

Considerazioni iniziali

1. Configurazione del componente da fresare



La fresatura si è evoluta nel tempo e oggi è un metodo di lavorazione impiegato per una vasta gamma di applicazioni.

Oltre alle applicazioni tradizionali, la fresatura rappresenta una valida alternativa per produrre fori, filettature, cavità e superfici che un tempo venivano realizzati tramite tornitura, foratura o maschiatura.

Occorre prestare molta attenzione alle varie caratteristiche del componente da lavorare. Alcuni particolari possono trovarsi in profondità, richiedere una serie di utensili prolungati o contenere interruzioni e inclusioni.

2. Componente

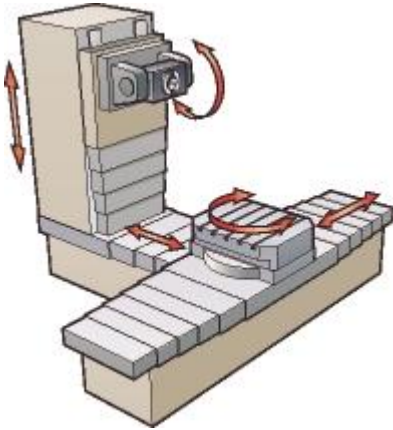


Le superfici del pezzo possono presentare caratteristiche difficili, come crosta di fusione o scaglia di forgiatura.

In caso di problemi di rigidità, causati da sezioni sottili o bloccaggio debole, occorre utilizzare metodi e utensili specifici.

Inoltre, occorre analizzare il materiale del pezzo e la sua lavorabilità per determinare dati di taglio ottimali.

3. *Macchina*



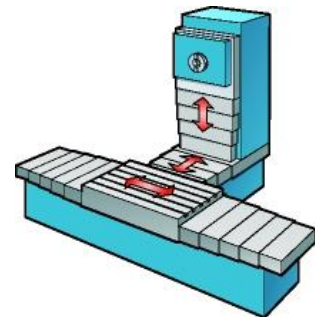
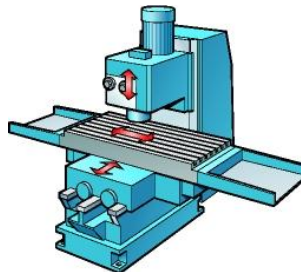
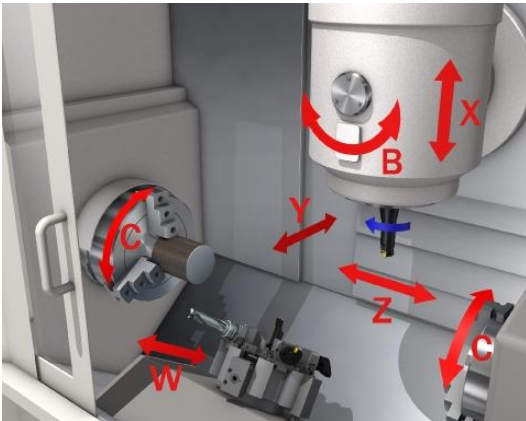
La macchina è molto importante per la scelta del metodo di fresatura. La spianatura/fresatura di spallamenti o fresatura di cave può essere eseguita su macchine a 3 assi, mentre per la fresatura di profili 3D sono necessarie macchine a 4 o 5 assi, a seconda dei casi.

Oggi, i centri di tornitura spesso consentono di eseguire la fresatura grazie ad utensili rotanti o motorizzati, e i centri di lavorazione spesso sono dotati anche di funzione di tornitura. Con gli sviluppi nell'area del CAM, oggi le macchine a 5 assi sono sempre più diffuse. Queste macchine offrono una maggiore flessibilità, ma la stabilità può rappresentare un problema.

Macchine per fresatura

- Configurazione della macchina utensile – Numero di assi
- Orientamento del mandrino: orizzontale e verticale?
- Stabilità
- Potenza e coppia
- Dimensioni mandrino

Configurazione della macchina utensile – Numero di assi



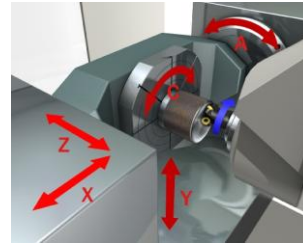
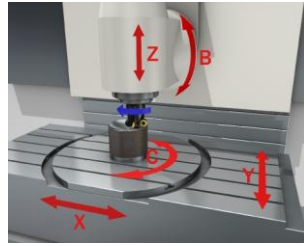
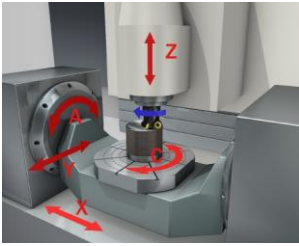
*Macchina Multi-task a 5 assi.
Macchine a 3 assi verticali e orizzontali.*

In passato, tutte le macchine potevano essere suddivise in quattro categorie: orizzontali e verticali, per tornitura o fresatura.

Oggi le macchine si stanno sviluppando in tutte le direzioni. I centri di tornitura spesso consentono di eseguire la fresatura con portautensili rotanti, e i centri di lavorazione sono dotati anche di funzione di tornitura: abbiamo quindi macchine per tornitura-fresatura o fresatura-tornitura. Con gli sviluppi operati nell'area del CAM, oggi le macchine a cinque assi sono sempre più diffuse. Queste tendenze determinano quindi nuove esigenze e opportunità di attrezzamento:

- Maggiore flessibilità
- Minor numero di macchine/set-up per realizzare un componente
- Minore stabilità
- Utensili di lunghezza maggiore
- Profondità di taglio inferiori.

Orientamento del mandrino: orizzontale e verticale?



Centro di lavorazione verticale con un quinto asse A.

Centro di lavorazione verticale con un quinto asse B.

Centro di lavorazione assiale a 5 assi.

Orizzontale:

- adatto per la fresatura di componenti di grandi dimensioni
- facilita l'evacuazione dei trucioli nella fresatura di cavità ed evita la loro rimacinazione
- minore massa per accelerazione/decelerazione
- spesso, quattro assi permettono di accedere a tre lati
- tecnologia pallet ergonomica ed economica
- tipo di macchine più comuni per l'uso di frese a disco.

Piccoli centri di lavorazione verticali:

- ingombro totale ridotto, richiedono poco spazio in officina
- adatti per alte velocità/alti avanzamenti: leggere e veloci.

Grandi centri di lavorazione verticali:

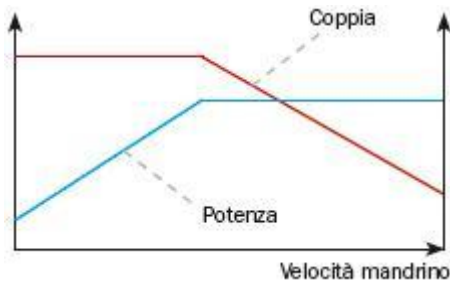
- garantiscono una maggiore stabilità con il pezzo appoggiato sulla tavola
- adatti per pezzi più grandi e pesanti
- modelli a colonna per componenti molto grandi
- possono lavorare con set-up utensili più lunghi e pesanti.

Stabilità

Le condizioni e la stabilità della macchina influiscono sulla qualità superficiale, e possono influire negativamente anche sulla durata tagliente. Un'usura eccessiva sui cuscinetti del mandrino o sul meccanismo di avanzamento può determinare una struttura superficiale scadente.

La stabilità del set-up utensile nel suo insieme è di estrema importanza. Occorre considerare fattori quali la sporgenza dell'utensile, l'accoppiamento Coromant Capto, adattatori pre-regolati e antivibranti, ecc.

Potenza e coppia



In generale, la potenza richiesta nella fresatura varia in relazione ai seguenti fattori:

- quantità di metallo da asportare
- spessore medio del truciolo
- geometria della fresa
- velocità di taglio.

Più il volume di truciolo asportato ($Q \text{ cm}^3/\text{min}$) è alto, tanto maggiore sarà la potenza richiesta. Le lavorazioni con basse velocità del mandrino per la sgrossatura di materiali esotici dipendono molto dalla disponibilità di potenza e coppia sufficienti.

Una macchina con coppia e potenza insufficienti produrrà trucioli di spessore variabile, che a loro volta determineranno prestazioni non uniformi.

La maggior parte dei centri di lavorazione moderni è dotata di mandrini a trasmissione diretta. L'aumento costante della velocità raggiungibile dal mandrino determina:

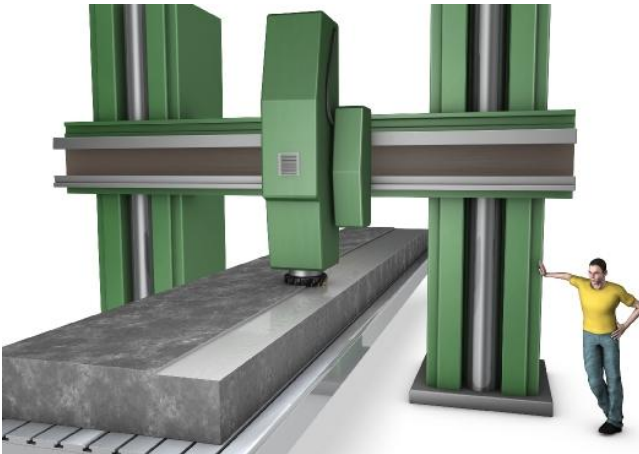
- minore coppia a velocità superiori (giri/min)
- minore potenza a velocità inferiori (giri/min)

Pertanto, le macchine che consentono di raggiungere velocità (giri/min) elevate hanno delle limitazioni per la sgrossatura con frese con diametri grandi, che richiedono basse velocità e potenza elevata.

I metodi di lavorazione dovranno quindi essere adattati al contesto. Questo spiega la tendenza verso lavorazioni veloci e leggere, che utilizzano frese di diametro inferiore, piccole profondità di taglio, a_p/a_e , e alti avanzamenti per dente, $\text{mm } f_z$.

Le macchine per componenti che richiedono alta potenza alle basse velocità (giri/min) possono essere equipaggiate in modo da ottenere prestazioni ottimali sia per la sgrossatura che per la finitura.

Dimensioni mandrino



Grande fresatrice a portale per lavorazioni pesanti.

I mandrini ISO 30, 40, 50 e 60 hanno vantaggi e limiti intrinseci.

Per la sgrossatura pesante è necessario un mandrino più grande, mentre per la fresatura ad alta velocità occorre una coppia più bassa, pertanto è più indicato un mandrino più piccolo.

La dimensione del mandrino determina il diametro massimo della fresa e la profondità di taglio che la macchina è in grado di gestire.

L'accoppiamento utensile integrato nel mandrino garantisce condizioni di stabilità ottimali.

Sulle macchine a portale e altre macchine più grandi, le frese possono essere montate direttamente sul naso mandrino, una soluzione che garantisce un'eccezionale stabilità e la sporgenza minore possibile.

Passo e zn

Quando si sceglie il numero più adatto di denti effettivi, z_c , per l'operazione, è fondamentale considerare anche il passo (distanza tra i taglienti). Tutte le frese CoroMill sono disponibili in versioni con passo costante.

A seconda delle dimensioni e del numero dei taglienti, alcune frese sono disponibili anche in versione a passo differenziato (denti disposti a distanze non uniformi attorno alla fresa).

Le frese a passo differenziato sono vantaggiose poiché spezzano le vibrazioni armoniche, aumentando la stabilità che è particolarmente utile con una profondità di taglio, a_e elevata e sporgenze lunghe.

Il passo influisce principalmente su:

- produttività
- stabilità
- assorbimento di potenza
- materiale del pezzo adatto.

Aumentando il numero di taglienti, è possibile aumentare l'avanzamento tavola, mantenendo la stessa velocità di taglio e lo stesso avanzamento per dente, senza generare maggiore calore sul tagliente.

Tuttavia, aumentando il numero di denti, l'utensile cambia la sua configurazione. Se si accorcia la distanza tra i taglienti dell'utensile, si ha minor spazio per l'evacuazione del truciolo, e, in molti casi, la fresa deve avere un passo costante.

La potenza richiesta spesso costituisce un limite per quanto riguarda il numero di denti impegnati nel taglio.

Sandvik Coromant offre tre passi per le frese, per ottenere una soluzione ottimizzata per una determinata applicazione:

Passo largo –L

Passo normale –M

Passo stretto –H

Le frese a passo normale e stretto, -M ed -H, sono impiegate quando la stabilità è buona e per applicazioni con a_e piccola. In questo modo si è certi di avere sempre più di un dente impegnato nel taglio.

Passo largo –L	Passo normale –M	Passo stretto –H
		
Frese a passo differenziato con minor numero di denti. Scelta prioritaria per operazioni instabili dovute alle basse forze di taglio Potenza limitata Maggior numero di utensili Esecuzione di cave dal pieno Materiali che producono trucioli lunghi ISO N (vano di evacuazione truciolo grande).	Frese a passo costante o differenziato a seconda della versione, con numero medio di denti. Scelta prioritaria per la sgrossatura in condizioni stabili Buona produttività Buona distanza tra i trucioli per sgrossatura di materiali ISO P, M ed S.	Frese a passo costante con numero massimo di inserti. Scelta prioritaria per alta produttività con a_e ridotta (più di un tagliente in presa)) Sgrossatura e finitura di materiali ISO K Sgrossatura di materiali ISO S con inserti rotondi.



Nota: Se il codice contiene una X, significa che la versione di fresa in questione ha un passo leggermente più stretto della versione base.

Angolo di registrazione

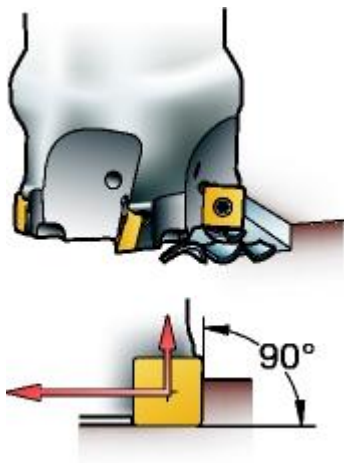
Angolo tra il tagliente principale dell'inserto e la superficie del pezzo.

L'angolo di registrazione influisce particolarmente sullo spessore del truciolo, le forze di taglio e la durata del tagliente.

Gli angoli di registrazione più comuni sono 90° , 45° e 10° , più quelli eliminati dagli inserti rotondi, come le frese che utilizzano inserti con testa sferica a profondità di taglio ridotte.

- Riducendo l'angolo di registrazione, κ_r , sui taglienti diritti, si ha una diminuzione dello spessore del truciolo, h_{ex} , per una velocità di avanzamento specifica, f_z . Questa riduzione dello spessore del truciolo fa sì che il materiale si distribuisca maggiormente su una parte più grande del tagliente.
- Con angoli di registrazione più piccoli si ha un'entrata più graduale nel pezzo, con conseguente riduzione della pressione radiale, e si protegge il tagliente.
- Le forze assiali maggiori che si determinano con la diminuzione dell'angolo di registrazione provocano un aumento della pressione sul pezzo.

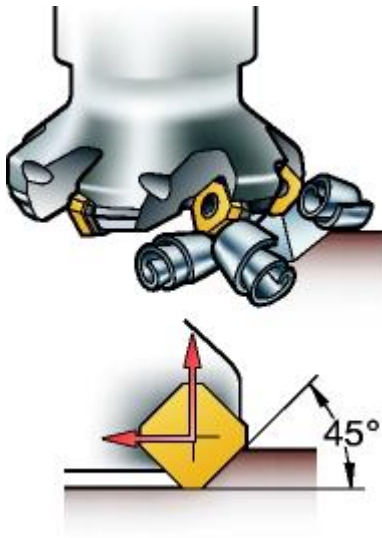
Frese a 90°



- Il campo di applicazione principale è la fresatura di spallamenti retti.
- Generano forze principalmente radiali, nella direzione di avanzamento.
- La superficie lavorata è esposta a un'elevata pressione assiale, vantaggiosa per la fresatura di pezzi con struttura debole o pareti sottili, e in caso di fissaggio instabile.

Gamma di frese: CoroMill 290, CoroMill 390, CoroMill 490, CoroMill 590, CoroMill 690, CoroMill 790, CoroMill Plura ed Auto-FS – e per applicazioni speciali, frese a disco e frese per scanalature: CoroMill 331, CoroMill 327/328 e T-Max Q-cutter.

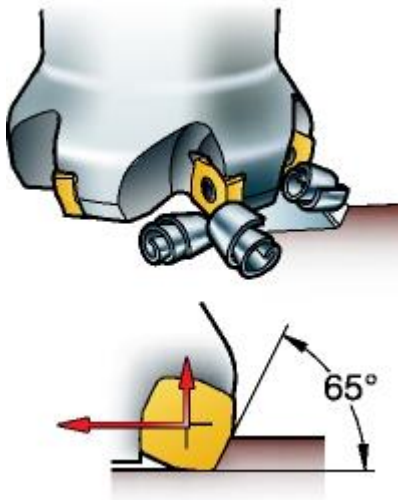
Frese a 45°



- Scelta prioritaria per la spianatura.
- Generano forze di taglio radiali e assiali ben bilanciate.
- Entrata regolare nel pezzo.
- Bassa tendenza alle vibrazioni durante operazioni di fresatura con sporgenze elevate o portautensili ed accoppiamenti più piccoli/deboli.
- Particolarmente indicate per la fresatura di materiali a truciolo corto che si "sfaldano" facilmente, se si esercitano forze radiali eccessive sulla quantità di materiale in progressiva diminuzione, lasciato alla fine del taglio.
- La formazione di un truciolo più sottile consente di ottenere un'elevata produttività in molte applicazioni, grazie alla possibilità di raggiungere velocità di avanzamento tavola elevate pur mantenendo un carico moderato sul tagliente.

Gamma di frese: CoroMill 245, CoroMill 345, T-Max 45 e programma di frese Sandvik AUTO.

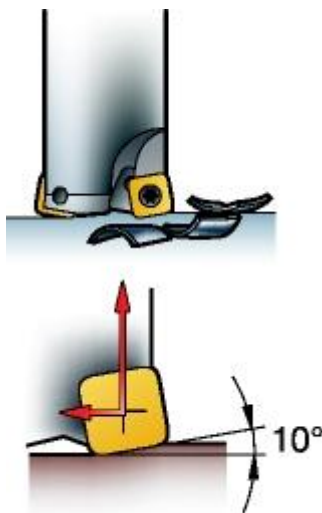
Frese da 60° a 75°



- Frese di spianatura per applicazioni speciali che offrono profondità di taglio maggiori rispetto alle frese di spianatura per applicazioni generali.
- Forze assiali più basse rispetto alle frese di spianatura a 45°.
- Maggiore robustezza del tagliente rispetto alle frese a 90°.

Gamma di frese: CoroMill 360, CoroMill 365, Auto AF.

Frese a 10°



- Frese per elevati avanzamenti e frese a tuffo.
- Il truciolo sottile generato consente di raggiungere avanzamenti molto elevati per dente, f_z , con piccole profondità di taglio, e, conseguentemente, avanzamenti tavola molto alti, v_f .

- La forza di taglio assiale dominante è diretta verso il mandrino e lo stabilizza. Ciò è positivo per set-up lunghi e deboli, poiché limita la tendenza alle vibrazioni.
- Per la fresatura a tuffo di cavità, o in tutti i casi in cui si richiede una fresa più lunga.
- Efficace per l'esecuzione di fori usando tre assi.

Gamma di frese: frese ad elevati avanzamenti CoroMill 210, CoroMill 316 e CoroMill Plura.

Inserti rotondi o frese con grande raggio di punta



- Frese efficienti per sgrossatura e applicazioni generiche.
- Il raggio di punta consente di avere un tagliente molto robusto.
- Possibilità di raggiungere elevate velocità di avanzamento tavola grazie alla generazione di trucioli più sottili da parte del tagliente lungo.
- Grazie a questo effetto di assottigliamento dei trucioli, queste frese sono adatte per la lavorazione del titanio e di leghe resistenti al calore.
- A seconda delle variazioni relative alla profondità di taglio, a_p , l'angolo di registrazione può variare da zero a 90° , modificando la direzione della forza di taglio lungo il raggio tagliente, e, conseguentemente, la pressione risultante durante l'operazione.

Gamma di frese: CoroMill 200, CoroMill 300 e, con profondità di taglio inferiori, frese a inserto raggiato CoroMill 390; frese a testa sferica CoroMill 216 e CoroMill 216F. Inoltre, le frese a candela integrali di metallo duro CoroMill Plura e CoroMill 316 sono disponibili in versione a testa sferica con grandi raggi di punta.

Spessore massimo del truciolo

- 1. Inserti a taglienti diritti
- 2. Frese con inserti rotondi e raggiati
- 3. Fresatura periferica



Lo spessore massimo del truciolo è il parametro più importante per una fresatura produttiva e affidabile.

Per una lavorazione efficace, è necessario mantenere questo parametro a un valore corretto in rapporto alla fresa utilizzata.

- Un truciolo sottile con un valore di h_{ex} troppo piccolo è la causa più comune di prestazioni scadenti, che determinano una scarsa produttività. Ciò può influire negativamente sulla durata del tagliente e la formazione del truciolo.
- Un valore troppo alto, invece, sovraccarica il tagliente, e può portare alla sua rottura.

L'effetto di “assottigliamento” del truciolo consente di aumentare l'avanzamento

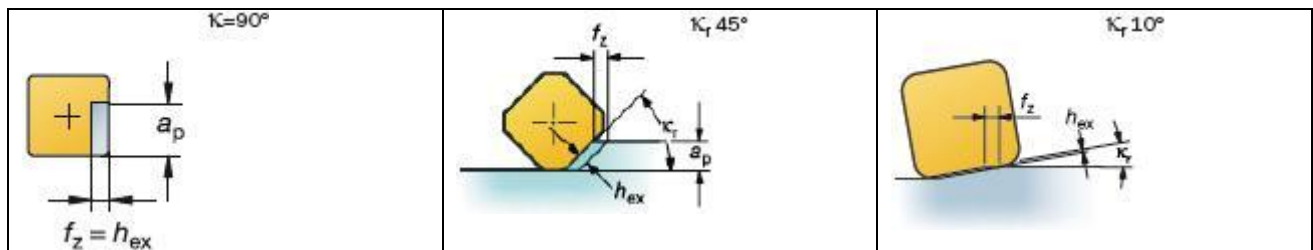
L'avanzamento per dente può essere aumentato nei seguenti tre casi, grazie all'effetto di assottigliamento del truciolo:

1. Utilizzando frese a tagliente diritto con angoli di registrazione inferiori a 90° .
2. Utilizzando inserti rotondi o a grande raggio a piccole profondità di taglio, a_p .
3. Fresatura periferica con impegno radiale ridotto, a_e/D_e .

1. Inserti a taglienti diritti

Angolo di registrazione κ_r	Fattore di correzione	f_z (mm/dente):		
		h_{ex} (mm) min 0.1	Iniziale 0.15	max 0.2
90°	1.0	0.10	0.15	0.20
75°	1.0	0.10	0.16	0.21
65°	1.1	0.11	0.17	0.22
45°	1.4	0.14	0.21	0.28
10°	5.8	0.58	0.88	1.15

$$h_{ex} = f_z \times \sin \kappa_r$$

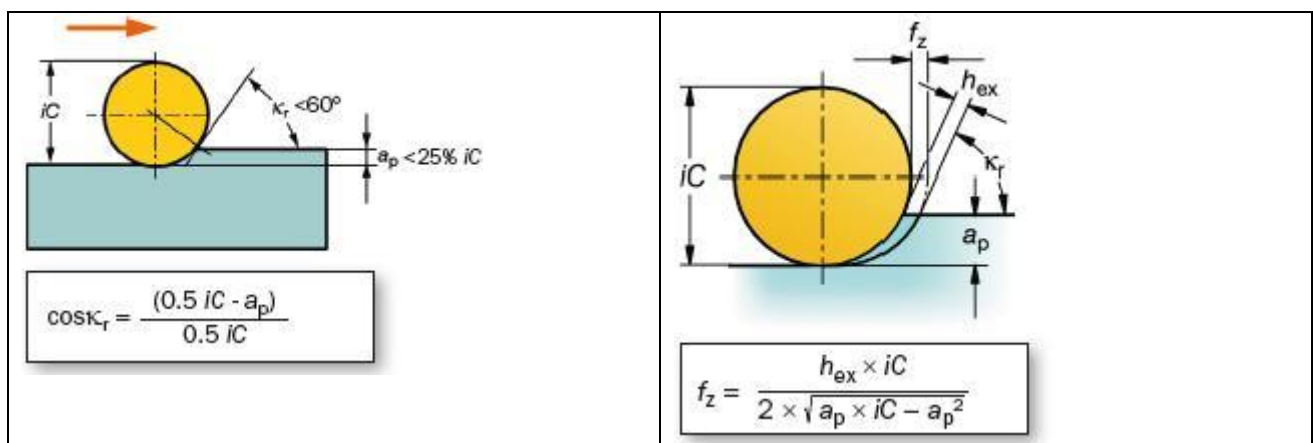


Nel caso degli inserti a taglienti diritti, lo spessore del truciolo, h_{ex} , è pari a f_z con un angolo di registrazione di 90°. Man mano che l'angolo di registrazione, κ_r , diminuisce, è possibile aumentare f_z .

