qualsiasi deviazione viene corretta regolando la velocità o l'avanzamento.

Il monitoraggio dell'usura degli utensili, che include sensori di carico del mandrino, di vibrazione e acustici, mostra direttamente se i parametri attuali sono troppo aggressivi.



Linee guida DfM per i parametri di velocità e avanzamento

Le decisioni di [progetto](#) condizionano la velocità e l'avanzamento entro cui un operatore macchina può lavorare, e alcune scelte in fase di progettazione mantengono tale intervallo il più ampio possibile.

Fattore di progettazione	Vincolo di processo	Raccomandazione
Fori profondi o di piccolo diametro	L'evacuazione dei trucioli limita la velocità di avanzamento	Specificare fori pilota o cicli di perforazione anziché forzare una singola passata profonda
Dettagli precisi sulla finitura superficiale	Viene imposta una velocità di avanzamento inferiore e un tempo ciclo più lungo	Riservare le finiture di pregio solo alle superfici funzionalmente necessarie
Pareti sottili o elementi non supportati	Limita la profondità di taglio raggiungibile e la forza di taglio	Aggiungere nervature di supporto o aumentare lo spessore della parete laddove la funzione lo consenta
Materiali difficili da lavorare (acciaio inox, titanio)	Riduce l'intervallo di velocità di taglio sicura	Segnalare la scelta del materiale fin dalle prime fasi, in modo da poter pianificare correttamente i costi degli utensili e i tempi ciclo

Gli ingegneri che dimensionano i diametri dei fori per le lavorazioni filettate possono verificare il dimensionamento della punta rispetto ai requisiti della filettatura con il [calcolatore per la dimensione di punta da filettatura e maschiatura](#) prima di finalizzare le ipotesi sulla velocità di avanzamento per le operazioni di foratura.



Regolazione della velocità e dell'avanzamento

Velocità di taglio e avanzamento non sono parametri indipendenti. La velocità influenza il calore e l'usura dell'utensile, l'avanzamento influenza la forza di taglio e la finitura superficiale, ed entrambe dipendono dalla stessa capacità meccanica disponibile. La combinazione che massimizza la produttività raramente è quella che protegge l'utensile, quindi la risposta corretta dipende dai dati del produttore, dalla simulazione CAM, dalle prove di taglio e dal monitoraggio dell'usura, che lavorano in sinergia, piuttosto che da un singolo valore isolato.