Esempio:

Se lo spessore massimo del truciolo, h_{ex} , è pari a 0,1 e l'angolo di registrazione, κ_r , è pari a 45°, l'avanzamento consigliato, f_z , sarà: $1,4 \times 0,1 = 0,14$ mm/dente.

2. Frese con inserti rotondi e raggati



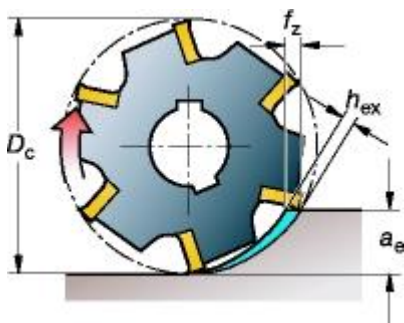
- Le prestazioni migliori si ottengono quando l'angolo di registrazione, κ_r , rimane al di sotto di 60°, quando si utilizzano frese con inserti rotondi o frese a candela con testa sferica a profondità di taglio limitate. Ciò significa che la profondità Italia non deve essere superiore a 25% x diametro inserto, iC .

- Per profondità di taglio maggiori, è meglio utilizzare inserti quadrati con κ_r costante di 45° .
- Lo spessore del truciolo, h_{ex} , varia con gli inserti rotondi, e dipende dall'angolo di registrazione. Con rapporti a_p/iC bassi, è possibile impiegare un avanzamento considerevolmente più elevato per aumentare lo spessore del truciolo portandolo al livello desiderato.
- Gli inserti rotondi hanno una maggiore capacità di generare trucioli di spessore massimo rispetto alle soluzioni con tagliente diritto, grazie alla forma più robusta del tagliente e alla maggiore lunghezza di taglio.

Esempio: CoroMill 300 con geometria dell'inserto E-PL

iC	Spessore max. truciolo, h_{ex} (mm)			Avanzamento/dente, f_z (mm)							
	Min.	Iniziale	Max.	a_p (mm)							
				0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
8	0.1	0.15	0.2	0.31	0.23	0.19	0.17				
10	0.1	0.2	0.25	0.48	0.33	0.28	0.25	0.23			
12	0.1	0.2	0.25	0.59	0.36	0.30	0.27	0.25	0.23		
16	0.1	0.2	0.25	0.57	0.41	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23

3. Fresatura periferica



Il valore di h_{ex} varia a seconda del diametro della fresa e dell'impegno nel pezzo, ossia l'impegno radiale della fresa, a_e/D_c .

Se questo parametro è inferiore al 50%, lo spessore massimo del truciolo sarà inferiore rispetto a f_z .

L'avanzamento può essere aumentato applicando il fattore di correzione riportato nella tabella sotto, in base al rapporto, a_e/D_c .

Esempio:

D_c 20 mm – $a_e = 2$ mm, $a_e/D_c = 10\%$

$h_{ex} = 0.1$ mm, $f_z = 0.17$ mm/dente.

Rapporto fascia fresata/ diametro a_e/D_c	Fattore di correzione	f_z (mm/dente):		
		h_{ex} (mm)		
		min. 0.1	Iniziale 0.15	max. 0.2
50-100%	1.0	0.10	0.15	0.20
25%	1.16	0.12	0.17	0.23
20%	1.25	0.13	0.19	0.25
15%	1.4	0.14	0.21	0.28
10%	1.66	0.17	0.25	0.33
5%	2.3	0.23	0.34	0.46

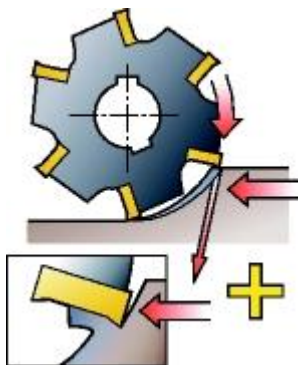
Posizione fresa

- Carico sul tagliente
- Fresatura concorde
- Fresatura discorde
- Fissaggi del pezzo

Carico sul tagliente

Ogni volta che un tagliente entra nel pezzo, è soggetto ad un carico. Il tipo di contatto corretto fra tagliente e materiale al momento dell'entrata e dell'uscita da un pezzo deve essere preso in considerazione per ottenere una fresatura soddisfacente.

Fresatura concorde



Nella fresatura concorde, l'utensile avanza nella direzione di rotazione.

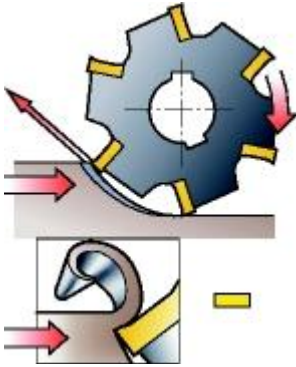
- La fresatura concorde è sempre preferibile in tutti i casi in cui la macchina utensile, il fissaggio ed il pezzo da lavorare lo consentano.
- Nella fresatura concorde periferica, lo spessore del truciolo diminuisce dall'inizio del taglio, raggiungendo gradualmente il valore zero alla fine del taglio. Questo evita al tagliente di "strisciare" contro la superficie prima di entrare nel pezzo.
- Lo spessore elevato del truciolo è vantaggioso e le forze di taglio tendono a spingere il pezzo all'interno della fresa, mantenendo il tagliente in presa.

Eccezioni in cui è preferibile la fresatura discorde:

- Tuttavia, poiché la fresa tende ad essere trascinata nel pezzo, l'avanzamento tavola della macchina deve essere assolutamente privo di gioco.
- Se l'utensile è attirato dal pezzo, l'avanzamento aumenta non intenzionalmente e questo può causare uno spessore eccessivo del truciolo e la rottura del tagliente.
- La fresatura discorde può essere vantaggiosa nei casi in cui vi siano ampie variazioni nella tolleranza di lavorazione.

Nota: quando si usano inserti ceramici in leghe resistenti al calore, la fresatura discorde è consigliata perché la ceramica è sensibile all'impatto al momento dell'entrata nel pezzo.

Fresatura discorde



Nella fresatura discorde, la direzione di avanzamento dell'utensile è opposta alla sua rotazione.

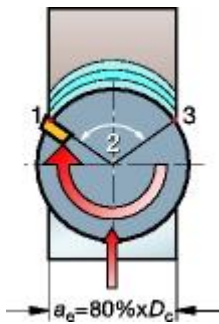
- Lo spessore del truciolo inizia da zero ed aumenta verso la fine del taglio. Le forze di taglio tendono a spingere fresa e pezzo lontani l'uno dall'altra.
- Elevate sollecitazioni di trazione, indotte quando il tagliente si allontana dal pezzo, spesso provocano una rapida rottura del tagliente.
- Il tagliente deve essere "spinto" nella zona di taglio, creando così un effetto di strisciamento anomalo dovuto all'eccessivo attrito, alte temperature e, spesso, al contatto con una superficie incrudita prodotta dal tagliente precedente. Tutto questo riduce la durata del tagliente.
- Le forze, soprattutto radiali, tendono a sollevare il pezzo dalla tavola.
- Trucioli di elevato spessore all'uscita dal taglio riducono la durata del tagliente.
- Lo spessore elevato e la temperatura più alta all'uscita talvolta fanno sì che i trucioli si incollino o si saldino al tagliente, che quindi li trasporterà all'inizio del taglio successivo o causerà un temporaneo sgretolamento del tagliente.

Fissaggi del pezzo

La direzione di avanzamento dell'utensile pone esigenze diverse rispetto al bloccaggio del pezzo. Nella fresatura discorde, deve resistere a forze di sollevamento. Nella fresatura concorde, deve resistere a forze di trazione.

Formazione truciolo

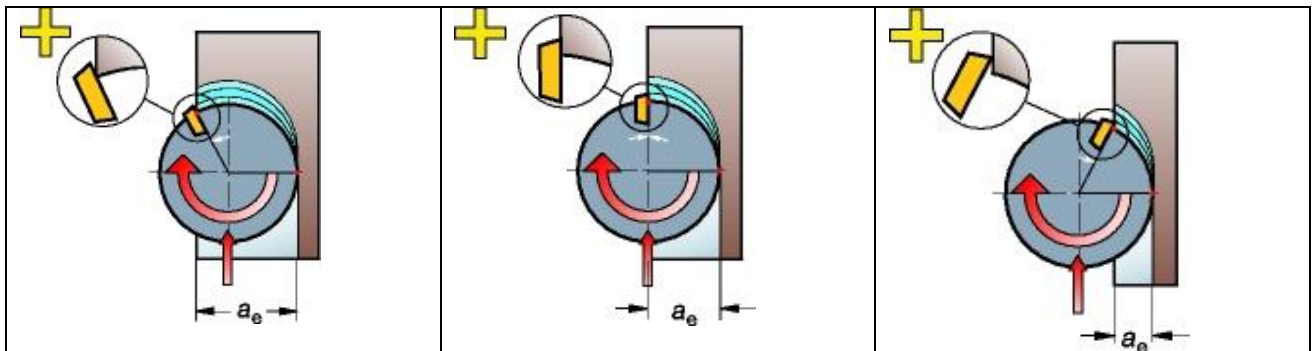
- 1. Entrata nel taglio
- 2. Uscita dal taglio
- 3. Arco in presa
- Riepilogo delle posizioni della fresa



Il tagliente in direzione radiale entra a contatto con il pezzo in tre fasi distinte:

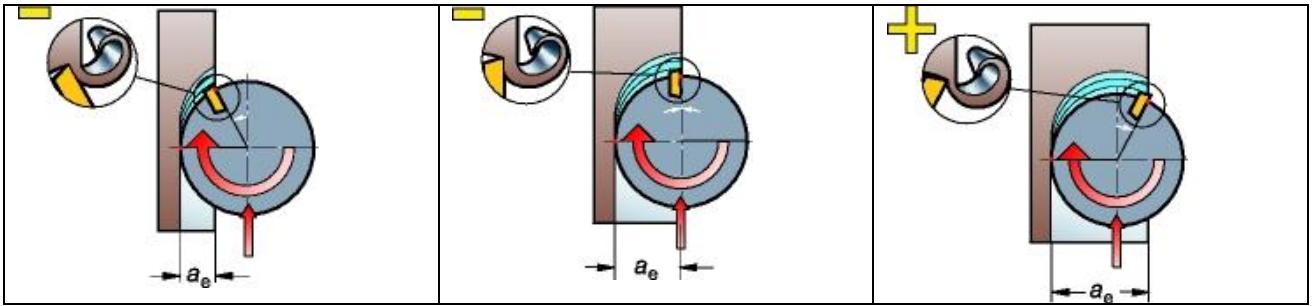
1. Entrata nel taglio
2. Arco in presa
3. Uscita dal taglio

1. Entrata nel taglio



- La meno sensibile fra le tre zone di taglio, quando vengono usati inserti di metallo duro.
- Il metallo duro sopporta bene le sollecitazioni di compressione all'impatto dell'entrata, producendo un truciolo di spessore più elevato.

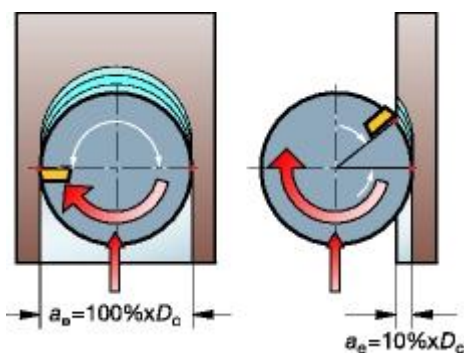
2. Uscita dal taglio



- L'uscita dal taglio è la più sensibile fra le tre zone di taglio.
- Un truciolo spesso provoca una drastica riduzione della durata del tagliente quando vengono usati inserti di metallo duro. Il truciolo non ha alcun supporto nel punto finale del taglio e tende a flettersi, generando una forza di trazione sul metallo duro, che può causare una frattura sul tagliente.

3. Arco in presa

- L'arco in presa massimo possibile è di 180° ($a_e = 100\% D_c$) in caso di esecuzione di cave.
- Per la fresatura di finitura, l'arco può essere molto piccolo.
- I requisiti in termini di qualità sono molto diversi, a seconda della percentuale di impegno radiale, a_e/D_c .
- Più ampio è l'arco in presa, maggiore sarà il calore trasferito nel tagliente.
- Con un ampio arco in presa, le qualità con rivestimento CVD offrono la miglior barriera termica.
- Con un arco in presa piccolo, lo spessore del truciolo è normalmente inferiore, ed i taglienti molto affilati nelle qualità con rivestimento PVD generano meno calore e basse forze di taglio.



Arco in presa ampio (max.)

- Lunghi tempi di taglio
- Elevate forze radiali
- Maggior generazione di calore
- Qualità con rivestimento CVD

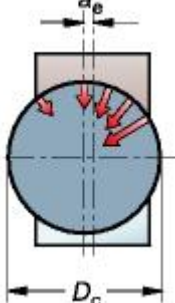
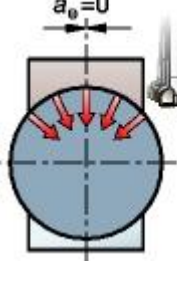
Arco in presa piccolo

- Tempi di taglio brevi e meno calore => maggiore v_c

- Truciolo più sottile => maggior f_z
- Possono essere applicati maggiori valori v_c e f_z
- Taglienti affilati
- Qualità con rivestimento PVD

Riepilogo delle posizioni della fresa

- Evitare trucioli di elevato spessore all'uscita.
- Non posizionare la fresa simmetricamente sull'asse.
- Spostando la fresa dal centro (a sinistra) si otterrà una direzione più costante e favorevole delle forze di taglio, riducendo al minimo la tendenza alle vibrazioni.
- Il diametro della fresa, D_c , deve essere del 20-50% maggiore della fascia fresata, a_e .
- Deve essere presa in considerazione anche la potenza del mandrino disponibile, poiché incide sulla scelta del passo.

	
Il dia. della fresa D_c deve essere del +20-50% maggiore rispetto ad a_e Spostare la fresa dal centro (a sinistra) per ottenere un truciolo di spessore più elevato in entrata.	La fresa posizionata sull'asse può generare vibrazioni

Entrata nel componente

Quando la fresa è programmata per un'entrata diretta nel pezzo, verranno prodotti trucioli di elevato spessore in uscita, finché la fresa non sarà interamente impegnata. Questo può ridurre drasticamente la durata del tagliente, soprattutto con gli acciai molto duri, il titanio e le leghe resistenti al calore.

Inoltre, da un punto di vista delle vibrazioni, è fondamentale entrare nel pezzo in modo graduale.

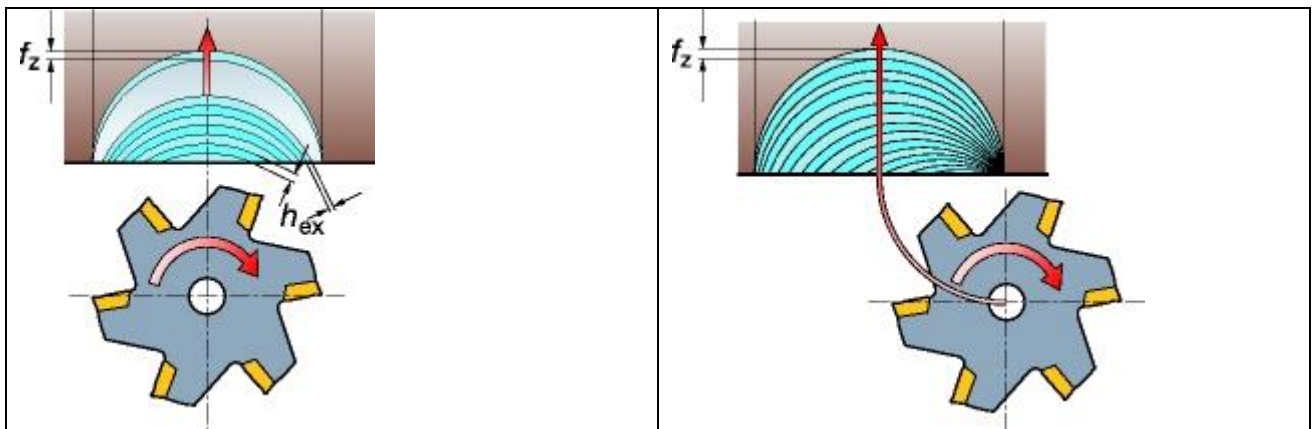
Ci sono due modi per risolvere questo problema:

1. Minor avanzamento

Ridurre l'avanzamento al 50% finché la fresa non è completamente impegnata.

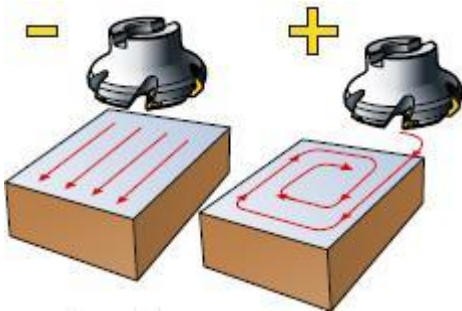
2. Entrata indiretta nel taglio

Programmare un'entrata indiretta nel taglio secondo un movimento in senso orario (la rotazione in senso antiorario non risolve il problema dello spessore del truciolo). Con l'entrata indiretta, lo spessore del truciolo in uscita è sempre pari a zero, consentendo un maggior avanzamento e garantendo una maggiore durata del tagliente.



Truciolo di elevato spessore all'uscita del taglio finché la fresa non è completamente impegnata.

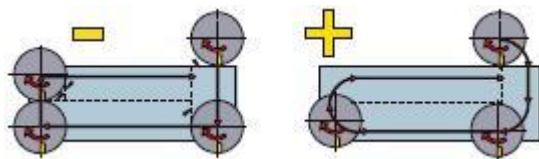
Mantenere la fresa costantemente impegnata



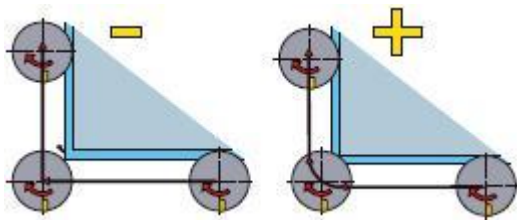
Mantenere la fresa costantemente impegnata.

Bruschi cambi di direzione in un taglio causano lo stesso problema provocato dall'entrata diretta nel pezzo.

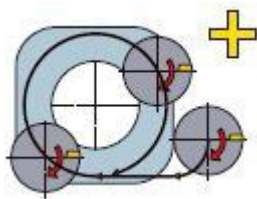
- L'interpolazione attorno agli angoli è un'operazione che deve essere sempre attuata per garantire un processo soddisfacente ed ottimizzato.
- La fascia fresata, a_e , deve essere pari al 70% di D_c per garantire la massima copertura dell'angolo.
- Mantenere la fresa costantemente impegnata.
- Programmare la lavorazione intorno ad interruzioni e fori, laddove possibile.



Nella spianatura, i bruschi cambiamenti di direzione della fresa generano trucioli di elevato spessore in uscita.

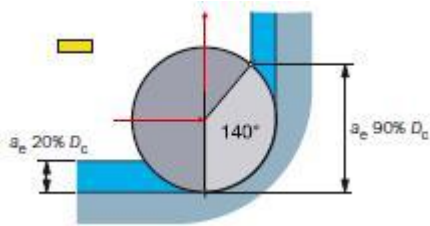


Nella fresatura periferica, ruotare intorno agli angoli esterni.



Programmare la lavorazione intorno a fori ed interruzioni.

Fresatura dei raccordi



Il problema

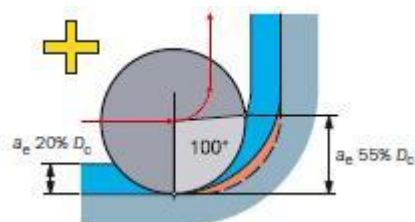
Raggio di punta = $50\% \times D_c$

Fresatura tradizionale di raccordi

Considerazioni

La lavorazione intorno ai raccordi richiede un'attenta considerazione dell'arco in presa della fresa adatto, oltre che della velocità di avanzamento appropriata.

- Quando la fresa viene fatta avanzare nei raccordi interni, l'arco in presa radiale aumenta e ciò richiede taglienti con prestazioni superiori.
- Spesso il processo diventa instabile, generando vibrazioni ed una lavorazione incerta.
- Forze di taglio non costanti spesso creano "intagli" nel raccordo.
- Esiste inoltre il rischio di sfaldamento dei taglienti o la rottura completa dell'utensile.



Rimedio n° 1

Raggio di punta = $75\% \times D_c$

Fresare un raggio maggiore del componente

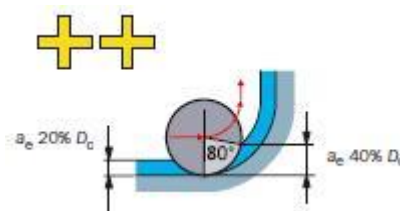
Rimedio n° 2

Raggio di punta = $100\% \times D_c$

Usare una fresa più piccola

Rimedio: limitare l'arco in presa

Usando un raggio programmato (fresatura circolare) per ridurre l'arco in presa e la passata radiale, la tendenza alle vibrazioni si riduce, consentendo maggiori profondità di taglio e velocità di avanzamento.



- Fresare un raggio di punta maggiore rispetto a quello indicato in figura.
Questo può talvolta essere favorevole, poiché consente l'uso di una fresa di diametro maggiore nella sgrossatura, che garantisce una elevata produttività.
- Alternativamente, usare una fresa D_c più piccola per fresare il raggio di punta desiderato.

Sgrossatura

Un raggio programmato del 50% D_c è ottimale.

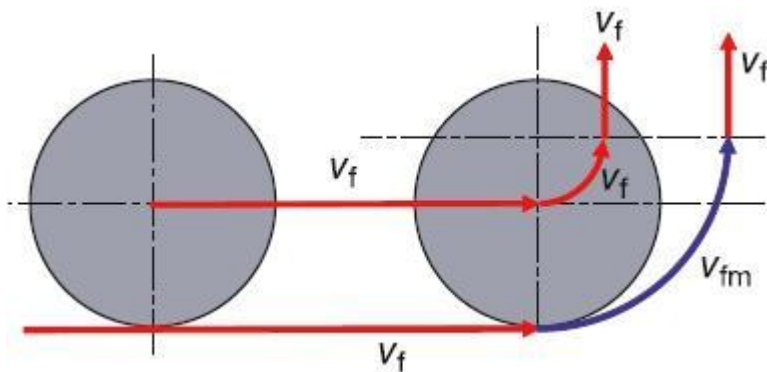
Finitura

Per la finitura, non è sempre possibile avere un raggio così ampio; tuttavia, il diametro della fresa non deve essere superiore a $1,5 \times$ il raggio del componente (ad esempio raggio di punta 10 mm = max. 15 mm).

Programmazione

- Asse o avanzamento periferico
- Programmazione dell'avanzamento lungo l'asse

Asse o avanzamento periferico

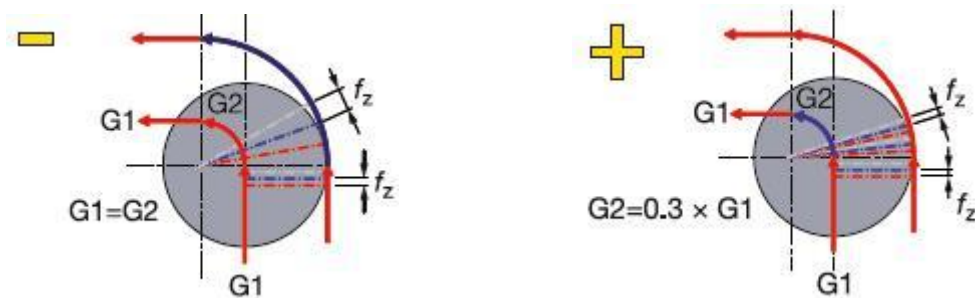


L'asse, v_f , o avanzamento periferico, v_{fm} .

Una macchina è progettata per l'avanzamento lungo l'asse v_f , (senza compensazione del raggio) o l'avanzamento periferico, v_{fm} (con compensazione del raggio).

Se la macchina richiede un avanzamento lungo l'asse ed invece è stato programmato l'avanzamento periferico (su macchine senza compensazione del raggio), il valore f_z diventerà troppo elevato, con il conseguente rischio di rottura dell'inserto.

Programmazione dell'avanzamento lungo l'asse



Senza riduzione dell'avanzamento lungo l'asse f_z aumenta in corrispondenza dei raccordi.

Con la riduzione dell'avanzamento lungo l'asse.

I codici NC generati programmano il centro della fresa invece della periferia.

Per un taglio lungo una linea retta (G1), l'avanzamento alla parete del componente, v_{fm} , è lo stesso rispetto all'avanzamento programmato, v_f , mentre l'avanzamento periferico intorno ad un raggio (G2) sarà maggiore dell'avanzamento del centro dell'utensile. Pertanto l'avanzamento della tavola, v_f , deve essere ridotto per mantenere l'avanzamento per dente, f_z .

Un fattore di riduzione si trova nella tabella e dipende da:

- Diametro di taglio rispetto al raggio del componente – D_c/rad_m

- Impegno radiale – a_e/D_c

Riduzione dell'avanzamento lungo l'asse

Valore del fattore di riduzione per l'avanzamento nei raccordi (K)										
D_c/rad_m	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
2.00	0.22	0.34	0.40	0.45	0.48	0.53	0.60	0.67	0.75	0.86
1.80	0.30	0.34	0.42	0.46	0.50	0.53	0.60	0.67	0.75	0.86
1.60	0.44	0.42	0.44	0.49	0.53	0.56	0.60	0.67	0.75	0.86
1.40	0.55	0.54	0.54	0.52	0.56	0.59	0.62	0.67	0.75	0.86
1.20	0.63	0.64	0.64	0.64	0.62	0.65	0.63	0.71	0.75	0.86
1.00	0.71	0.72	0.72	0.73	0.74	0.62	0.77	0.79	0.83	0.86
0.80	0.78	0.79	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.94
0.60	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.93	0.96
0.40	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.98
0.20	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99

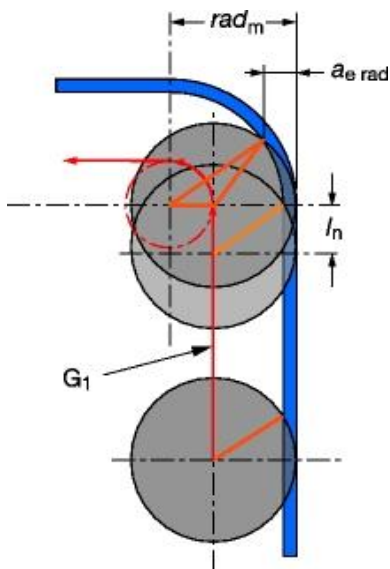
$$v_f \text{ ridotto} = K \times v_f$$

Riduzione dell'avanzamento prima di un raccordo

Ridurre l'avanzamento prima di raggiungere il raccordo è particolarmente importante soprattutto quando si fresa ad elevate velocità.

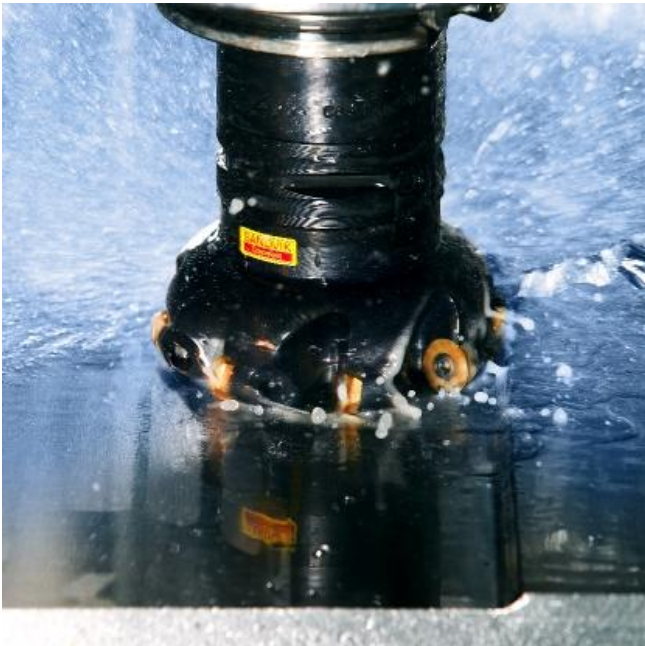
Poiché la fresa avanza ancora in linea retta verso la fine della linea G1, l'arco in presa inizia ad aumentare. Pertanto, l'avanzamento deve essere ridotto prima di raggiungere l'arco, ossia entro il campo pari a $50\% \times D_c$.

Un sistema di controllo della macchina con una funzione di "look ahead" avanzata gestisce automaticamente i cambiamenti della velocità di avanzamento.



Ridurre l'avanzamento alla distanza: $l_n = 50\%$ di D_c

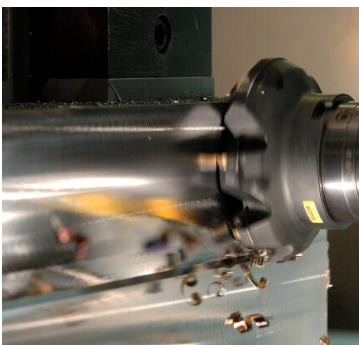
A secco o con fluido



L'operazione di fresatura è un processo intrinsecamente interrotto. Questo fa sì che le temperature generate sul tagliente varino costantemente fra diversi gradi di caldo ($\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) e freddo.

Effetto del fluido da taglio

- Le variazioni di temperatura sono esacerbate quando il tagliente entra ed esce dal taglio.
- Il tagliente è pertanto soggetto a shock termici e a sollecitazioni cicliche che possono generare microfessurazioni e, nei casi peggiori, portare ad una considerevole riduzione della durata effettiva degli utensili.
- Maggiore è la temperatura nella zona di taglio, meno è adatto l'uso di fluido da taglio. Nelle operazioni di finitura, l'applicazione di fluido da taglio non riduce la durata del tagliente come nella sgrossatura grazie al livello contenuto di generazione di calore.



Microfessurazioni termiche sul tagliente

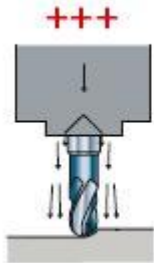
La fresatura a secco prolunga la durata del tagliente

- Nella fresatura a secco, si verificano variazioni di temperatura, che tuttavia rimangono entro le specifiche della qualità di metallo duro.
- Le operazioni di sgrossatura devono sempre essere eseguite a secco.

Eccezioni in cui può essere giustificato l'uso di fluido da taglio

- Finitura di acciaio inossidabile ed alluminio:
– per evitare l'incollamento di particelle di metallo nella struttura superficiale.
- Fresatura di leghe resistenti al calore a basse velocità di taglio:
– per lubrificare e raffreddare il componente.
- Fresatura nella ghisa:
– per assorbire ed eliminare la polvere per motivi ambientali, sanitari e di qualità del componente.
- Fresatura di componenti con pareti sottili:
– per evitare la distorsione geometrica.
- I sistemi di microlubrificazione, ad esempio aria compressa con una piccola quantità di olio speciale, possono essere attuati per agevolare l'evacuazione del truciolo nelle cavità profonde.

Aria compressa



Olio nebulizzato



Nei sistemi di microlubrificazione la quantità di olio nebulizzato è pari a pochi ml per ora e viene evacuata tramite il normale sistema di ventilazione filtrato.

Fluido da taglio



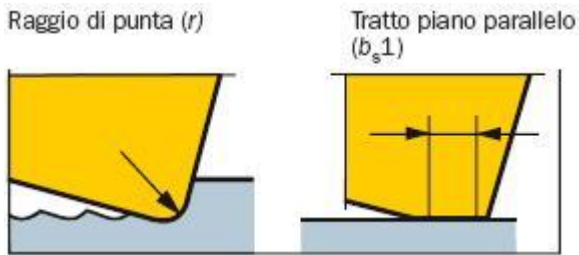
Abbondante flusso interno



Flusso esterno

Se occorre eseguire la fresatura a umido, usare fluido da taglio in abbondanza.

Generazione di superfici



Superficie generata assialmente

Nella spianatura assiale, la superficie è generata dalla "fascetta" parallela, b_s . A seconda della tolleranza assiale e del runout della fresa, l'inserto con la posizione più bassa genererà la finitura superficiale.

Per generare una buona superficie, è importante garantire che l'avanzamento per giro ($f_n = f_z \times z_n$) sia inferiore all'80% di b_s .

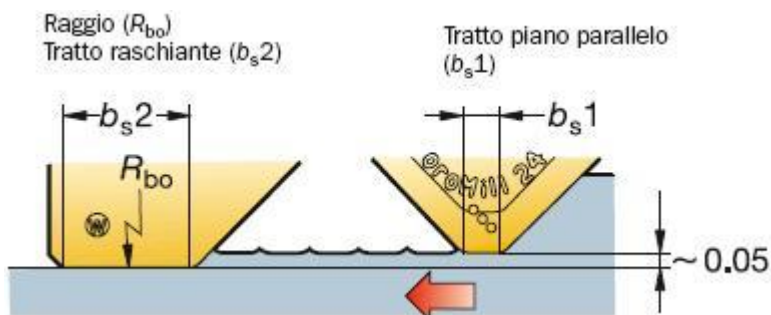
Le frese con passi stretti aumentano l'avanzamento per giro. Maggiore è il diametro della fresa, maggiore è f_n e richiede un maggior valore b_s .

Non appena l'avanzamento per giro eccede la larghezza di questo tratto, il runout assiale della fresa incide sul profilo superficiale.

Per ottenere la miglior finitura superficiale, usare:

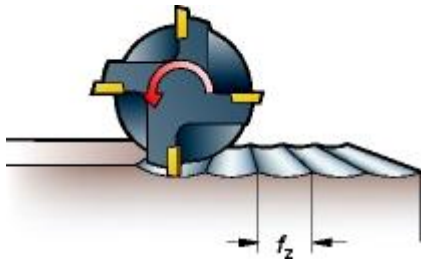
- Inserti raschianti o per fresatura con b_s maggiore almeno del 25% di f_n
- Inserti cermet per finitura a specchio
- Fluido da taglio per evitare l'incollamento.

Gli inserti rotondi, o gli inserti con un grande raggio di punta, sebbene estremamente produttivi, non generano un'elevata qualità superficiale. Maggiore è il diametro della fresa, più scarsa sarà la finitura superficiale.



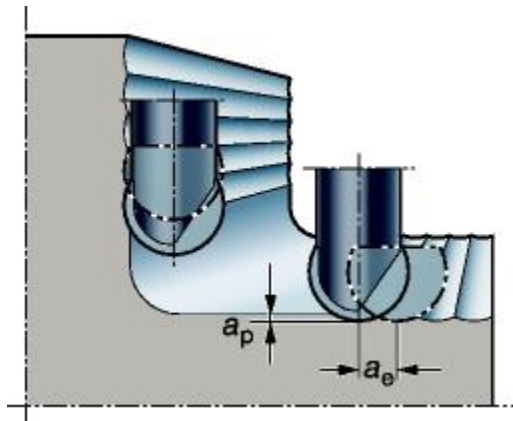
Superficie generata assialmente

Quando si usa una fresa a candela, una fresa per spallamenti o una fresa a disco, si genera una superficie radiale.



Generazione di una superficie sculturata

Quando si usa una fresa a candela con testa sferica, viene generata una superficie sculturata.



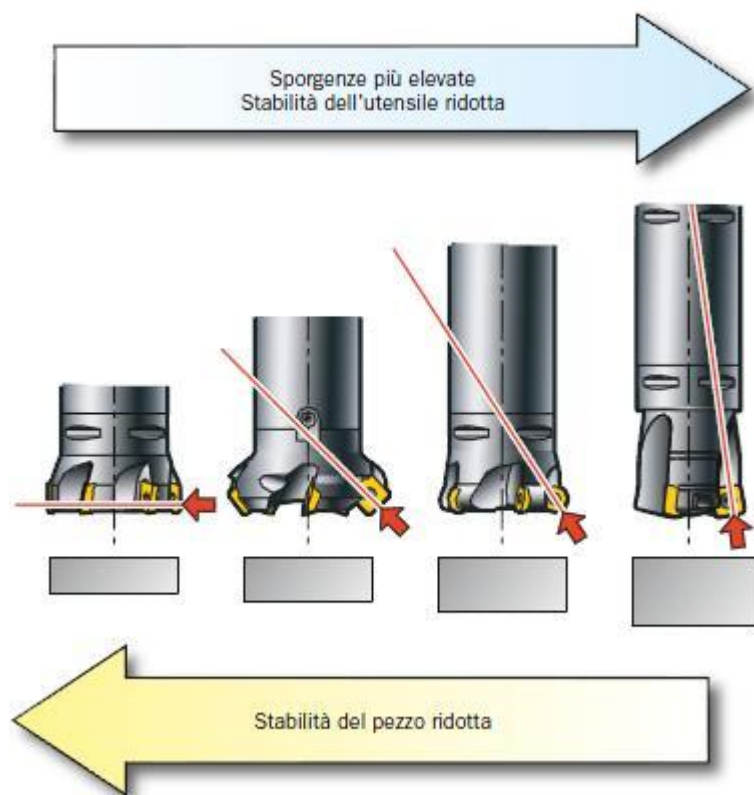
Vibrazione

Come ridurre le vibrazioni

Le vibrazioni possono generarsi a causa delle limitazioni dell'utensile, del portautensile, della macchina, del pezzo o del fissaggio.

L'utensile da taglio

- Per la spianatura, occorre prendere in considerazione la direzione delle forze di taglio:
 - Con una fresa con $\kappa_r 90^\circ$ le forze dominanti si concentrano in direzione radiale. Questo crea una flessione della fresa alle sporgenze elevate, tuttavia, la ridotta forza assiale è vantaggiosa quando si fresano componenti con pareti sottili e sensibili alle vibrazioni.
 - Le frese con $\kappa_r 45^\circ$ generano forze assiali e radiali distribuite uniformemente.
 - Le frese con inserto rotondo dirigono la maggior parte delle forze lungo il mandrino, soprattutto in caso di ridotte profondità di taglio. Inoltre, CoroMill 210 con $\kappa_r 10^\circ$ trasmette le forze principalmente all'interno del mandrino, riducendo le vibrazioni generate da lunghe sporgenze dell'utensile.
- Selezionare il diametro più piccolo possibile per l'operazione
- D_c deve essere del 20-50% maggiore di a_e
- Scegliere una fresa a passo largo e/o differenziato.
- Una fresa dal peso contenuto è vantaggiosa, ad esempio CoroMill Century con corpo in alluminio.

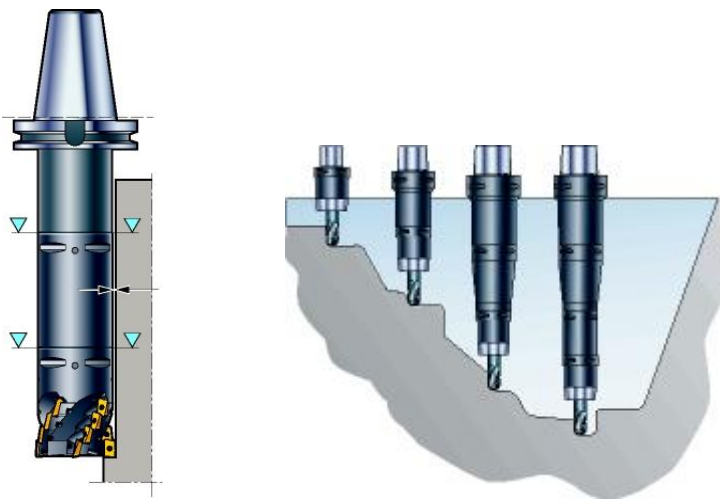


In caso di sporgenze lunghe dell'utensile, usare un piccolo angolo di registrazione = elevata forza di taglio assiale. Con pezzi instabili e dalle pareti sottili, usare un grande angolo di registrazione = ridotta forza di taglio assiale.

Il portautensile

Il sistema di portautensili modulare Coromant Capto® consente di comporre gli utensili alla lunghezza desiderata, mantenendo elevata stabilità e runout minimo.

- Mantenere l'insieme utensile il più corto e rigido possibile.
- Scegliere l'adattatore con diametro/dimensione più grande possibile.
- Usare adattatori Coromant Capto con frese di grandi dimensioni per evitare adattatori di riduzione, vedere la figura.
- Per piccole frese, usare un adattatore conico laddove possibile.
- Nelle operazioni in cui la passata finale avviene nella parte più profonda del componente, passare agli utensili prolungati in posizioni predeterminate, vedere la figura. Adattare i dati di taglio a ciascuna lunghezza utensile.
- Per velocità del mandrino superiori a 20.000 giri/minuto, usare utensili e portautensili bilanciati.



Le frese di grandi dimensioni consentono di usare la dimensione massima dell'accoppiamento.

Impiegare sempre l'utensile con la più piccola lunghezza possibile. Estendere la lunghezza successivamente.

Frese antivibranti Silent Tools

Per sporgenze superiori a 4 volte il diametro dell'utensile, la tendenza alle vibrazioni può diventare evidente. Le frese antivibranti Silent Tools possono aumentare drasticamente la produttività.

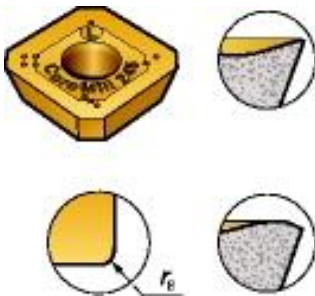


Silent Tools®

Il tagliente

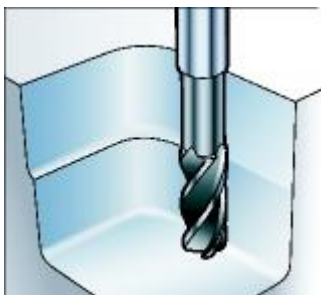
Per ridurre al minimo la forza di taglio:

- Scegliere una geometria di taglio leggera, -L, con un tagliente affilato ed una qualità con un rivestimento sottile.
- Ridurre le forze di taglio usando inserti con piccoli raggi di punta ridotti e tratti piani paralleli.
Talvolta, può essere necessario aggiungere un sistema antisozzamento può ridurre la tendenza alle vibrazioni:
- Usare una geometria del tagliente più negativa ed un tagliente leggermente "usurato".



Programmazione dei dati di taglio e del percorso dell'utensile

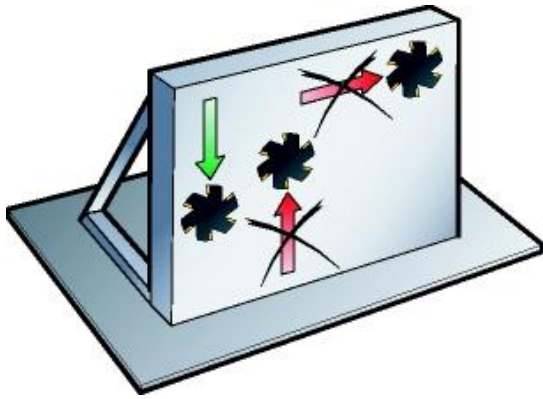
- Posizionare sempre il tagliente in posizione non centrata rispetto alla superficie fresata.
- Con frese per contornatura con κ_r 90° o frese a candela, usare un impegno radiale limitato, max. $a_e = 25\% D_c$ e un elevato taglio assiale, max. $a_p = 100\% D_e$.
- Nella spianatura, usare una profondità di taglio ridotta, a_p , ed un avanzamento elevato, f_z , con inserti rotondi o frese ad elevato avanzamento con piccoli angoli di registrazione.
- Evitare le vibrazioni nei raccordi programmando un ampio raggio del percorso, vedere la sezione
- Se lo spessore del truciolo si riduce troppo, il tagliente striscierà invece di tagliare, causando delle vibrazioni. In questi casi, aumentare l'avanzamento per dente.



La macchina utensile

Le condizioni della macchina possono influire notevolmente sulla tendenza alle vibrazioni. Un'usura eccessiva sul cuscinetto del mandrino o sul meccanismo di avanzamento causa prestazioni di lavorazione insoddisfacenti.

- Scegliere metodi di lavorazione e direzioni della forza di taglio in modo tale da sfruttare appieno la stabilità della macchina.
Ogni mandrino della macchina ha zone naturali soggette a vibrazione. Le zone di taglio stabili sono definite "lobi di stabilità" ed aumentano man mano che aumentano i giri al minuto.
- Anche piccoli aumenti di soli 50 giri/min possono rendere stabile un processo instabile e con vibrazioni.

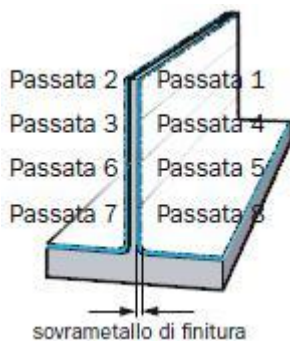


Per fissaggi deboli, direzione di avanzamento verso la tavola della macchina

Pezzo e suo bloccaggio

Nel fresare componenti con parete/base sottile e/o quando il fissaggio è debole:

- Il bloccaggio deve sempre essere vicino alla tavola della macchina.
- Ottimizzare il percorso dell'utensile e la direzione di avanzamento verso il nodo più forte della macchina/bloccaggio per ottenere le condizioni di taglio più stabili possibile.
- Evitare la lavorazione in direzioni in cui il pezzo è scarsamente supportato.
- La fresatura discorde può ridurre la tendenza alle vibrazioni nei casi in cui bloccaggio e/o pezzo siano deboli in una direzione specifica.



Si noti che la prima passata deve essere eseguita a metà profondità della seconda, terza, ecc.

Fresatura di acciaio

- Suggestioni applicativi



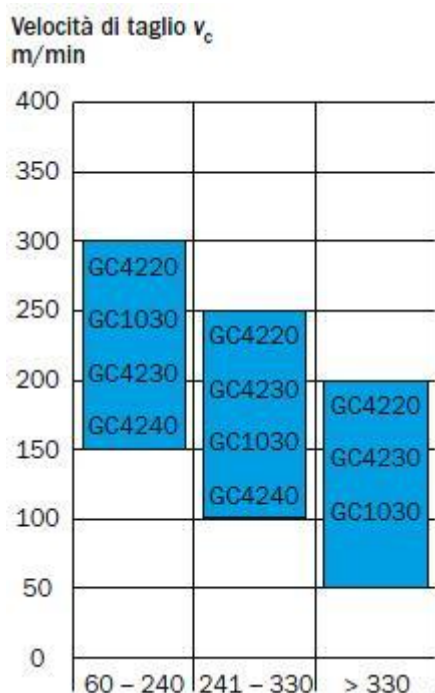
La lavorabilità dell'acciaio varia a seconda degli elementi leganti, del trattamento termico e del processo di fabbricazione (forgiatura, fusione, ecc.)

Problemi principali

- Negli acciai dolci, a basso tenore di carbonio, la formazione di tagliente di riporto e di bave sono i problemi principali.
- Negli acciai più duri, il posizionamento della fresa diventa più importante per evitare la scheggiatura.

Frese ed inserti adatti

- La maggior parte delle frese CoroMill è adatta alla lavorazione dell'acciaio ed è disponibile con un'ampia gamma di qualità e geometrie di inserti.
- Si noti che CoroMill Century (con corpo in acciaio) e CoroMill 790, originariamente sviluppati per l'alluminio, offrono prestazioni molto buone anche per la finitura dell'acciaio con le qualità GC1010 e GC1030.
- Gli unici utensili non adatti all'acciaio sono le frese AUTO specifiche per la ghisa grigia.
- Geometrie PL, PM, PH e WL, WM, WH
- La serie GC4200 di qualità con rivestimento MT-CVD sono la scelta di base. Tuttavia, per frese con diametro inferiore a D_c 32 mm e per frese per spallamenti, $\kappa=90^\circ$, la qualità GC1030 è la scelta prioritaria.
- Per gli acciai più duri, usare le qualità GC1030 e GC1010.

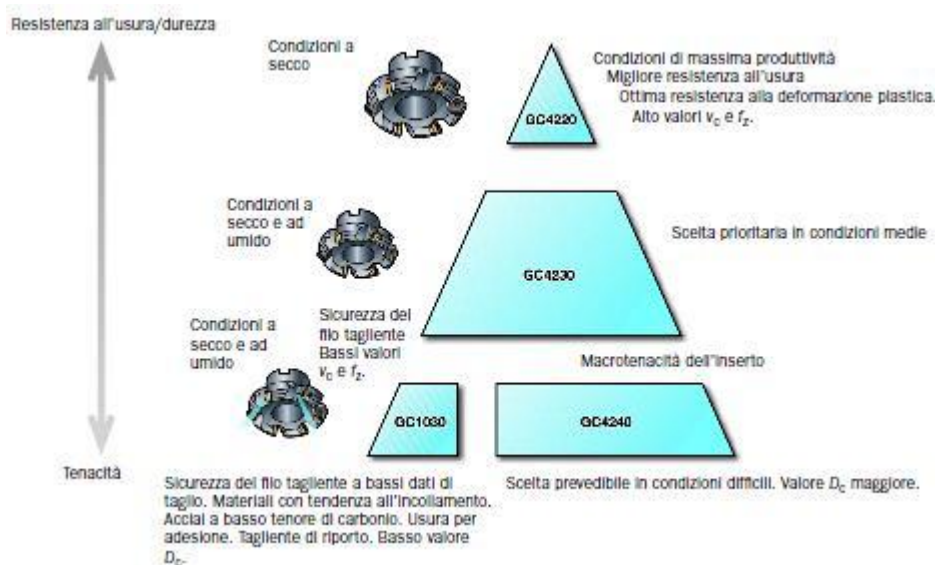


Consigli su velocità di taglio e qualità in base alla durezza del materiale

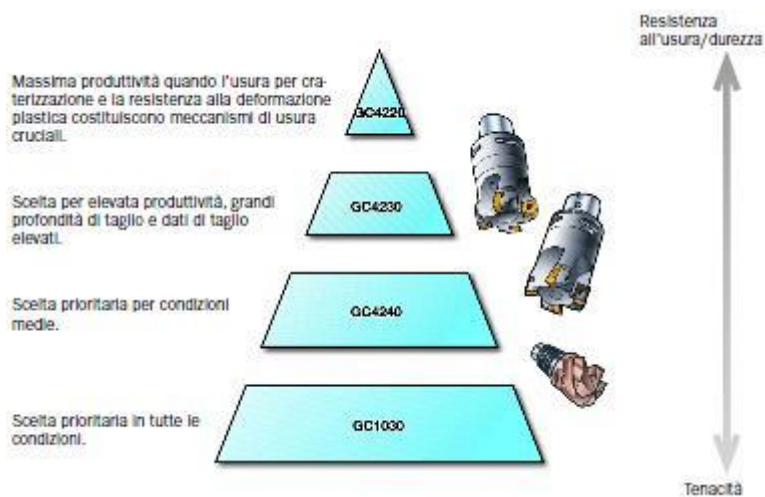
Suggerimenti applicativi

Le raccomandazioni, quali il posizionamento della fresa per evitare trucioli di elevato spessore in uscita o l'indicazione di fresare sempre a secco, senza fluido da taglio, devono essere sempre tenute a mente, soprattutto nelle operazioni di sgrossatura.

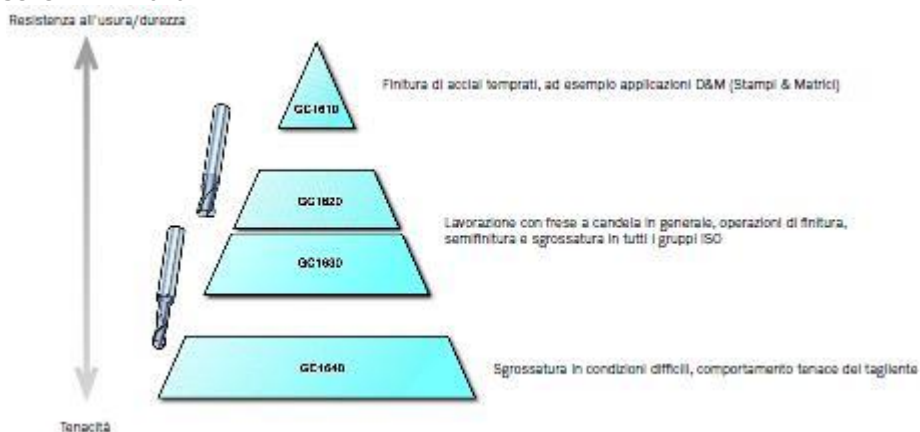
Linee guida per l'impiego delle qualità nelle operazioni di spianatura



Linee guida per l'impiego delle qualità nella fresatura a candela con CoroMill® 490, CoroMill® 390, CoroMill® 316

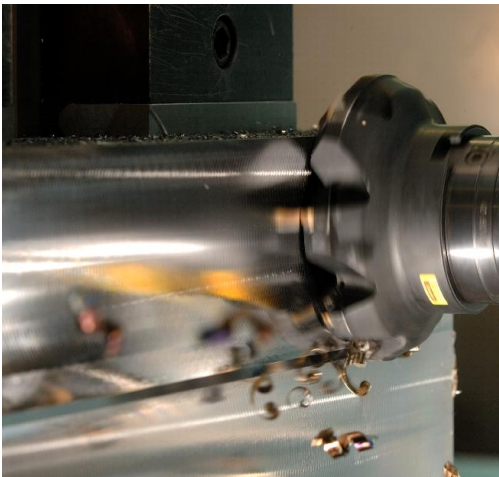


CoroMill® Plura



Fresatura di acciaio inossidabile

- Ferritico/martensitico
- Acciaio inossidabile austenitico e duplex
- Suggerimenti applicativi



La lavorabilità dell'acciaio inossidabile varia a seconda degli elementi leganti, del trattamento termico e del processo di fabbricazione (forgiatura, fusione, ecc.)

Ferritico/martensitico

Classificazione del materiale: P5.x

Gli acciai inossidabili ferritici e martensitici ricotti hanno una lavorabilità comparabile a quella degli acciai debolmente legati, pertanto è possibile fare riferimento alle indicazioni di lavorazione per la fresatura dell'acciaio.

		
<i>Microfessurazioni termiche dovute al fluido da taglio</i>	<i>Scheggiatura sull'inserto.</i>	<i>Formazione di bave e finitura superficiale insoddisfacente.</i>

Acciaio inossidabile austenitico e duplex

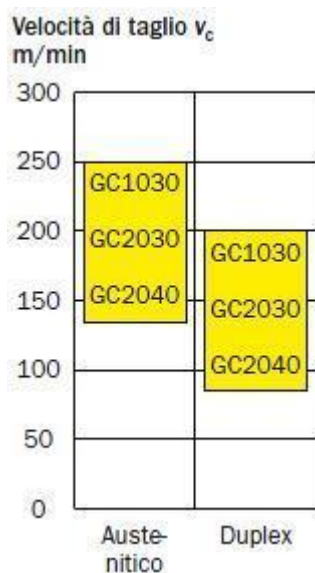
Classificazione del materiale: M1.x, M2.x e M3.x

Problemi principali

- I criteri di usura dominanti in caso di fresatura di acciai inossidabili austenitici e duplex sono: scheggiatura dei taglienti dovuta a microfessurazioni termiche, usura ad intaglio e tagliente di riporto/incollamento.
- Sul componente, la formazione di bave e la finitura superficiale sono i problemi principali.

Frese ed inserti adatti

- La maggior parte delle frese CoroMill può essere usata con acciai inossidabili austenitici e duplex semplicemente scegliendo una geometria ed una qualità dell'inserto specifici.
- Nella spianatura, CoroMill 245 e CoroMill 300 sono più adatte di CoroMill 345 e CoroMill 200, grazie alla geometria di taglio più positiva.
- Usare frese con inserti rotondi o angoli di registrazione piccoli per ridurre al minimo l'usura ad intaglio.
- Usare geometrie d'inserto positive (-ML, -WL).
- GC2030 (PVD) è la scelta prioritaria.
- GC2040 (MT-CVD) è la qualità complementare per le condizioni difficili e l'acciaio inossidabile, dove è preponderante l'usura abrasiva.
- GC1030 (PVD) è la scelta universale per la produzione mista (ISO P, M e S)
- Qualora compaiano microfessurazioni termiche, passare ad una qualità più dura/resistente all'usura, ad esempio da GC2040 a GC2030.
- Per CoroMill Plura, la qualità GC1630 è la scelta di base e GC1640 è una scelta complementare in caso di maggiori esigenze di tenacità e necessità di fluido da taglio interno.



Suggerimenti applicativi

Sgrossatura

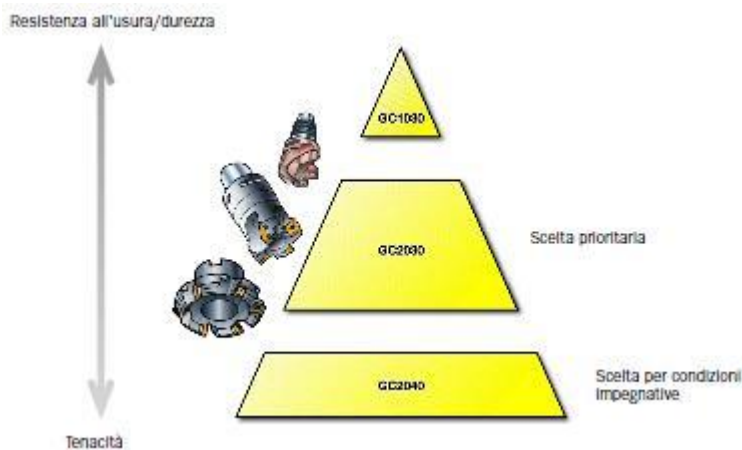
- Usare elevate velocità di taglio ($v_c = 150-250$ m/min) per evitare la formazione di tagliente di riporto.

- Nella sgrossatura, lavorare sempre a secco, senza fluido da taglio, per ridurre al minimo i problemi di microfessurazione termica.

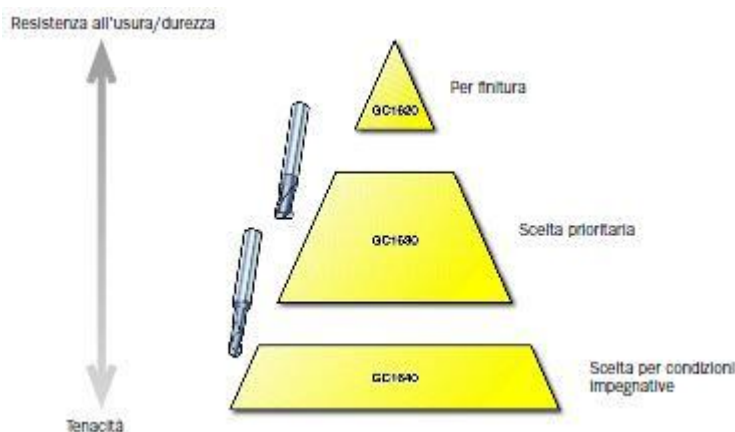
Finitura

- Nella finitura, il fluido da taglio, o preferibilmente refrigerante nebulizzato/lubrificazione minimale, sono talvolta necessari per migliorare la finitura superficiale. Vi sono meno problemi relativi alle microfessurazioni nella fresatura di finitura, poiché il calore generato nella zona di taglio è minore.
- Con una qualità Cermet, CT530, è possibile ottenere una finitura superficiale sufficiente senza fluido da taglio.
- Un avanzamento, f_z , troppo ridotto può provocare una maggiore usura dell'inserto poiché il tagliente asporta il truciolo nella zona incrudita dalla deformazione.

Frese ad inserti multitaglienti CoroMill®



CoroMill® Plura



Fresatura di ghisa

- Ghisa grigia
- Suggerimenti applicativi
- Ghisa nodulare
- Ghisa a Grafite Compatta (CGI)
- Ghisa Nodulare Austemperata (ADI)



La ghisa può essere suddivisa nelle seguenti tipologie: malleabile, grigia, nodulare, Ghisa a Grafite Compatta (CGI), Ghisa Nodulare Austemperata (ADI).

Ghisa grigia

Classificazione del materiale: K2.x

Problemi principali

- I criteri di usura predominanti nella fresatura di ghisa grigia sono l'usura abrasiva sul fianco e le microfessurazioni termiche.
- Sul componente, le scheggiature sul lato di uscita della fresa del pezzo ed i problemi di finitura superficiale sono i principali inconvenienti.

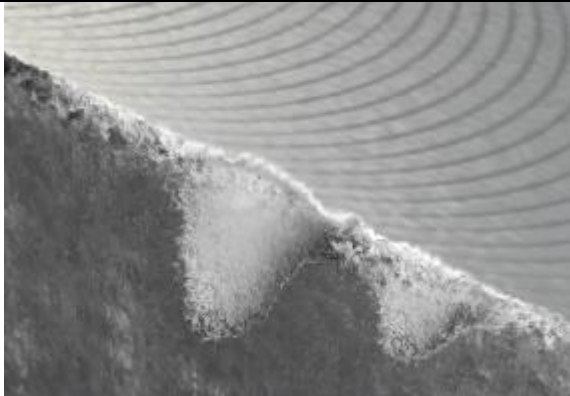
Frese ed inserti adatti

Esistono diverse frese sviluppate principalmente per la fresatura di ghisa grigia:

- Fresa generica CoroMill 365.
- Fresa per sgrossatura AUTO R
- Fresa regolabile per finitura AUTO-AF
- Fresa non regolabile per finitura AUTO-FS. In alternativa, sono disponibili le cassette CoroMill 245 per i corpi di frese AUTO-AF.
- Gli inserti raschianti, sono disponibili per tutte le frese sopra illustrate.
- Anche la maggior parte delle altre frese CoroMill può essere usata con la ghisa grigia: è sufficiente scegliere geometria e qualità specifiche.
- CoroMill 345 è una buona scelta per la produzione mista di acciaio e ghisa.
- Usare geometrie K, -KL, -KM, -KH e -KW (raschiante).

- Per consigli sulle qualità per le frese con inserti multitaglienti, vedere i Suggerimenti applicativi indicati di seguito.
- Per le frese a candela integrali in metallo duro CoroMill Plura, la qualità GC1620 e per CoroMill 316 la qualità GC1030, sono le scelte di base.



	
Usura tipica dell'inserto	Scheggiature sul componente

Suggerimenti applicativi

Sgrossatura

- Lavorare preferibilmente a secco, senza fluido da taglio, per ridurre al minimo i problemi di microfessurazione termica. Usare inserti di metallo duro con rivestimenti di elevato spessore. GC3040 è la scelta prioritaria e GC3220 ottimizzata per le velocità più alte.
- Se la sbordatura del pezzo è un problema
 - controllare l'usura sul fianco
 - ridurre l'avanzamento, f_z , per ridurre lo spessore del truciolo.
 - usare una geometria più positiva, -KL
- Se occorre usare fluido da taglio per evitare polvere e problemi analoghi, scegliere le qualità per la fresatura ad umido. K20W è la scelta di base e K15W e GC3040 sono qualità complementari.
- Il metallo duro rivestito è sempre la scelta prioritaria, ma è possibile anche usare la ceramica (CC6190). Si noti che la velocità di taglio, v_c , deve essere molto elevata, superiore a 800 m/min. La formazione di bave sul pezzo limita la velocità di taglio. Non utilizzare fluido da taglio.

Finitura

- Usare inserti di metallo duro con rivestimenti sottili oppure un metallo duro senza rivestimento: GC3220 in condizioni a secco e K15 W ad umido.

- Il nitruro di boro cubico (CB50) può essere utilizzato per la finitura ad elevate velocità con ghisa grigia. Non utilizzare fluido da taglio.

Ghisa nodulare

Classificazione del materiale: K3.x

Ghisa nodulare ferritica e ferritica/perlitica

La lavorabilità della ghisa nodulare ferritica è molto simile a quella dell'acciaio debolmente legato. Pertanto, devono essere seguiti i consigli sulla fresatura forniti per i materiali ISO P in merito alla selezione di utensili, geometrie geometrie e qualità degli inserti. La qualità di scelta prioritaria è GC1020.

Ghisa nodulare perlitica

È più abrasiva, pertanto sono consigliate le qualità ISO K.

Ghisa a Grafite Compatta (CGI)

Classificazione del materiale: K4.x

Contento perlitico inferiore al 90%

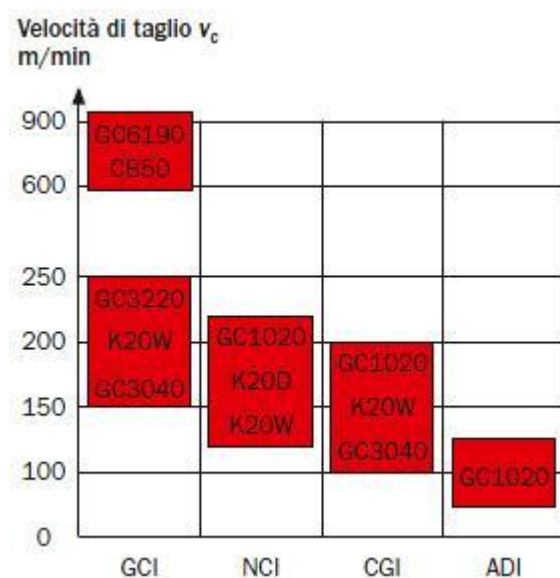
Questo tipo di CGI, che spesso ha una struttura perlitica dell'80% circa, è il più comunemente soggetto a fresatura. Componenti tipici sono blocchi motore, teste del cilindro e collettori di scarico.

I consigli relativi alla fresa sono gli stessi della ghisa grigia. Tuttavia, è opportuno selezionare geometrie dell'inserto più affilate e positive, ad esempio -KX e -KL per frese AUTO-R per ridurre al minimo la formazione di bave sul componente.

La qualità di scelta prioritaria è GC1020.

GC1020 è la scelta di base per le condizioni sia a secco sia ad umido. Un'alternativa per le condizioni a secco è K20D e K20W per le condizioni ad umido.

La fresatura circolare può essere un ottimo metodo alternativo rispetto alla barenatura convenzionale nella CGI.



Ghisa Nodulare Austemperata (ADI)

Classificazione del materiale: K5.x

La sgrossatura viene normalmente eseguita in condizioni non temprata e può essere raffrontata alla fresatura di un acciaio fortemente legato.

L'operazione di finitura, tuttavia, viene eseguita sul materiale temprato, che è molto abrasivo. Questa operazione è paragonabile alla fresatura di acciai temprati, ISO H. Le qualità con elevata resistenza all'usura abrasiva sono preferibili. GC1020 è la scelta prioritaria per le condizioni a secco e ad umido; la qualità complementare per materiali ADI più duri è GC1010.

Rispetto all'NCI, la durata del tagliente dei materiali ADI è ridotta a circa il 40% e le forze di taglio sono del 40% circa maggiori.

Fresatura di alluminio

- Alluminio con contenuto di Si inferiore a 13%
- Suggerimenti applicativi



CoroMill 790 specifica per alluminio.

La lavorabilità dell'alluminio si differenzia soprattutto in base al contenuto di Si. Il tipo ipoeutettico è il più comune, con un contenuto di Si inferiore al 13%.

Il gruppo di materiali ISO N comprende non solo l'alluminio, ma anche leghe a base di magnesio, rame e zinco.

Alluminio con contenuto di Si inferiore a 13%

Classificazione del materiale: N1.1-3

Problemi principali

- I criteri di usura principali riguardano il tagliente di riporto/l'incollamento sui taglienti, che provocano la formazione di bave e problemi di finitura superficiale.
- Nell'alluminio fuso, l'inclusione di sabbia può talvolta essere un problema.
- Una buona formazione ed evacuazione del truciolo sono fondamentali per evitare segni di graffiature sulla superficie del componente.

Frese adatte

Le frese sviluppate principalmente per la fresatura dell'alluminio sono:

- CoroMill Century
- CoroMill 790
- CoroMill Plura R216.32, R216.33 e R216.42

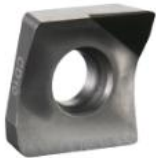
La maggior parte delle altre frese CoroMill può essere usata con l'alluminio: è sufficiente scegliere geometria e qualità specifiche.

Scegliere geometrie dell'inserto positive con taglienti affilati.

- Usare qualità di metallo duro non rivestito (H13A, H10) quando il contenuto di Si è inferiore all'8% circa.
- Quando il contenuto in Si è al di sopra dell'8% circa, gli inserti PCD (CD10) normalmente forniscono migliori riduzioni di costo della lavorazione.



CoroMill Century per spianatura dell'alluminio.



PCD-tipped insert, CoroMill Century Inserto con riporto di PCD, CoroMill Century

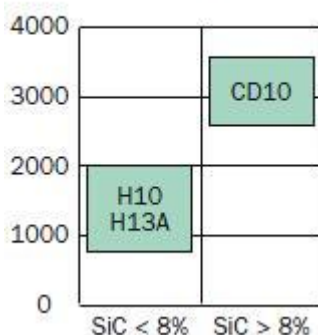
Suggerimenti applicativi

- A differenza della maggior parte delle altre applicazioni di fresatura, il fluido da taglio deve sempre essere usato nel caso dell'alluminio per evitare l'incollamento sui taglienti dell'inserto e per migliorare la finitura superficiale.
- Una velocità di taglio maggiore generalmente migliora le prestazioni e non incide negativamente sulla durata del tagliente.
- Si consiglia un valore h_{ex} di 0,10-0,20 mm. Valori troppo bassi possono causare la formazione di bave.

Avvertimento: assicurarsi che i giri al minuto massimi della fresa non siano superati!

- A causa degli elevati avanzamenti della tavola, è opportuno usare una macchina con funzione "look ahead" per evitare errori dimensionali.
- La durata del tagliente è sempre limitata dalla formazione di bave o dalla finitura superficiale del componente. L'usura dell'inserto è difficile da usare come criterio della durata del tagliente.

Velocità di taglio v_c m/min



Fresatura di HRSA e titanio

- Consigli generali - validi sia per HRSA che leghe di titanio
- Frese con inserti in ceramica per sgrossatura di HRSA



Le Superleghe Resistenti al Calore (HRSA) possono essere classificate in tre gruppi: leghe a base di nichel, di ferro e di cobalto. Il titanio può essere puro o in lega. Sia le superleghe HRSA sia il titanio hanno una scarsa lavorabilità, soprattutto in condizione di invecchiamento, pertanto gli utensili da taglio devono avere caratteristiche specifiche.

Consigli generali - validi sia per HRSA che leghe di titanio

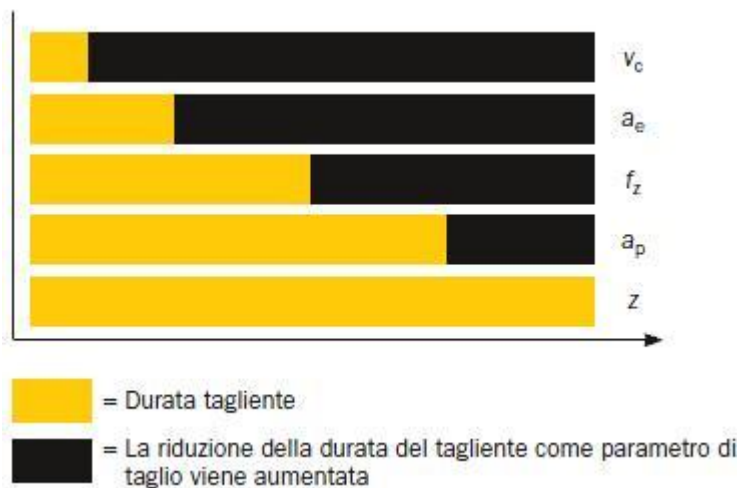
Usare frese con inserto rotondo per ridurre al minimo l'usura ad intaglio	Permanenza nel taglio	a_e 30% di D_c

Problemi principali

- La fresatura di HRSA e titanio spesso richiede macchine con un'elevata rigidità, elevata potenza e coppia a bassi giri al minuto.
- Usura ad intaglio e scheggiatura sono i tipi di usura più comuni.
- L'elevata generazione di calore limita la velocità di taglio.

Frese ed inserti adatti

- Usare frese con inserti rotondi (CoroMill 300, CoroMill 200) quando è possibile per aumentare l'effetto di assottigliamento del truciolo.
- La fresa a tagliente lungo CoroMill 690 è ottimizzata per la lavorazione del titanio. Per profondità di taglio inferiori a 5 mm, l'angolo di registrazione deve essere inferiore a 45°. In pratica, è consigliato un inserto rotondo con spoglia superiore positiva.
- La precisione della fresa in direzione sia radiale sia assiale è essenziale per mantenere un carico del dente costante ed un'operazione priva di inconvenienti e per prevenire la rottura prematura dei singoli denti della fresa.
- La geometria del tagliente deve sempre essere positiva con un arrotondamento del tagliente ottimizzato, per evitare l'adesione del truciolo nel punto in cui il tagliente esce dal taglio
- Il numero di denti di taglio che si trovano effettivamente nel taglio durante il ciclo di fresatura deve essere più alto possibile. Questo garantisce una buona produttività in condizioni di stabilità. Usare frese a passo stretto.

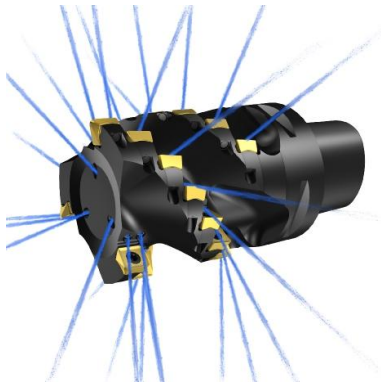


I cambiamenti incidono in modo diverso sulla durata del tagliente; la velocità di taglio, v_c , ha l'influenza maggiore, seguita da a_e , ecc.

Fluido da taglio

A differenza della fresatura nella maggior parte degli altri materiali, è sempre consigliato un refrigerante che agevoli la rimozione del truciolo, controlli il calore del tagliente ed eviti la rimacinazione dei trucioli. Un refrigerante ad alta pressione (70 bar) applicato attraverso mandrino/utensili è sempre preferibile rispetto ad un refrigerante esterno a bassa pressione.

Eccezione: il fluido da taglio non deve essere applicato in caso di fresatura con inserti ceramici, a causa dello shock termico.



CoroMill 690

Il fluido da taglio che scorre attraverso la fresa è vantaggioso quando si usano inserti di metallo duro

Usura inserto/utensile

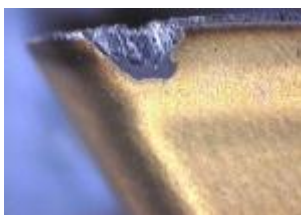
Le due cause più comuni di sostituzione dell'utensile e di finitura superficiale insoddisfacente sono:

- Eccessiva usura sul fianco e sgretolamento del filo tagliente.
- Usura ad intaglio.
- La soluzione migliore consiste nel riposizionare i taglienti ad intervalli frequenti, per garantire un processo affidabile.
- L'usura sul fianco intorno al tagliente non deve superare 0,2 mm per una fresa con angolo di registrazione di 90 gradi, come CoroMill 490, o un massimo di 0,3 mm per gli inserti rotondi.

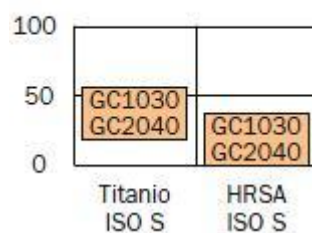
Qualità e geometrie consigliate

- GC2040 per sgrossatura e condizioni difficili
- GC1030 per semisgrossatura e finitura
- Usare geometrie positive, come -ML e -PL
- GC1620 è la scelta di base per le frese a candela integrali di metallo duro

CoroMill Plura



Velocità di taglio v_c
m/min



Usura tipica dell'inserto

Frese con inserti in ceramica per sgrossatura di HRSA

- La fresatura con inserti in ceramica normalmente avviene ad una velocità da 20 a 30 volte superiore rispetto alla velocità del metallo duro, sebbene a velocità di avanzamento minori ($\sim 0,1$ mm/dente), con guadagni produttivi elevati. Dato il taglio interrotto, si tratta di un'operazione che genera meno calore della tornitura. Per questo motivo, in caso di fresatura sono adottate velocità di 700-1000 m/min rispetto a 200-300 m/min per la tornitura.
- La ceramica ha un'elevata tendenza all'usura ad intaglio: ecco perché vengono usati prevalentemente inserti rotondi, per garantire un angolo di registrazione piccolo.
- Non usare mai refrigerante.
- Le ceramiche hanno un effetto negativo sull'integrità e topografia superficiale e pertanto non sono utilizzate in caso di lavorazione che si avvicini alla forma finale del componente finito.
- L'applicazione principale per la qualità CC6060 (sialon) è la fresatura di motori ottenuti per fusione; per Inconel 718 la fresatura di equipaggiamenti per applicazioni in campo petrolifero; in entrambi i casi per gli elevati volumi di asportazione truciolo.
- L'usura sul fianco massima quando si usano inserti in ceramica con HRSA è pari a 0,6 mm.
- Gamma di frese – Rivolgersi al proprio specialista Sandvik Coromant locale per l'ordinazione.



Fresa con inserto in ceramica per HRSA.

Nota:

- gli inserti in ceramica NON sono consigliati per il titanio
- Il fluido da taglio NON deve essere usato con inserti in ceramica.

Fresatura di acciaio temprato

- Frese adatte
- Suggerimenti applicativi



Questo gruppo contiene gli acciai temprati e rinvenuti con durezza >45 – 65 HRC.

Tipici componenti fresati comprendono:

- Inserti di acciaio per stampi imbutitura
- Matrici in plastica
- Stampi per forgiatura
- Stampi per fusione
- Pompe carburante

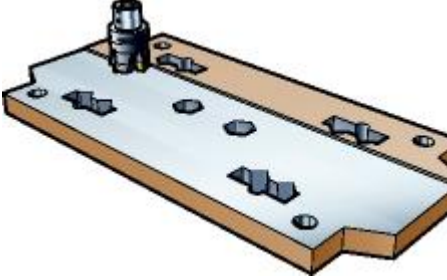
Problemi principali

- Usura abrasiva sul fianco dell'inserto.
- Sbordatura del pezzo.

Frese adatte

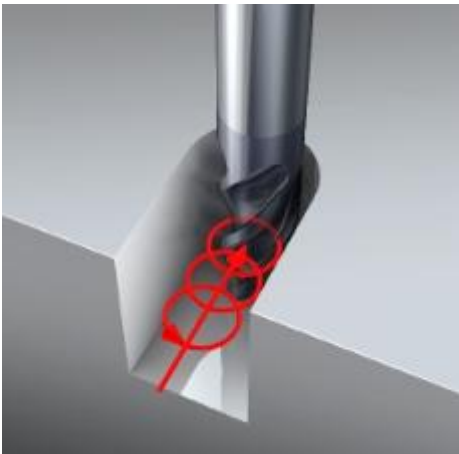
- La maggior parte delle altre frese CoroMill può essere usata per l'acciaio temprato: è sufficiente scegliere geometria e qualità specifiche.
- Usare geometrie di inserti positive con taglienti affilati. Questo riduce le forze di taglio e produce un'azione di taglio più "dolce".
- La qualità GC1010 è ottimizzata per gli acciai duri.
- GC1030 è la scelta complementare per condizioni instabili, come ad esempio nella sgrossatura di materiali saldati.

- Per la finitura con CoroMill Plura, scegliere la qualità GC1610.
La qualità CBN CB50 può essere usata per le operazioni di finitura.

		
<i>Stampi per imbutitura</i>	<i>La qualità GC1010 è ottimizzata per gli acciai duri</i>	<i>Alloggiamento ingranaggio</i>

Suggerimenti applicativi

- Lavorare a secco, evitare il fluido da taglio.
- La fresatura trocoidale è un metodo adatto che consente elevati avanzamenti della tavola uniti a basse forze di taglio, generando così temperature su tagliente e pezzo contenute, favorevoli per la produttività, la durata del tagliente e le tolleranze del componente.
- La strategia di lavorazione "leggera ma rapida" deve essere applicata anche nella spianatura (piccole profondità di taglio), sia a_e ed a_p . Usare una fresa a passo stretto e velocità di taglio relativamente alte.



Fresatura trocoidale

Precauzioni di sicurezza

- I trucioli sono molto caldi e hanno spigoli taglienti, pertanto non devono essere rimossi a mani nude. I trucioli possono provocare ustioni alla pelle e danni agli occhi.
- Verificare che l'inserto e il componente siano bloccati correttamente nei rispettivi attacchi, onde evitare che si "liberino" durante l'uso. Una sporgenza eccessiva può provocare vibrazioni e la rottura dell'utensile.
- Utilizzare ripari di sicurezza appropriati, oppure "schermare" la macchina in modo tale da raccogliere le particelle che potrebbero venire proiettate, come trucioli o elementi di taglio che potrebbero staccarsi.
- Assicurarsi che la macchina abbia potenza e coppia necessari per operazioni di sgrossatura, grandi profondità di taglio o grandi diametri.

Attenzione! Rotazione max. mandrino

Con un numero di giri/minuto elevato, il peso dell'inserto e degli elementi di bloccaggio aumenta, il che può influire sulla sistemazione dell'intero bloccaggio. È consigliabile eseguire tutte le lavorazioni ad alta velocità con un set-up della macchina che garantisca un'elevata protezione.

Prima di procedere al montaggio, assicurarsi che l'inserto e la sua sede siano in ottime condizioni, privi di bave o di qualsiasi altra particella che possa influire negativamente sull'intero sistema di fissaggio.

Il corretto bloccaggio dell'inserto si ottiene serrando la vite da 16 mm con una coppia di 2 Nm e l'inserto da 22 mm con una coppia di 5 Nm.

Nota: Un inserto di 19 g pesa 350 kg a 37.500 giri/minuto.

Presentazione delle applicazioni

Fresatura di spallamenti



Spianatura



Profilatura



Fresatura di cave



Fori e cavità



Fresatura di spallamenti



- 1. Fresatura di spallamenti
- 2. Contornatura - Fresatura periferica
- 3. Fresatura di spallamenti in pareti sottili e tendenti

Fresatura di spallamenti

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi
- Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione



La fresatura di spallamenti genera due facce contemporaneamente, pertanto è richiesta una combinazione di fresatura periferica e spianatura.

Ottenere uno spallamento corretto, a novanta gradi, è uno dei requisiti più importanti.

La fresatura di spallamenti può essere eseguita usando frese per spallamenti retti tradizionali o anche frese a candela, frese per contornatura e frese a disco. Viste le diverse opzioni disponibili, è essenziale prendere attentamente in considerazione i requisiti operativi per compiere una scelta ottimale.

Scelta degli utensili

Fresatura di spallamenti

	CoroMill® 490	CoroMill® 390	CoroMill® 290	CoroMill® Century	CoroMill® 331
					
Dia. fresa (D_f), mm	20 – 80	40 – 200	40 – 250	40 – 200	80 – 315
Max. profondità di taglio (a_p), mm	5,5	15,7	10,7	10	10,6
Spallamento di 90° effettivi	+++	++	+	+	++
Materiale					

Frese per spallamenti

Le frese per spallamenti e spianatura tradizionali sono spesso in grado di eseguire spallamenti a 90° effettivi, poco profondi.

- La fresa di scelta prioritaria è CoroMill 490, precisa e con taglio leggero. Questa fresa offre la precisione necessaria per la fresatura di spallamenti più profondi effettuando passate ripetute con cuspidi molto limitate.
- La gamma di prodotti per frese CoroMill 390 comprende un'ampia varietà di inserti, in particolare una serie completa di inserti con raggi di punta, che contribuiscono al suo successo come fresa per uso generale. È inoltre la fresa di scelta prioritaria per la fresatura di spallamenti poco profondi nelle lavorazioni pesanti.
- CoroMill Century è la fresa di scelta prioritaria per la finitura ad elevate velocità dell'alluminio, ma è anche adatta alla fresatura di altri materiali.
- Molte frese per spallamenti e spianatura sono frese universali e possono essere usate in modo vantaggioso per l'esecuzione di fori. Rappresentano una buona alternativa alle frese per spianatura per lavorare superfici con flessione assiale o per lavorare vicino a facce verticali.
- La fresa a disco CoroMill 331 è un utensile per l'esecuzione di cave che può anche essere utilizzato proficuamente anche per la fresatura di spallamenti ampi e poco profondi. Può inoltre essere usato per alcune operazioni di fresatura speciali, come la lamatura in tirata.

Fresatura di spallamenti – Frese a candela

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 490	CoroMill® 390	CoroMill® 390 antivibrante	CoroMill® 790
						
Dia. fresa (D_f), mm	10 – 20	10 – 25	20 – 80	12 – 40	20 – 40	25 – 100
Max. profondità di taglio (a_p), mm	38	11	5.5	15.7	10	12 / 18
Spallamento di 90° effettivi	+++	+++	+++	++	++	++
Materiale						

Frese a candela

Le frese a candela ad inserti multitaglienti e le frese a candela integrali di metallo duro sono buone soluzioni per gli spallamenti che richiedono accessibilità.

- La scelta prioritaria per la fresatura universale è CoroMill 390. Una versione antivibrante consente la lavorazione efficace delle superfici situate in profondità.
- CoroMill 790 è la fresa di scelta prioritaria per la fresatura di materiali non ferrosi.
- Le frese a candela integrali in metallo duro CoroMill Plura sono disponibili in numerosissime versioni per la maggior parte delle condizioni di fresatura.

Fresatura di spallamenti – Frese per contornatura

	Fresa per contornatura CoroMill® 390	Fresa per contornatura CoroMill® 690	Fresa di contornatura Coromant per finitura
			
Dia. fresa (D_f), mm	32 – 200	50 – 100	50 – 80
Max. profondità di taglio (a_p), mm	85	112	150
Spallamento di 90° effettivi			+++
Materiale			

Frese per contornatura

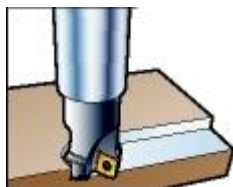
Le frese per contornatura sono spesso usate per la fresatura di spallamenti più profondi.

- La scelta prioritaria per la sgrossatura generale è CoroMill 390; in condizioni stabili, garantisce infatti un'elevata rimozione del metallo.
- CoroMill 690 è la fresa di scelta prioritaria per la fresatura del titanio.
- Tra le frese di questo tipo, la fresa per contornatura di finitura con taglio leggero Sandvik Coromant genera un'ottima finitura superficiale.

Nota: tutte le frese sopra descritte sono in grado di eseguire operazioni di contornatura e fresatura di spallamenti di tipo a "gradini".

Consigli applicativi

Fresatura di spallamenti poco profondi



Questa operazione frequente è normalmente eseguita con frese per spallamenti e spianatura e frese a candela. Un taglio poco profondo consente un maggior taglio radiale.

Spesso queste frese possono sostituire le frese per spianatura, in particolare quando la pressione assiale sul componente costituisce un limite e quando occorre l'accessibilità vicino a facce verticali o a sezioni del sistema di fissaggio.

- Le frese per spallamenti di grandi dimensioni garantiscono massima accessibilità nel caso di spallamenti poco profondi posizionati in profondità.

- Una versione extra robusta della fresa per spallamenti CoroMill 390, in condizioni stabili, è in grado di asportare elevati volumi. Inoltre, è affidabile anche in condizioni difficili, come la fresatura attraverso interruzioni.

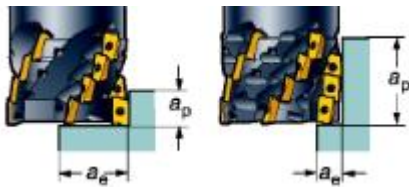
Fresatura di spallamenti profondi

Usare passate ripetute con frese per spallamenti e spianatura e frese a candela

Per ridurre al minimo gli errori superficiali, come "creste" e "spigoli di transizione" tra le diverse passate, una fresa ad elevata precisione in grado di produrre spallamenti a 90° effettivi è assolutamente necessaria.

Se la profondità dello spallamento è inferiore al 75% della lunghezza del tagliente, la qualità della superficie verticale normalmente non richiede passate di finitura extra.

Usare un'unica passata con una fresa per contornatura



La fresa per contornatura è una buona soluzione per applicazioni di fresatura di spallamenti più profondi, più grandi e normalmente più impegnativi:

- Elevata capacità di asportazione del metallo.
- Normalmente usata per la fresatura di sgrossatura, poiché la rugosità superficiale risultante è caratterizzata da fresatura laterale ad elevate velocità di avanzamento.

Queste frese soddisfano le esigenze in termini di:

- Stabilità
- Condizioni del mandrino
- Evacuazione del truciolo
- Portautensile
- Potenza.

Le forze radiali, che sono considerevoli, rendono quest'applicazione una fresatura laterale impegnativa.

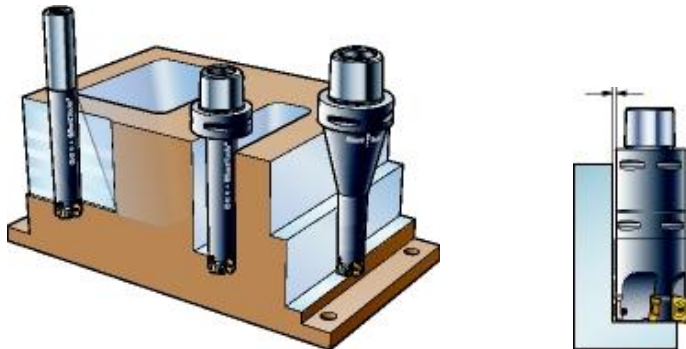
Le frese per contornatura più corte sono adatte per:

- Spallamenti grandi da un punto di vista radiale, ma poco profondi.
- Esecuzione di cave dal pieno ad una profondità pari al diametro, che possa compensare la quota utile di lavoro.

Le versioni più lunghe sono concepite per:

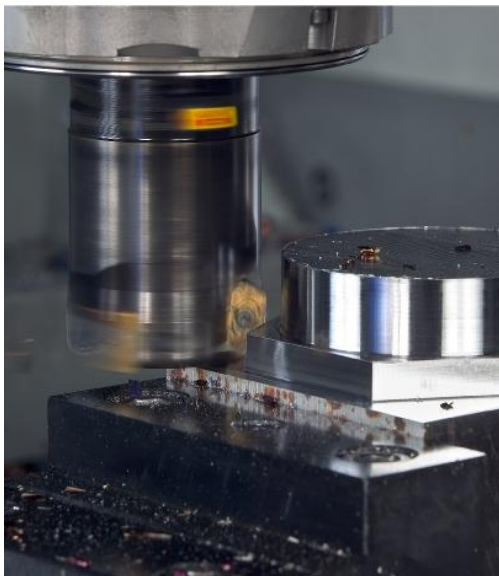
- Fresatura di spallamenti con profondità radiale moderata.
- Contornatura in macchine potenti e stabili.

Fresatura di spallamenti posizionati in profondità



- Le frese per spallamenti di grandi dimensioni garantiscono massima accessibilità nel caso di fresatura di spallamenti poco profondi posizionati in profondità. Per gli spallamenti posizionati a profondità ancora maggiori, usare le estensioni con l'accoppiamento Coromant Capto.
- Le frese per contornatura sono disponibili anche in versioni particolarmente grandi che possono essere utilizzate per spallamenti più profondi, situati in profondità. Tuttavia, le profondità radiali di taglio sono più limitate.

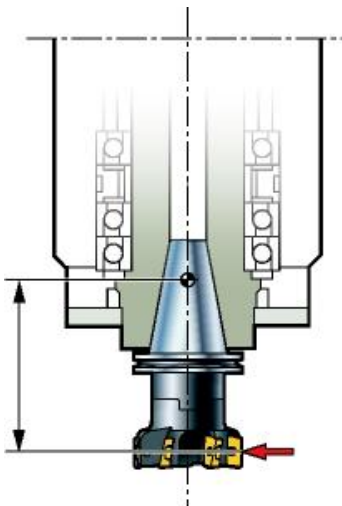
Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione



- La fresatura concorde è sempre la scelta prioritaria e questo è particolarmente importante per la fresatura di spallamenti, dato l'angolo di registrazione a 90°.
- La lavorazione deve essere eseguita in modo da dirigere le forze di taglio verso i punti di appoggio del sistema di fissaggio, a condizione che ciò sia possibile. In alcuni casi, la fresatura discorde può pertanto essere una buona alternativa.
- La selezione del passo della fresa dipende dalla stabilità di tutto il sistema, compresi macchina utensile, pezzo e sistema di bloccaggio, oltre al materiale da lavorare.
- Nelle macchine ISO 40 e nelle macchine più piccole si consiglia l'uso di frese a passo largo, data la stabilità limitata.

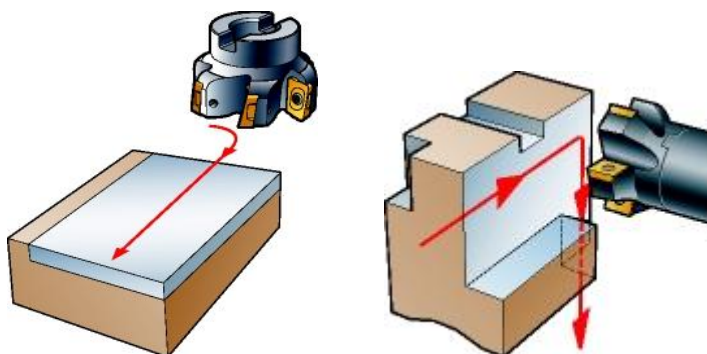
- Le frese a passo largo sono inoltre consigliate per la lavorazione di componenti montati in alto su un sistema di fissaggio a cubo.
- Il posizionamento della fresa sul pezzo è estremamente importante e deve ricevere particolare attenzione.
- Quando $D_c/a_e > 10$, l'avanzamento f_z , deve essere regolato in accordo con il valore h_{ex} per ottenere un buon risultato ed evitare la rottura del tagliente.
- Se la profondità dello spallamento è inferiore al 75% della lunghezza del tagliente, la qualità della superficie verticale normalmente non richiede passate di finitura extra.
- Scegliere una qualità di inserto di metallo duro più tenace rispetto alla spianatura.
- Se sono usate frese per contornatura CoroMill, le condizioni sono molto difficili, pertanto può essere necessaria anche una qualità più tenace.
- Più è profondo il taglio, più è importante scegliere una velocità di taglio inferiore per evitare le vibrazioni.
- Quando si verificano vibrazioni, ridurre v_c e aumentare f_z , controllare in base al valore h_{ex} consigliato!
- Assicurarsi che sia disponibile una potenza della macchina sufficiente per i dati di taglio selezionati.

Portautensili



- Prestare particolare attenzione ai requisiti di potenza quando si eseguono passate piuttosto grandi, soprattutto con le frese per contornatura.
- Il montaggio dell'utensile incide sul risultato della fresatura soprattutto per le frese con diametro più piccolo di 50 mm.
- Maggiore è la profondità di taglio, maggiore è l'importanza della dimensione e della stabilità dell'accoppiamento, poiché le forze radiali quando si usano frese per spallamenti e spianatura, in particolare frese per contornatura, sono considerevoli.
- Gli accoppiamenti Coromant Capto garantiscono la massima stabilità e la minima flessione per tutti i tipi di fresa, fattori particolarmente importanti con utensili lunghi o prolungati.

Entrata nel taglio in interpolazione

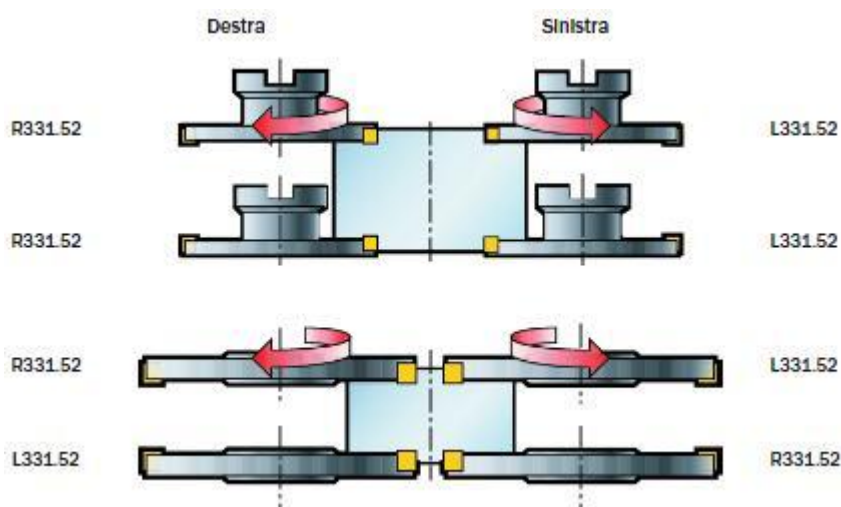


- L'entrata graduale nel taglio è essenziale per evitare vibrazioni e garantire una lunga durata del tagliente, soprattutto quando si fresano spallamenti.
- Programmare la fresa affinché entri nel taglio in interpolazione; generare sempre uno spessore del truciolo in uscita pari a zero. Queste due misure garantiscono avanzamenti più elevati e maggiore durata del tagliente.
- Questo metodo è particolarmente adatto alle applicazioni in cui la fresatura viene eseguita intorno ad angoli esterni, poiché evita cambiamenti bruschi nel taglio. Per ulteriori informazioni sul metodo di interpolazione in entrata.
- Tenere la fresa impegnata in un taglio continuo.

Fresatura di spallamenti usando frese a disco

Anche le frese a disco sono usate per la fresatura di spallamenti, soprattutto se la configurazione è stretta, ma radialmente larga.

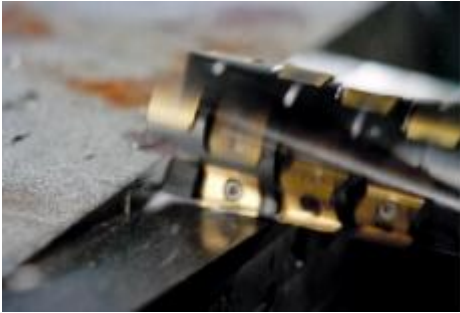
Queste frese sono spesso l'unica soluzione possibile per la lamatura in tirata di spallamenti e facce nascosti.



La scelta giusta di fresa CoroMill 331 per la lamatura e lamatura in tirata in mandrini con rotazione destra e sinistra.

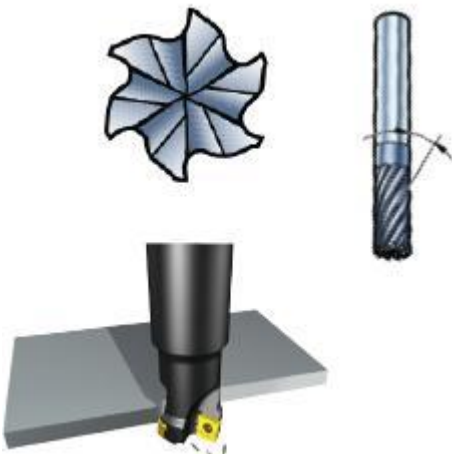
Contornatura - Fresatura periferica

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi
- Checklist e suggerimenti per la corretta applicazione



La lavorazione di un bordo è un'operazione di fresatura laterale attuata con passate di contornatura dell'utensile. La fresatura laterale e la contornatura sono opzioni di fresatura periferica.

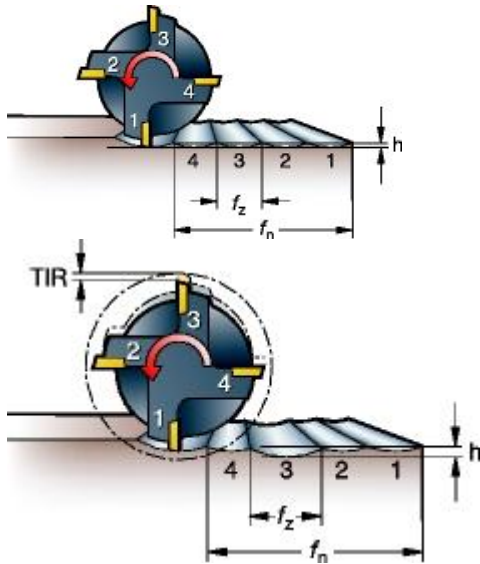
Scelta degli utensili



- Bordi sottili sono generalmente prodotti da frese a candela, mentre bordi più profondi o più spessi sono generati da frese a candela usando passate ripetute di "fresatura per spallamenti", o da frese per contornatura in un'unica passata.
- Gli spallamenti con profondità doppia rispetto al diametro sono lavorati efficacemente con frese per contornatura o frese integrali di metallo duro CoroMill Plura. Per tali spallamenti profondi o bordi di elevato spessore del componente, si consiglia una profondità radiale del taglio pari a 0,5 volte il diametro.
- Le frese a disco possono anche essere usate per la contornatura o la fresatura periferica.
- Un'ampia elica garantisce un numero sufficiente di denti nel taglio ed un'azione di taglio senza problemi per la contornatura a profondità di taglio radiali contenute.
- Una fresa a passo normale o stretto è particolarmente adatta alla contornatura. Questo è vero anche quando vengono fresati bordi più sottili o spallamenti di tipo a "gradini" poco profondi con frese a candela a 90°.

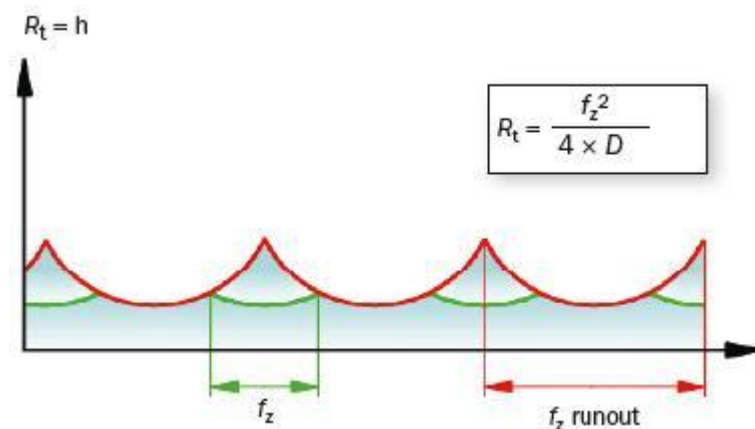
Consigli applicativi

Rugosità superficiale – Generazione radiale



Quando non vi è runout nella fresa, l'altezza della cuspidi h sarà altrettanto alta e può essere calcolata usando la formula soprastante. Quando c'è runout nella fresa, l'avanzamento per dente f_z , e di conseguenza l'altezza della cuspidi h variano a seconda del valore di runout.

Profondità profilo/altezza cuspidi



Come sottolineato, la rugosità superficiale e le tendenze ad un movimento ascendente possono limitare la velocità di avanzamento, soprattutto in presenza di una ridotta profondità di taglio.

Quando si usa il lato di una fresa a candela per eseguire un profilo, viene generata una serie di "cuspidi". L'altezza della cuspidi, - h , è determinata da:

- Diametro della fresa, D_c
- Avanzamento per dente, f_z
- Valore totale di runout letto sul comparatore, (TIR).

Le frese con inserti multitaglienti avranno sempre un valore di runout superiore a quello delle frese integrali di metallo duro. Inoltre, maggiore è il diametro della fresa, maggiore è il numero di denti, e questo aumenta la distanza tra i punti alto e basso della cuspidi.

Per una finitura superficiale ottimale:

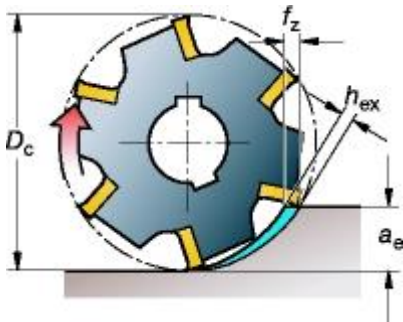
- Usare CoroMill Plura o CoroMill 316 integrale di metallo duro.
- Usare un mandrino idromeccanico ad elevata precisione (CororGrip o HydroGrip) con accoppiamento Coromant Capto.
- Scegliere la soluzione con la sporgenza più piccola possibile.

Consigli sull'avanzamento (non considerare h_{ex}):

- Frese con inserti multitaglienti, valore iniziale $f_z = 0.15$ mm/dente
- Frese integrali di metallo duro, valore iniziale $f_z = 0.10$ mm/dente

Nota: la peggiore qualità superficiale si ottiene se solo un tagliente genera la superficie, a causa del runout insoddisfacente della fresa.

Checklist e suggerimenti per la corretta applicazione



- Un fattore critico nella fresatura periferica è ottenere l'avanzamento per dente adatto, f_z .
- Il valore dell'avanzamento, f_z , deve compensare l'impegno della fresa, che incide sullo spessore del truciolo.
- L'avanzamento per dente, f_z , deve essere moltiplicato per il fattore di correzione.
- Questo genera una maggior velocità di avanzamento con un arco in presa più piccolo, ed allo stesso tempo garantisce che lo spessore del truciolo sia sufficiente.
- Tuttavia, il fattore di correzione può non essere sempre applicabile: la rugosità superficiale e le tendenze ad un movimento ascendente possono limitare la velocità di avanzamento.

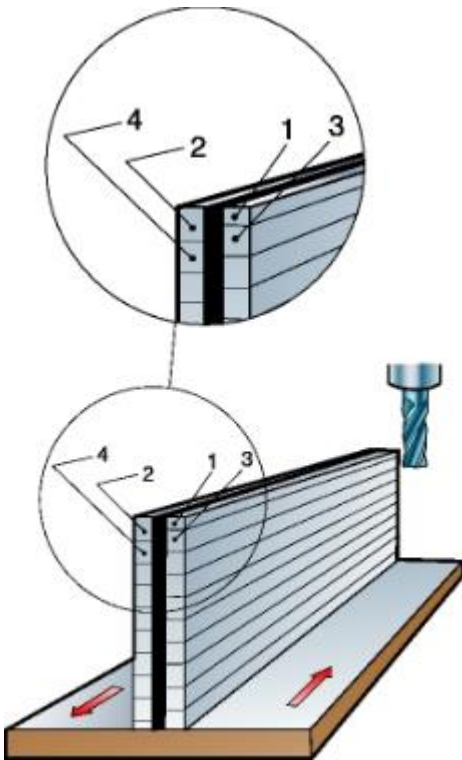
Fresatura di spallamenti in pareti sottili e tendenti

- Piccolo rapporto altezza-spessore, $<15:1$:
- Rapporto altezza-spessore medio, $<30:1$
- Rapporto altezza-spessore molto elevato, $>30:1$
- Fresatura di spallamenti in una base a parete sottile



- I metodi di lavorazione per le sezioni con pareti sottili variano, a seconda dell'altezza e dello spessore della parete.
- Il numero di passate è determinato in tutti i casi dalle dimensioni della parete e dalla profondità assiale del taglio.
- Prendere in considerazione la stabilità di fresa e parete.
- L'uso di tecniche ad alta velocità, ossia un piccolo valore a_p/a_e e un elevato valore v_c , agevola la fresatura di pareti sottili, poiché si riduce il tempo di impegno dell'utensile e, di conseguenza, l'impulso e la flessione.
- Applicare la fresatura concorde.
- Metodi analoghi sono usati per la fresatura di alluminio e titanio.

Piccolo rapporto altezza-spessore, <15:1:



Le passate devono essere eseguite secondo un percorso a zig zag.

- Lavorare un lato della parete con passate che non si sovrappongano.
- Ripetere sul lato opposto.
- Lasciare una tolleranza su entrambi i lati per la finitura successiva.

Rapporto altezza-spessore medio, <30:1

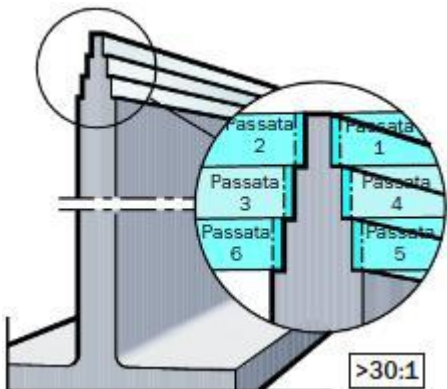
Fresatura "waterline":

- Lati alterni, lavorazione a profondità predefinite in passate non sovrapposte.

Fresatura a "gradini", con supporto:

- Approccio simile, ma con sovrapposizione tra passate su lati opposti della parete: questo garantisce più supporto nel punto che viene lavorato. La prima passata deve essere eseguita ad una profondità di taglio ridotta, $a_p/2$.
- In entrambi i casi, lasciare una tolleranza su entrambi i lati per una finitura successiva di 0,2 – 1,0 mm

Rapporto altezza-spessore molto elevato, >30:1

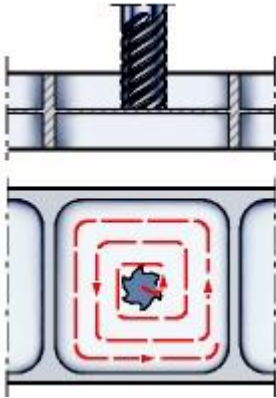


Oltre a lavorare su lati alterni della parete, avvicinarsi allo spessore della parete desiderato in diversi passaggi, seguendo una routine a forma di "pino".

- La sezione più sottile è sempre supportata da sezioni di spessore più elevato poste al di sotto durante la lavorazione.
- Scendere lungo la parete per "gradini".

Pareti sottili	Waterline	Supporto ai "gradini"

Fresatura di spallamenti in una base a parete sottile



Lavorazione di basi sottili:

- Usare la lavorazione in rampa circolare al centro dell'area della base per raggiungere la profondità necessaria.

- Fresare verso l'esterno seguendo un percorso in rampa circolare da quel punto.

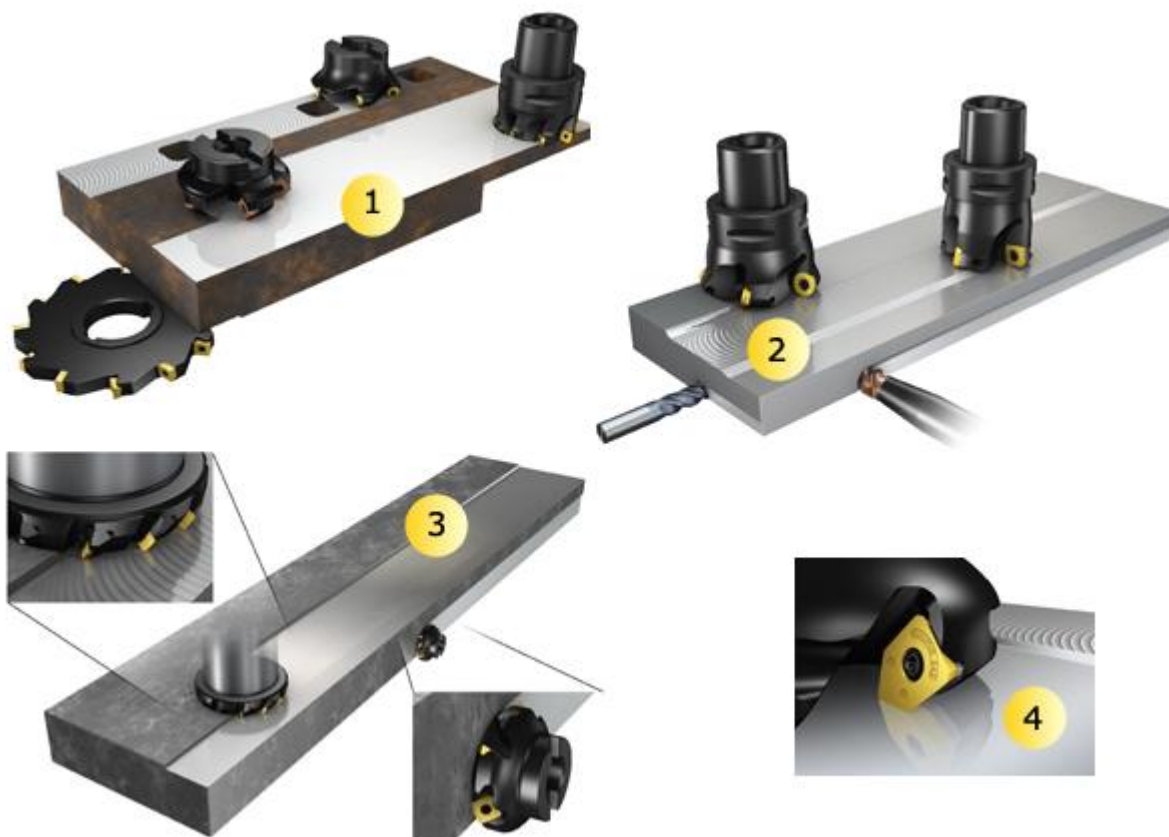
Se questo prevede la fresatura di una superficie il cui lato opposto è già stato lavorato:

- Usare un utensile con un numero minimo di taglienti.
- Applicare la minima pressione di contatto possibile su questo lato.

Se il componente ha un foro al centro della base:

- Lasciare un lato di supporto in quel punto quando si lavora il primo lato.
- Lavorare il secondo lato.
- Rimuovere il lato di supporto una volta che entrambi i lati sono stati completati.

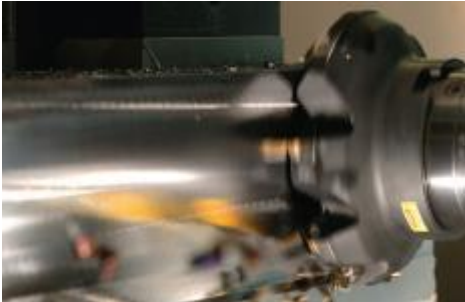
Spianatura



1. Spianatura generale
2. Fresatura ad elevati avanzamenti
3. Fresatura pesante
4. Finitura con inserti raschianti

Spianatura generale

- Scelta degli utensili
- Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione
- Consigli applicativi

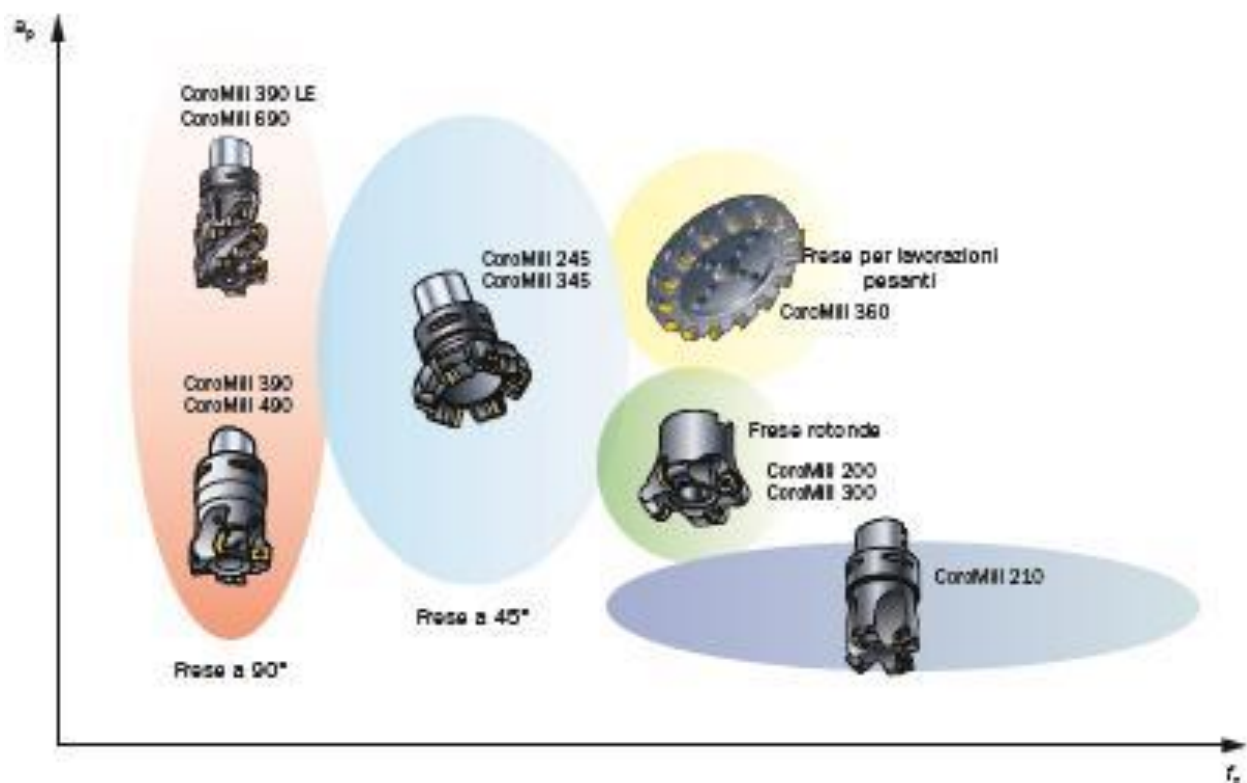


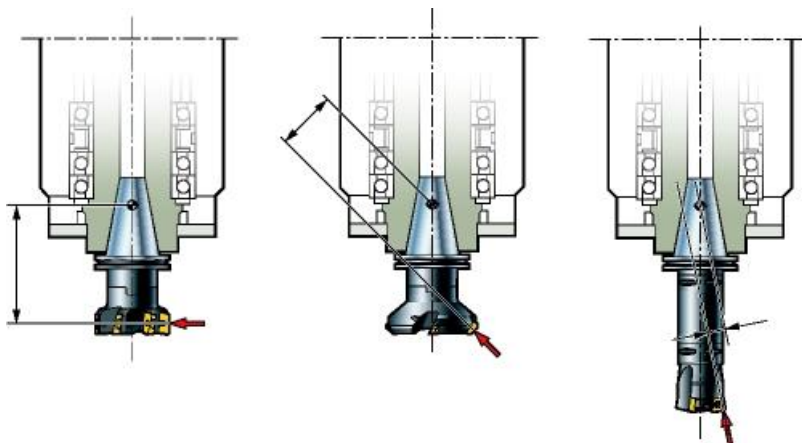
La spianatura è l'operazione di fresatura più comune e può essere eseguita usando un'ampia gamma di utensili diversi. Le frese con angolo di registrazione di 45° sono quelle usate più frequentemente, ma in alcune condizioni vengono usate anche frese con inserti rotondi, frese per spallamenti retti e frese a disco.

Scelta degli utensili

Panoramica delle frese per spianatura

Lo schema qui sotto mostra l'area di applicazione principale per diverse frese, in termini di profondità di taglio, a_p , ed avanzamento per dente, f_z .





Direzione delle forze di taglio generate da diversi angoli di registrazione.

Frese a 45°

- Scelta prioritaria per impieghi generici
- Riducono le vibrazioni sulle sporgenze lunghe
- L'effetto di "assottigliamento" del truciolo consente di aumentare la produttività

	CoroMill® 245	CoroMill® 345	Sandvik AUTO
Max. profondità di taglio (a_p), mm	6/10	6	6
Dis. frese (D_2), mm	32 - 250	40 - 250	60 - 500
Materiale	PMN SH	PMN SH	N

Frese a 90°

- Componenti con pareti sottili
- Componenti con bloccaggio insufficiente
- Dove è richiesta una forma a 90°

	CoroMill® 490	CoroMill® 290	CoroMill® 390
Max. profondità di taglio (a_p), mm	5.5	10.7	10/15.7
Dis. frese (D_2), mm	20 - 80	40 - 250	12 - 42/ 400 - 200
Materiale	PMN SH	PMN SH	PMN SH

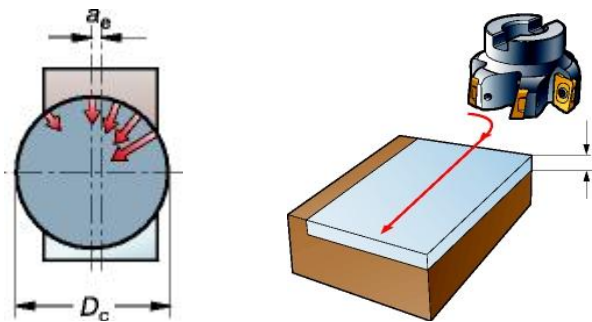
Frese con inserti rotondi

- Fresa per impieghi generici
- Tagliente più robusto
- Più taglienti per inserto
- Particolarmente adatte per leghe resistenti al calore, ISO S.
- Azione di taglio corretta



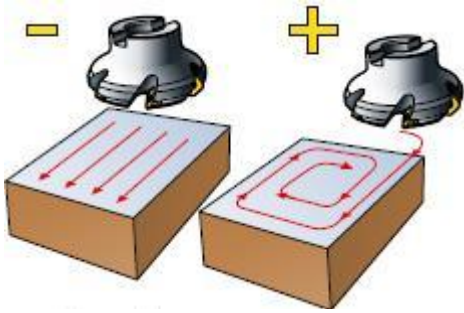
	CoroMill® 200	CoroMill® 300
Max. profondità di taglio (a_p), mm	10	7/8
Dis. fresa (D_c), mm	25 - 160	10 - 42/ 25 - 125
Materiale	PMN NSH	PMN NSH

Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione



Entrata nel taglio in interpolazione

- Prendere in considerazione stabilità della macchina utensile, dimensione e tipo del mandrino (verticale o orizzontale) e potenza disponibile.
- Usare una fresa con diametro dal 20 al 50% maggiore del pezzo
- Prendere in considerazione lo spessore massimo del truciolo quando viene posizionata la fresa per ottenere l'avanzamento ottimale.
- Posizionare la fresa in posizione fuori asse per produrre il truciolo più sottile possibile in uscita.
- Programmare la fresa affinché entri nel taglio in interpolazione e ridurre l'avanzamento per ottenere un ingresso graduale.

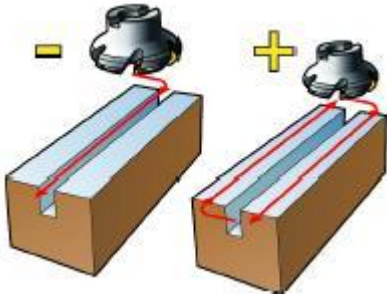


Mantenere la fresa costantemente impegnata.

- Applicare la fresatura concorde per ottenere una buona formazione del truciolo, da spessore elevato a sottile.
- Evitare entrate ed uscite attraverso la programmazione del percorso dell'utensile.
- Evitare, se possibile, entrate ed uscite frequenti dal pezzo, poiché questo può creare sollecitazioni sfavorevoli sul tagliente o causare interruzioni e tendenza a vibrazioni. Si consiglia di programmare un percorso dell'utensile che mantenga la fresa in totale contatto, invece di eseguire diverse passate parallele. Quando si cambia direzione, includere un piccolo percorso dell'utensile radiale per mantenere la fresa in movimento e costantemente impegnata.

Consigli applicativi

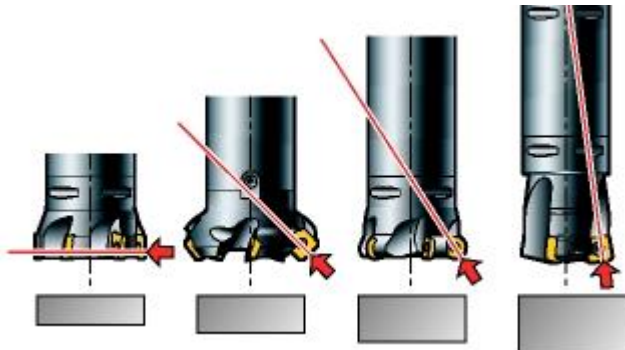
Spianatura a taglio interrotto su superfici con interruzioni



Evitare la fresatura sulle interruzioni.

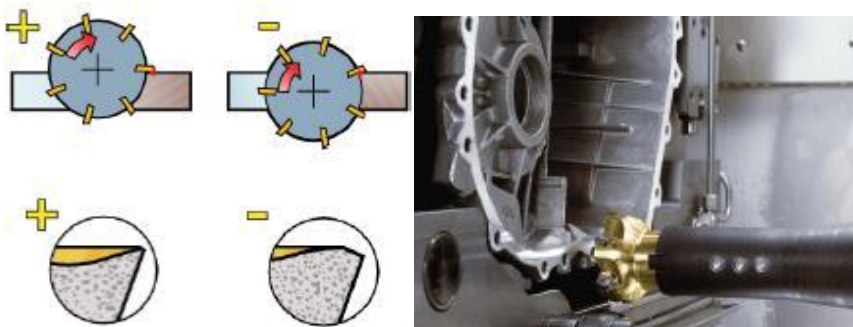
- Se possibile, evitare di fresare su interruzioni (fori o cave). Tali tagli interrotti rappresentano uno stress per i taglienti, poiché causano numerose entrate ed uscite.
- In alternativa, ridurre la velocità di avanzamento consigliata del 50% sull'area del pezzo che contiene le interruzioni.

Spianatura di sezioni con pareti sottili e soggette a flessione



- Prendere in considerazione la direzione delle forze di taglio principali rispetto alla stabilità del pezzo e del fissaggio.
- Quando si fresano componenti deboli da un punto di vista radiale, usare una fresa per spallamenti a 90°, poiché dirige la maggior parte delle forze di taglio in direzione assiale.
- In alternativa, usare una fresa per spianatura dal taglio leggero.
- Evitare profondità di taglio assiali inferiori a 0,5–2 mm per ridurre al minimo le forze assiali.
- Usare una fresa a passo largo per ottenere il numero minore possibile di denti nel taglio.
- Usare taglienti affilati e positivi (-L) per ridurre al minimo le forze di taglio.

Contornatura di sezioni sottili con frese per spianatura



- La fresa deve essere posta in posizione disassata per le operazioni di spianatura lungo i bordi di sezioni sottili. Il taglio diventa più fluido e le forze di taglio vengono dirette lungo la parete in modo più uniforme, riducendo così il rischio di vibrazioni.
- Per tali operazioni, selezionare un passo della fresa che faccia in modo che più di un inserto sia mantenuto in presa in ogni momento.
- Usare la geometria d'inserto più leggera possibile (leggera invece di media e media invece di pesante).
- Selezionare un raggio di inserto più piccolo e un tratto piano parallelo più corto per ridurre il rischio di vibrazioni in componenti con pareti sottili.
- Usare dati di taglio bassi, piccola profondità di taglio, a_p , ed un ridotto avanzamento/dente, f_z .

Fresatura ad elevati avanzamenti

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



La spianatura con un avanzamento per dente molto elevato (fino a 4 mm/dente) è possibile quando si usano frese con piccoli angoli di registrazione o quando si usano frese con inserti rotondi, grazie all'effetto di assottigliamento del truciolo.

Sebbene la profondità di taglio sia limitata a meno di 2 mm, l'estremo avanzamento lo rende un metodo di fresatura molto produttivo.

Alcuni concetti di frese sono specifici per la fresatura ad avanzamenti estremamente elevati, con piccole profondità di taglio assiale. Un ridotto angolo di registrazione è il requisito necessario per applicare un avanzamento elevato, leggero e rapido.

Scelta degli utensili

	CoroMill® 210	CoroMill® 316	CoroMill® Plura	CoroMill® 200	CoroMill® 300
					
	Frese ad elevati avanzamenti			Frese con inserti rotondi	
Max. profondità di taglio (a_p), mm	1.2 - 2	1.3	1.3	10	7/8
Dia. fresa (D_f), mm	25 - 160	10 - 25	4 - 20	25 - 160	10 - 42/ 25 - 125
Materiale					

CoroMill® 210

- La fresa per spianatura ad elevati avanzamenti più produttiva, con un angolo di registrazione di 10° che consente un avanzamento per dente molto elevato, f_z .

CoroMill® Plura e CoroMill® 316

- Oltre il doppio delle velocità di avanzamento rispetto alle frese a candela convenzionali, a piccole profondità di taglio, a_p .
- Utensili ad alta precisione ottimizzati per la lavorazione di acciaio temprato ad alta velocità.
- Da sgrossatura a semifinitura dei contorni e configurazioni asimmetriche a velocità di avanzamento estreme.

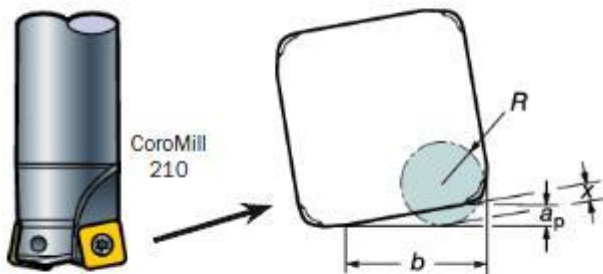
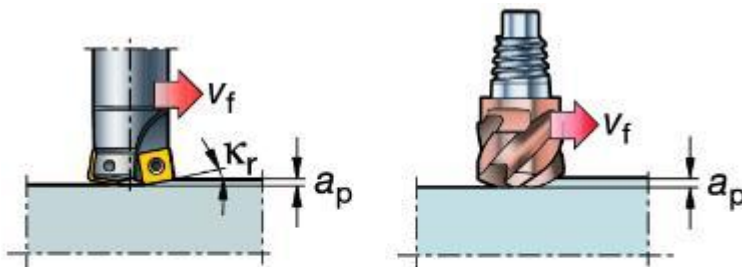
Nota: non superare il massimo valore consigliato a_p per CoroMill 210, CoroMill Plura e CoroMill 316. Per frese con inserti rotondi e raggiati, il valore a_p deve essere mantenuto molto al di sotto del valore massimo consigliato per consentire una fresatura ad avanzamento elevato.

CoroMill® 200 e CoroMill® 300

- Frese con inserti rotondi.
- Effetto di assottigliamento del truciolo aumentato con taglio assiale ridotto.
- Azione di taglio corretta.
- Frese per uso generale, adatte a condizioni pesanti o leggere.

Consigli applicativi

Frese con piccolo angolo di registrazione



iC	Dimensioni, mm				Materiale non asportato
iC	R	b	a_p	x	
9	2.5	7.05	1.2	0.79	
14	3.5	12.0	2.0	1.48	

Lo spessore massimo del truciolo viene drasticamente ridotto da un angolo di registrazione piccolo. Questo consente velocità di avanzamento estremamente elevate, senza sovraccarico degli inserti.

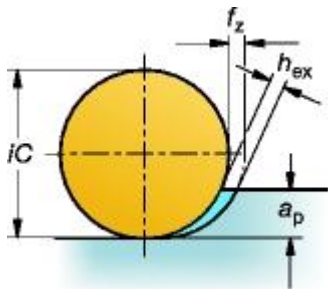
Per CoroMill 210:

- questo è vero nonostante le limitate profondità di taglio consentite dall'angolo di registrazione a dieci gradi: massimo 2,0 mm con l'inserto da 14 mm e 1,2 mm con l'inserto da 9 mm.
- In condizioni molto favorevoli, è possibile raggiungere un avanzamento per dente f_z , di un massimo di 4 mm/dente e valori di volume di truciolo asportato (Q) fino a 1400 cm³/min.

Nota: evitare di lavorare fino in fondo contro uno spallamento a 90° poiché l'effetto positivo di un ridotto angolo di attacco si perde e la profondità di taglio aumenta drasticamente.

Come sempre, la velocità di avanzamento deve essere ridotta ed adattata a seconda delle condizioni specifiche e per evitare le vibrazioni, che possono danneggiare gli inserti.

Frese con inserti rotondi

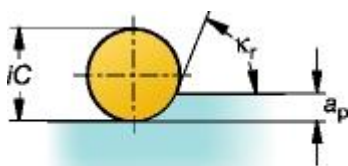


Lo spessore del truciolo, h_{ex} , varia con gli inserti rotondi e dipende dalla profondità del taglio, a_p .

Quando si usano metodi di fresatura ad elevati avanzamenti con frese con inserti rotondi, ad esempio con CoroMill 200 o CoroMill 300, la profondità del taglio deve essere mantenuta bassa (max. 10% del diametro dell'inserto, iC , altrimenti l'effetto di assottigliamento del truciolo si riduce e l'avanzamento deve essere ridotto, vedere illustrazione).

Nota: quando si usano frese con inserti rotondi, è importante ridurre l'avanzamento quando ci si avvicina ad una parete o ad uno spallamento, poiché la profondità del taglio si riduce improvvisamente.

Inserti robusti per sgrossatura generale



Con inserti rotondi le forze e l'angolo di registrazione variano con la profondità di taglio.

Le prestazioni migliori si ottengono quando la profondità di taglio è inferiore al 25% x diametro dell'inserto, iC .

Fresatura pesante

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



Queste applicazioni comprendono la sgrossatura pesante di semilavorati forgiati o laminati a caldo, pezzi fusi e strutture saldate in grosse fresatrici a portale e macchine per fresatura o centri di lavorazione potenti.

Grandi quantità di materiale devono essere rimosse, generando elevate temperature e forze di taglio, che pongono esigenze specifiche per gli inserti per fresatura:

- Carichi pesanti sul tagliente principale alla profondità di taglio completa.
- Usura "angolare" dovuta alle scaglie abrasive quando la profondità di taglio si avvicina a zero. Un angolo di registrazione di 60° è ottimale per una fresa per lavorazioni pesanti. Questo tipo di soluzione offre:
- Buone capacità in termini di profondità di taglio, forze di taglio piuttosto costanti ed effetto di assottigliamento del truciolo che consente elevate velocità di avanzamento.
- La tolleranza assiale del design consente all'inserto di avere un tratto piano parallelo molto ampio, che genera buone finiture superficiali.

Scelta degli utensili

	CoroMill® 360	CoroMill® 245-18	T-Max 45	CoroMill® 390-18	CoroMill® 300-20
					
Angolo di registrazione (K_r), mm	60°	45°	45°	90°	Inserti rotondi
Max. profondità di taglio (a_p), mm	13 / 18	10	12	15.7	10
Dia. fresa (D_f), mm	160 - 500	32 - 250	100 - 400	40 - 200	66 - 200
Materiale					

CoroMill® 360

- Progettata per un'efficiente manipolazione dell'utensile, che garantisce brevi tempi passivi e una sostituzione del tagliente sicura e rapida nella macchina.
- Capacità di profondità di taglio fino a 18 mm per una buona rimozione del metallo e lavorazione di superfici irregolari ed ondulate.

- Elevata produttività – velocità di avanzamento di 0,4 – 0,7 mm per dente.
- Tratto piano parallelo molto ampio per buoni risultati di semifinitura.
- Angolo dell'inserto robusto in grado di resistere alle scaglie superficiali abrasive a piccole profondità di taglio.
- Robustezza della fresa per la massima sicurezza in tagli molto complessi.

CoroMill® 245, dimensione inserto 18

- Fresa per spianatura per lavorazioni di media intensità che offre capacità di taglio molto leggero.
- In grado di sostenere profondità di taglio di 6–8 mm entro un intervallo di avanzamento di 0,2 – 0,6 mm.
- Fresa per spianatura di scelta prioritaria per condizioni difficili in grossi centri di lavorazione.
- Può essere usata con inserti raschianti per la fresatura di superfici con buone finiture.

CoroMill® 390-18

Scelta prioritaria per lavorazioni medie di spianatura ed esecuzione di spallamenti.

CoroMill® 300, dimensione inserto 20

Fresa per lavorazioni medie con taglienti robusti per condizioni difficili, ad esempio la fresatura attraverso croste ed interruzioni. La geometria dell'inserto rotondo garantisce un'azione di taglio corretta.

In condizioni favorevoli, possono essere utilizzati otto taglienti.

La massima profondità di taglio è 10 mm. Lo spessore massimo del truciolo consigliato varia sensibilmente, fino a 0,55 mm per dente, a seconda della geometria dell'inserto e della profondità di taglio.

T-Max 45

Fresa per spianatura a 45° ad elevate prestazioni, progettata prevalentemente per gestire condizioni difficili in generale e per le operazioni che prevedono una lunga sporgenza del mandrino, dove l'avanzamento per dente è limitato dalla tendenza alle vibrazioni.

- La capacità di gestire profondità del taglio fino a 12 mm in un campo di avanzamento fino a 0,5 mm consente un'efficiente asportazione truciolo.
- Gli inserti di elevato spessore con tratto piano parallelo o raschiante di 2 mm, che può essere regolato assialmente, rendono la fresa un utensile affidabile per la sgrossatura, sebbene sia anche in grado di eseguire operazioni di finitura.
- Meccanismo di bloccaggio dell'inserto caricato a molla per una gestione semplice e rapida sostituzione del tagliente.

Consigli applicativi



Ingresso nel taglio

Viste le condizioni difficili comuni nella fresatura pesante, l'ingresso nel taglio è spesso critico; è pertanto preferibile che avvenga in modo progressivo.

- Se possibile, programmare il percorso dell'utensile affinché vi sia un ingresso nel taglio mediante interpolazione.
- Diversamente, ridurre l'avanzamento finché il tagliente non è completamente impegnato.

Posizione e dimensione del tagliente

Nella fresatura pesante, in cui spesso occorre eseguire numerose passate per fresare una superficie grande, è importante seguire i consigli relativi a:

- Posizione ed impegno del tagliente
- Dimensione del tagliente in relazione alla capacità della macchina utensile
- Percorso dell'utensile, per evitare uscite sfavorevoli.

Fare attenzione alle alte temperature.

La fresatura pesante genera infatti temperature elevate. Quando vengono usate tavole magnetiche per bloccare il componente, i grandi volumi di trucioli prodotti spesso rimangono attorno alla fresa. Questo può causare un'evacuazione del truciolo interrotta o parziale e rimacinazione dei trucioli, pericolosi per la durata del tagliente. Per evitare questo inconveniente, mantenere l'area di lavoro libera da trucioli.

Evitare che i delicati angoli degli inserti sfreghino contro croste e scaglie abrasive aumentando la profondità di taglio, in modo da spostare il punto di contatto superficiale sul tagliente principale e più robusto dell'inserto.

Nota: quando si montano gli inserti multitaglienti nella fresa, usare dei guanti per evitare qualsiasi inconveniente o lesioni dovute al calore.

Finitura con inserti raschianti

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



È possibile ottenere ottime finiture superficiali con inserti standard in combinazione con uno o più inserti raschianti. Gli inserti raschianti sono particolarmente efficaci ad elevati avanzamenti per giro, f_n , in frese con diametro più grande, passo stretto e possibilità di regolazione.

L'avanzamento per giro può essere aumentato di circa quattro volte pur mantenendo una buona qualità superficiale. Gli inserti raschianti possono essere usati per la fresatura della maggior parte dei materiali per ottenere buone strutture superficiali, anche in condizioni sfavorevoli.

Scelta degli utensili

	CoroMill® 345	CoroMill® 245	CoroMill® 365	CoroMill® Century	AUTO-AF	AUTO-FS
						
Angolo di registrazione (K_r), mm	45°	45°	65°	90°	75°	90°
Max. profondità di taglio (a_p), mm	6	10	6	10	1	8.1
Dia. fresa (D_f), mm	40 – 250	32 – 250	40 – 250	40 – 200	80 – 500	125 – 500
Finitura superficiale (R_a)	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Materiale						

CoroMill® 245

È disponibile un'ampia gamma di inserti raschianti per la finitura di quasi tutti i materiali. Le frese di grande diametro, con sistema a cassetta, hanno possibilità di regolazione assiale.

CoroMill® 345

È disponibile un inserto raschiante con due taglienti destri e due sinistri lunghi 5 mm.

CoroMill® 365

Sono disponibili due inserti raschianti:

- uno con due taglienti destri e due sinistri,
- l'altro con raschiante extra lungo ed un tagliente destro ed uno sinistro.

Le versioni Cap con diametro maggiore sono regolabili in senso assiale con l'uso di supporti.

CoroMill® Century

Un sistema di regolazione altamente accurato consente l'uso dei raschianti in più di una sede per inserto in frese più grandi ed in tutte le sedi per inserto nelle frese più piccole. Questo garantisce la massima produttività, pur mantenendo una buona finitura superficiale. Le qualità di inserti disponibili coprono la finitura con raschiante della maggior parte dei materiali.

AUTO-AF

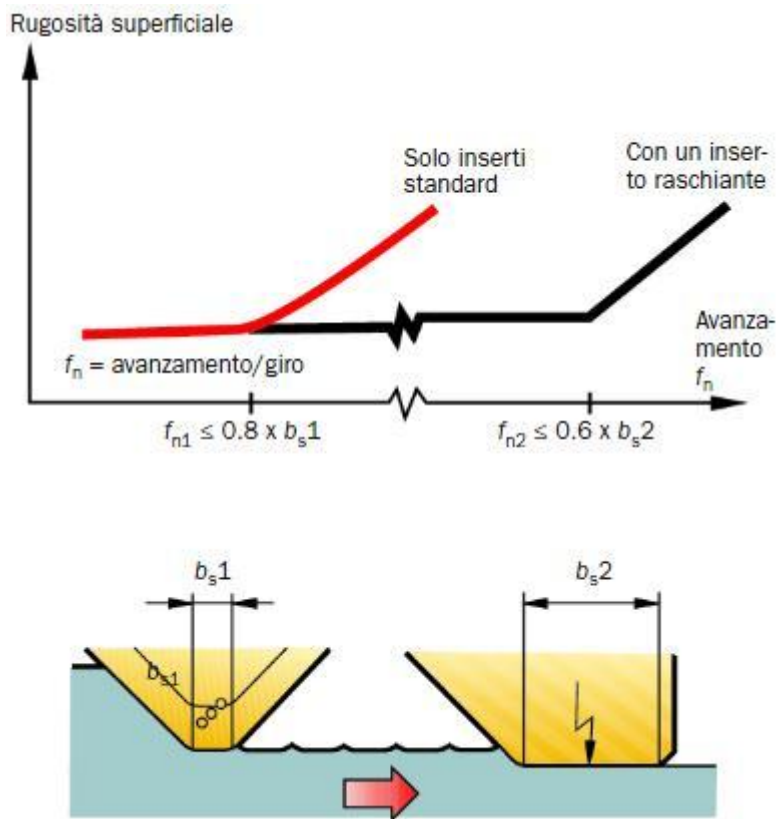
Tutte le dimensioni di inserto dispongono di cassette regolabili con sedi per inserto adatte a raschianti di tipo L o F con tagliente più lungo. Le frese di maggior diametro sono di tipo Cap.

AUTO-FS

Le frese di maggior diametro sono di tipo Cap e regolabili assialmente con l'aiuto di supporti. È disponibile un inserto raschiante con quattro taglienti.

Consigli applicativi

Finitura a specchio ad avanzamenti elevati



- Quando f_n supera l'80% della lunghezza del tratto piano parallelo, b_s , sugli inserti standard, un tagliente raschiante migliora la superficie.
- Quando l'avanzamento per giro, f_n , aumenta nelle frese con diametri più grandi con un maggior numero di inserti, la necessità di inserti raschianti diventa essenziale per mantenere le finiture superficiali.
- Il runout assiale della fresa, che dipende dall'inclinazione del mandrino, la dimensione della fresa, il montaggio e la precisione della regolazione incide sull'ondulazione della superficie lavorata. Il tratto raschiante "coronato" compensa questo effetto e genera una superficie priva di gradini. Un avanzamento per giro limitato al 60% del tratto raschiante garantisce che questo avvenga.
- Un tratto raschiante sporge al di sotto degli inserti di fresatura di circa 0,05 mm, quando è montato in frese con sedi inserto fisse. Per le frese CoroMill con cassette, il tagliente raschiante può essere regolato in posizione con grande precisione. La protrusione sottopone gli inserti raschianti a carichi maggiori rispetto agli inserti convenzionali, il che può causare delle vibrazioni. Pertanto, i raschianti devono essere usati per la lavorazione leggera a profondità di taglio moderate ed in numero limitato.
- La profondità di taglio deve essere limitata per contenere le forze assiali e ridurre il rischio di vibrazioni. Nella finitura, la profondità assiale consigliata del taglio è 0,8 – 1,0 mm.
- Prestare particolare attenzione quando si monta un inserto raschiante e posizionare correttamente il tagliente lungo.

Esempio:

- La larghezza del tratto piano parallelo, b_s , sull'inserto è pari a 1,5 mm.

- Vi sono 10 inserti nella fresa e l'avanzamento per dente, f_z , è di 0,3 mm.
L'avanzamento per giro, f_n , sarà di 3 mm, ossia il doppio della lunghezza del tratto piano.
- Per garantire una buona finitura superficiale, l'avanzamento per giro deve essere pari ad un massimo dell'80% di 1,5 mm = 1,2 mm.
- Un inserto raschiante corrispondente avrà un tratto piano parallelo con una larghezza di circa 8 mm.
- Risultato: l'avanzamento per giro può essere aumentato da 1,2 mm al 60% di 8 mm = 4,8 mm.

Nota: altre limitazioni, come la potenza della macchina, devono essere prese in considerazione.

Consigli aggiuntivi per ottenere una finitura a specchio:

- Usare elevate velocità di taglio e/o inserti cermet per ottenere una superficie lucida.
- Usare fluido da taglio o olio nebulizzato per materiali con tendenza all'incollamento ISO M e S.
- Inserti con rivestimento PVD con taglienti affilati ed un valore a_p di 0,5 – 0,8 mm producono la finitura superficiale migliore.

Profilatura



1. Profilatura

Profilatura



La profilatura comprende la fresatura su più assi di forme convesse e concave in due e tre dimensioni.

Più grande è il componente e più è complicata la configurazione da lavorare, più diventa importante la pianificazione del processo.

Il processo di lavorazione deve essere suddiviso in almeno tre tipi di operazione:

- Sgrossatura/semisgrossatura
- Semifinitura
- Finitura.

Talvolta è richiesta la superfinitura, spesso eseguita usando metodi di lavorazione ad alta velocità. La fresatura del sovrametallo, la cosiddetta ripresa, è inclusa nelle operazioni di semifinitura e finitura.

Per la massima precisione e produttività si consiglia di eseguire la sgrossatura e la finitura in macchine separate e di usare utensili da taglio specifici per ciascuna operazione.

L'operazione di finitura deve essere eseguita in una macchina utensile a 4/5 assi con software e tecniche di programmazione avanzati. Questo può ridurre sensibilmente, o persino eliminare del tutto, il lavoro di completamento manuale del lavoro, che richiede molto tempo. Il risultato finale sarà un prodotto con miglior precisione geometrica ed una miglior qualità della struttura superficiale.

Scelta degli utensili

Frese per sgrossatura e semisgrossatura

	CoreMill® Flute		CoreMill® 316		CoreMill® 216
					
Versione	VFD raggio di punta	BNE	Raggio di punta	BNE	BNE
Dia. fresa (D_2), mm	4 – 20	1 – 20	10 – 25		10 – 50
Max. profondità di taglio (a_p), mm	38		13		44,6
Materiale					

VFD = Profondità della scanalatura variabile

BNE = Fresa a candela con testa sferica

Frese per sgrossatura e semisgrossatura

	CoroMill® 390		CoroMill® 300		CoroMill® 200	CoroMill® 790
						
Versione	Raggio		Toroidale	Rotondo	Rotondo	Raggio
Dia. fresa (D_2), mm	12 - 200		10 - 42	25 - 125	25 - 160	25 - 54 40 - 100
Max. profondità di taglio (a_p), mm	12 - 42	40 - 200	7/8		10	12/18
Materiale						

Frese per finitura e superfinitura

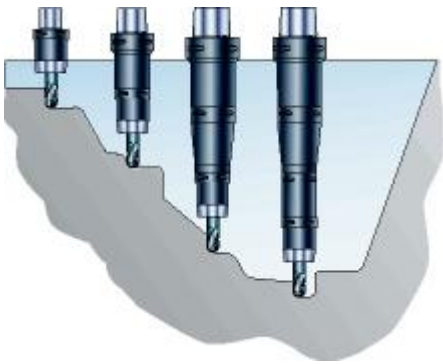
	CoroMill® Plura		CoroMill® 316		CoroMill® 216F	CoroMill® 790
						
Versione	VFD raggio di punta	BNE	Raggio di punta	BNE	BNE	Raggio
Dia. fresa (D_2), mm	4 - 20	1 - 20	10 - 25		8 - 32	25 - 54 40 - 100
Max. profondità di taglio (a_p), mm	38		13		4.8	12/18
Materiale						

BNE = Fresa a candela con testa sferica

Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione

- Prolungare l'utensile gradualmente
- Velocità di taglio effettiva
- Fresatura con percorso punto a punto – fresa inclinata
- Taglio poco profondo

Il profilo del componente deve essere studiato attentamente per selezionare gli utensili corretti e trovare il metodo di lavorazione più adatto:



- Definire i raggi minimi e la profondità massima della cavità.
- Stimare la quantità di materiale da rimuovere.
- Considerare la configurazione dell'utensile ed il bloccaggio del pezzo per evitare vibrazioni.
- L'intera lavorazione deve essere eseguita su macchine specifiche per ottenere una buona precisione geometrica sul profilo.
- Usando macchine utensili separate e precise per le operazioni di finitura e superfinitura, la necessità di lucidatura manuale, che richiede molto tempo, può essere ridotta ed in alcuni casi eliminata.
- Può essere necessario adottare una parte di programmazione avanzata per ottenere risparmi significativi.
- Usare la fresa a candela CoroMill Plura con la tecnica ad alta velocità per lavorare il pezzo quasi alla forma finale ed ottenere la miglior finitura possibile.
- La sgrossatura e la semifinitura di componenti di grandi dimensioni sono, di norma, più produttive se vengono utilizzati i metodi e gli utensili tradizionali. Un'eccezione è l'alluminio, per cui sono usate anche elevate velocità di taglio per la sgrossatura.

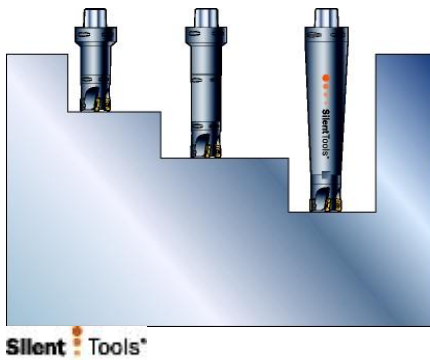
Vibrazioni – Metodi per ridurle



Le vibrazioni rappresentano un ostacolo alla fresatura di profili profondi usando sporgenze lunghe. I metodi comuni per superare questo problema consistono nel ridurre la profondità del taglio, la velocità o l'avanzamento.

- Utilizzare utensili modulari rigidi con buona precisione in termini di runout.
- Utilizzando utensili modulari si ha una maggiore flessibilità, e si ha a disposizione un maggior numero di combinazioni.
- Usare utensili antivibranti o barre di estensione quando la lunghezza totale dell'utensile, dalla linea di riferimento sul mandrino al punto più basso del tagliente, supera di 4-5 volte il diametro.
- Usare estensioni in metallo pesante, se la rigidità alla flessione deve essere notevolmente aumentata.
- Per velocità del mandrino superiori a 20,000 giri/minuto, usare utensili da taglio e portautensili bilanciati.
- Scegliere il massimo diametro possibile sulle estensioni e sugli adattatori rispetto al diametro della fresa.
- Una differenza radiale di 1 mm tra il portautensile e l'utensile da taglio è sufficiente. Usare frese di grandi dimensioni.
- La fresatura a tuffo è un metodo alternativo per fresare con utensili extra lunghi, vedere Metodi specifici.

Prolungare l'utensile gradualmente



Per mantenere la massima produttività nelle operazioni di sgrossatura, dove la passata finale avviene in profondità nel componente, è importante lavorare con una serie di estensioni per la fresa.

- Iniziare con l'estensione più breve, poiché quelle più lunghe limitano la produttività e tendono a generare vibrazioni.
- Passare agli utensili prolungati in posizioni predeterminate nel programma. La geometria della cavità determina il punto di sostituzione.
- Adattare i dati di taglio a ciascuna lunghezza dell'utensile per mantenere la massima produttività.

Velocità di taglio effettiva

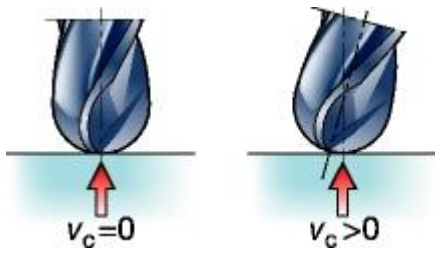
Se si usa un valore di diametro nominale dell'utensile nel calcolo della velocità di taglio di una fresa con testa sferica o inserti rotondi, la velocità di taglio effettiva, v_c , sarà molto inferiore, se la profondità di taglio, a_p , è ridotta. Avanzamento della tavola e produttività saranno gravemente ostacolati.

Basare i calcoli della velocità di taglio sul diametro effettivo nel taglio, D_{cap} .

$$v_c = \frac{\pi \times n \times D_{cap}}{1000} \text{ m/min}$$

Fresa a candela per spallamenti	Fresa con testa sferica	Fresa con inserti rotondi
$D_c = 6 \text{ mm}$ $v_c = 250 \text{ m/min}$, $n = 13\,262 \text{ giri/min}$ $D_c = D_{CAP} = 6 \text{ mm}$	$D_c = 6 \text{ mm}$ $v_c = 250 \text{ m/min}$, $n = 36\,942 \text{ giri/min}$ $D_{CAP} = 2,15 \text{ mm}$ $D_{cap} = 2 \times \sqrt{a_p \times (D_c - a_p)}$	$D_{cap} = D_3 - IC + \sqrt{IC^2 - (IC - 2 \times a_p)^2}$

Fresatura con percorso punto a punto – fresa inclinata



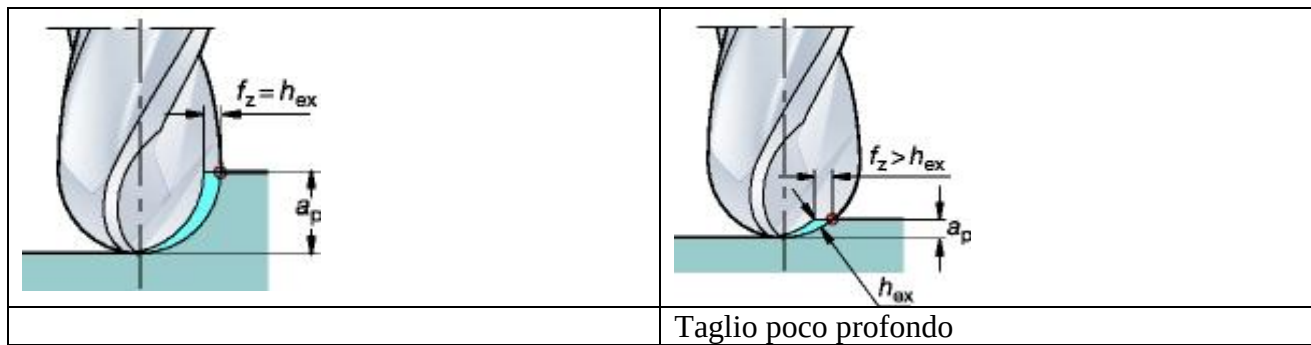
- Quando si usa una fresa a candela con testa sferica, l'area più critica del tagliente è il centro dell'utensile, dove la velocità di taglio è vicina a zero, situazione sfavorevole per il processo di taglio. L'evacuazione del truciolo al centro dell'utensile è di importanza critica, visto lo spazio ridotto nel tagliente trasversale.
- Pertanto, si consiglia di inclinare il mandrino sul pezzo di 10-15 gradi, in modo che l'area di taglio sia allontanata dal centro dell'utensile.
 - La velocità di taglio minima sarà superiore.
 - Durata dell'utensile e formazione del truciolo migliorate.
 - Miglior finitura superficiale.

CoroMill® Plura e CoroMill® 316 - frese con tagliente al centro

Parte centrale, $z = 2$ Parte periferica, $z = 4$	$Z = 2$	$Z = 4$

Per garantire quattro taglienti effettivi, la fresa deve essere inclinata di circa 10-15 gradi.

Taglio poco profondo



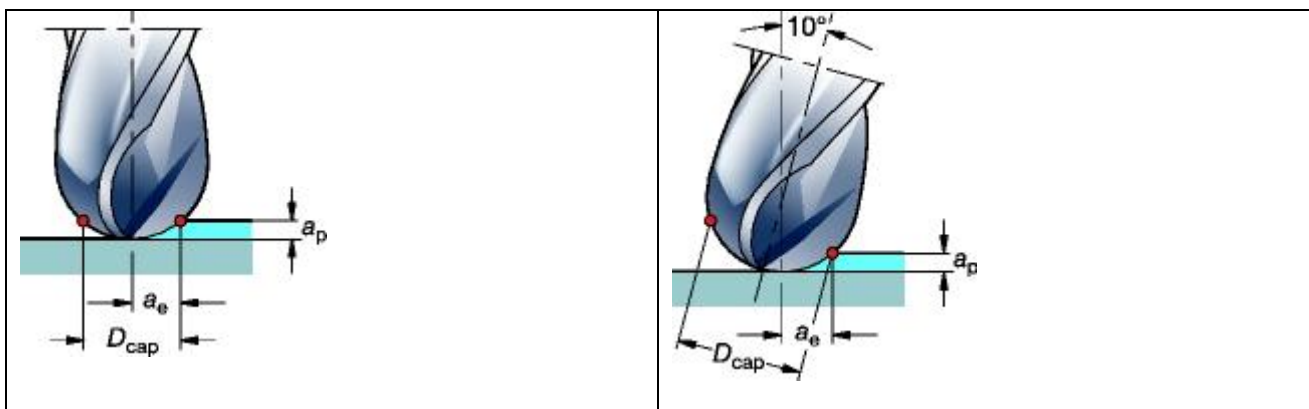
Consente valori maggiori di velocità di taglio maggiore, v_c , e avanzamento/dente, f_z

Quando si usa un inserto rotondo o una fresa con testa sferica ad una profondità di taglio inferiore, la velocità di taglio, v_c , può essere aumentata visto il breve tempo di contatto del tagliente. Il tempo per la propagazione del calore nell'area di taglio diventa più breve: la temperatura di tagliente e pezzo sono entrambe mantenute ad un valore basso.

Inoltre, l'avanzamento/dente, f_z , può essere aumentato grazie all'effetto di assottigliamento del truciolo,

Esempio di taglio poco profondo

Fresa non inclinata rispetto a fresa inclinata



Questo esempio mostra le possibilità per aumentare la velocità di taglio quando a_e/a_p è limitato ed i vantaggi di usare una fresa inclinata.

Fresa con testa sferica CoroMill Plura

$D_c = 10$ mm, qualità GC 1610.

Materiale: acciaio, 400HB

Consigli sui dati di taglio per un taglio profondo $a_p - D_c/2$:

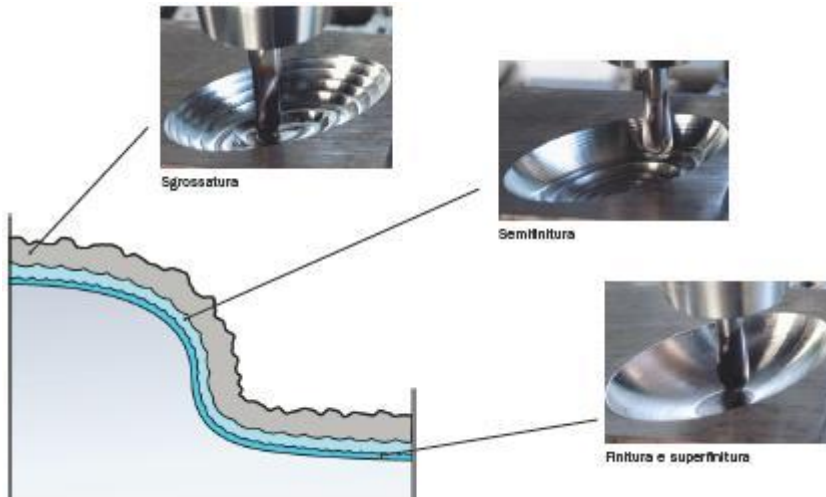
$v_c = 170$ m/min

$f_z = 0.08$ mm/giro = h_{ex}

Operazione	Fresa non inclinata	Fresa inclinata (10°)
• Semifinitura $a_p = 2 \text{ mm}$ La velocità può essere ulteriormente aumentata di circa 75% visto il taglio poco profondo ed il tempo di contatto breve: $v_c = 300 \text{ m/min}$, L'avanzamento per dente, f_z, è lo stesso per la fresa inclinata e non inclinata, ma il numero di taglienti effettivo, z_c, varia vicino al centro, come descritto nella pagina precedente.	$D_c = 10 \text{ mm}$ $D_{cap} = 8 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ m/min}$, $n = 11\,940 \text{ giri/min}$ $h_{ax} = 0,08 \text{ mm}$ $f_z = 0,12 \text{ mm/dente}$ $z_c = 2$ $f_n = 0,24 \text{ mm/giro}$ $v_f = 2\,860 \text{ mm/min}$	$D_c = 10 \text{ mm}$ $D_{cap} = 8,9 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ m/min}$, $n = 10\,700 \text{ giri/min}$ $h_{ax} = 0,08 \text{ mm}$ $f_z = 0,12 \text{ mm/dente}$ $z_c = 4$ $f_n = 0,48 \text{ mm/giro}$ $v_f = 5\,100 \text{ mm/min}$
• Superfinitura $a_p = 0,1 \text{ mm}$ La velocità di taglio può essere aumentata per un fattore di 3-5 grazie al tempo di contatto estremamente breve: $v_c = 5 \times 170 = 850 \text{ m/min}$ Nota: nella superfinitura, deve essere usata una fresa a due denti $z_n = 2$, per ridurre al minimo il runout. Con questo valore a_p, così basso, il valore f_z sarà limitato dalle esigenze di finitura superficiale. Pertanto, h_{ax} non deve essere preso in considerazione. Una buona regola generale nella superfinitura consiste nell'usare circa lo stesso valore f_z di a_p. $f_z = 0,12 \text{ mm/giro}$	Una fresa non inclinata non è consigliata per la superfinitura	$D_c = 10 \text{ mm}$ $D_{cap} = 4,4 \text{ mm}$ $v_c = 850 \text{ m/min}$, $n = 61\,100 \text{ giri/min}$ $h_{ax} = 0,02 \text{ mm}$ $f_z = 0,12 \text{ mm/dente}$ $z_c = 2$ $f_n = 0,24 \text{ mm/giro}$ $v_f = 14\,600 \text{ mm/min}$

Il sovrametallo costante

- Allargatura di un pezzo dal pieno



Un sovrametallo costante è uno dei veri criteri di base per una produttività elevata e costante nella profilatura, soprattutto ad alte velocità.

- Per raggiungere la massima produttività in queste operazioni, comuni nella realizzazione di stampi, è importante adattare la dimensione delle frese alle operazioni specifiche.
- L'obiettivo fondamentale è generare un sovrametallo uniformemente distribuito, in modo da avere pochi cambiamenti nel carico e direzione di lavoro per ogni utensile usato.

Spesso è più favorevole "scalare" le dimensioni su frese diverse, da più grandi a più piccole, soprattutto nelle operazioni di sgrossatura leggera e semifinitura, invece di usare un unico diametro per tutta la durata di ogni operazione.

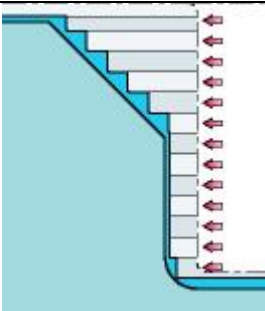
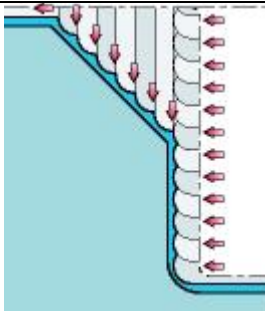
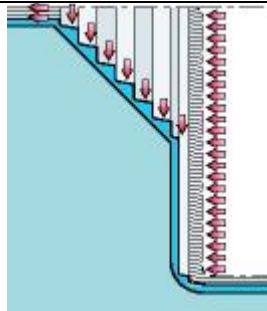
- La qualità migliore di finitura si ottiene quando le operazioni precedenti lasciano la quantità di sovrametallo minore e più costante possibile.
- L'obiettivo deve sempre essere avvicinarsi il più possibile ai requisiti specificati per la forma finale.
- Processo di taglio sicuro.

Vantaggi con un sovrametallo costante

- Alcune operazioni di semifinitura, e praticamente tutte quelle di finitura, possono essere eseguite con una parziale presenza dell'operatore e talvolta anche in sua assenza.
- L'impatto su guide della macchina utensile, viti a ricircolo di sfere e cuscinetti del mandrino sarà meno negativo.

Allargatura di un pezzo dal pieno

- Quando si apre una cavità, è importante scegliere un metodo che riduca al minimo il valore a_p , e che lasci un sovrametallo costante per l'operazione di profilatura successiva.
- Le frese a candela/per spallamenti e spianatura o le frese per contornatura lasciano un sovrametallo a gradini che deve essere rimosso. Questo genera diverse forze di taglio e flessioni dell'utensile. Il risultato è un sovrametallo irregolare per la finitura, che inciderà sulla precisione geometrica della forma finale.
- L'uso di frese con inserti rotondi (CoroMill 300 o CoroMill 200) genera raccordi lisci tra le passate e lascia meno sovrametallo per l'operazione di profilatura, dando come risultato una miglior qualità del componente.
- Una terza alternativa è l'uso di una fresa ad elevati avanzamenti (CoroMill 210) per aprire la cavità. Anche questo genera un sovrametallo ridotto e costante, grazie alla limitata profondità di taglio ed ai gradini molto piccoli.

		
		
Fresa per spallamenti retti – Parecchio sovra- metallo rimanente ed a forma di "gradino"	Fresa con inserti rotondi + Poco sovrametallo rimanente	Fresa ad elevati avanzamenti + Poco sovrametallo rimanente

Fresatura di contornatura per copiatura

- Contornatura
- Copiatura

Il metodo tradizionale e più semplice per la programmazione dei percorsi dell'utensile per una cavità consiste nell'uso dei normali sistemi di copiatura, con molte entrate ed uscite nel materiale. Tuttavia, questo significa che software, macchine ed utensili da taglio potenti sono usati in modo molto limitato.

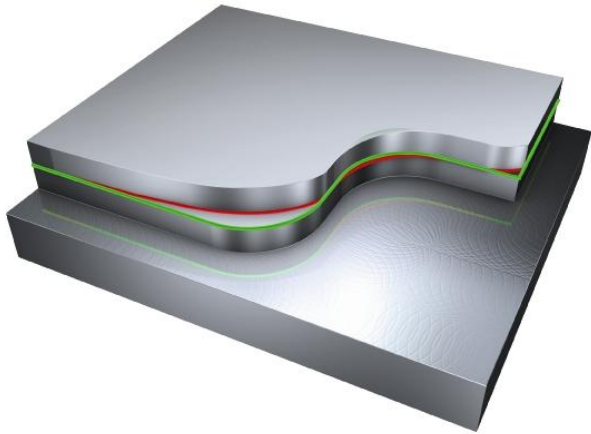
Un approccio aperto alla scelta di metodi, percorsi dell'utensile e portautensili è essenziale.

Invece di usare tecniche di programmazione limitate a "tranciare via" il materiale ad un valore Z costante, è molto vantaggioso usare percorsi dell'utensile di contornatura in combinazione con la fresatura concorde. Il risultato garantisce:

- Tempi di lavorazione sensibilmente più brevi.
- Miglior utilizzo di macchina ed utensile.
- Miglior qualità geometrica della forma lavorata.
- Finitura ed operazioni di lucidatura manuali che richiedono meno tempo.

Il lavoro di programmazione iniziale è più complesso e richiede un po' di tempo in più. Tuttavia, questo viene rapidamente compensato, poiché il costo orario della macchina è normalmente il triplo di quello di una stazione di lavoro.

Fresatura di contornatura Favorevole	Copiatura Comune
+ Controllo della velocità di taglio - v_e + Possibilità di HSM + Elevate velocità di avanzamento + Produttività + Lunga durata dell'inserto + Sicurezza	- Carico pesante sul punto centrale dell'inserto - Ridotte velocità di avanzamento - Ridotta durata del tagliente - Impatto meccanico - Errori di forma - Programmi e tempo di taglio più lunghi



Sia per la contornatura sia per la copiatura, è preferibile usare una macchina con un software dotato di funzioni "look ahead" per evitare deviazioni dal percorso dell'utensile.

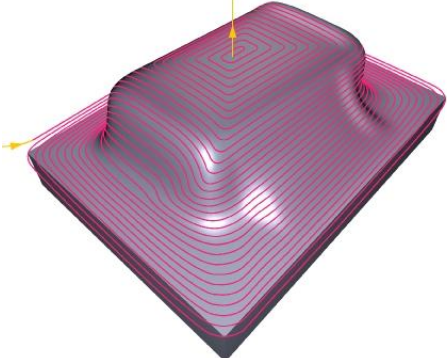
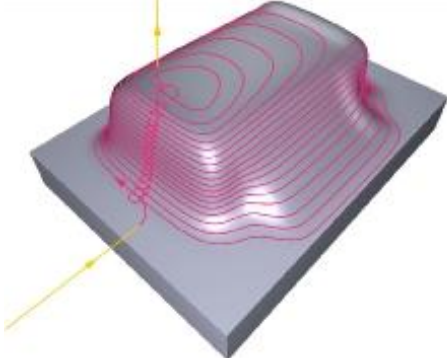
Contornatura



- Usare un tipo di percorso utensile per contornatura, ad esempio "Fresatura waterline": è il metodo migliore per garantire la fresatura concorde.
- La contornatura, eseguita con la periferia della fresa, spesso fornisce una maggiore produttività, poiché un numero maggiore di denti si trova effettivamente impegnato nel taglio su un diametro utensile più grande.
- Se la velocità del mandrino è limitata nella macchina, la contornatura aiuta a mantenere e controllare la velocità di taglio.
- La contornatura crea anche meno cambi rapidi nel carico e nella direzione di lavoro. Nella fresatura ad avanzamento e velocità elevati, questo è di particolare importanza poiché il tagliente ed il processo sono più vulnerabili a qualsiasi cambiamento che crei differenze nella flessione o crei vibrazioni.
- Per un buona durata del tagliente, restare continuamente nel taglio, per il maggior tempo possibile.

Nota! Evitare di asportare con il centro dell'utensile quando la velocità di taglio è pari a zero.

Strategia del percorso dell'utensile

Z – contornatura costante, due assi. Da sgrossatura a finitura	Contornatura elicoidale, tre-cinque assi. Finitura
	
Fresatura Z waterline - contornatura costante Comune quando è disponibile la funzione di rilevamento altezza massima della cuspidi o cresta controllata da CAM. Impegno e retrazione senza problemi Programmazione semplice Ampia scelta di utensili	Contornatura con un percorso utensile in rampa Cambiamenti di direzione regolari Buona precisione della forma e finitura superficiale Altezza della cuspidi o cresta controllata Impegno costante Programmi brevi Utensile corto

Copiatura

Un percorso utensile per la copiatura spesso prevede una combinazione di fresatura discorde e concorde e richiede molti impegni e disimpegni sfavorevoli nel taglio.

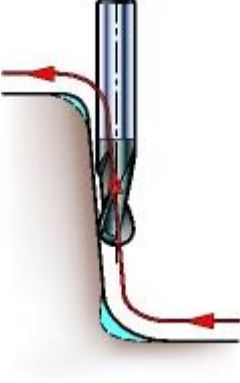
Ogni entrata ed ogni uscita generano una flessione dell'utensile, lasciando così un segno in rilievo sulla superficie.

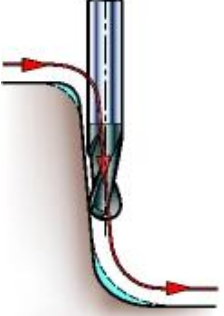
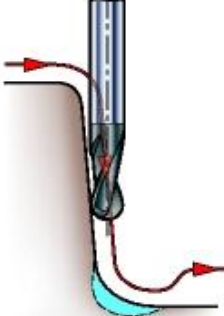
Quindi, le forze di taglio e la flessione dell'utensile si riducono e vi sarà una leggera esecuzione di scarichi di materiale nell'area di uscita.

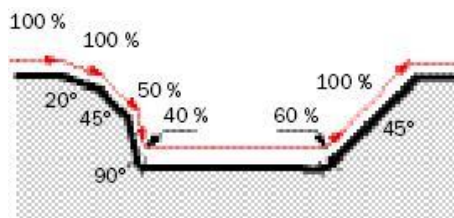
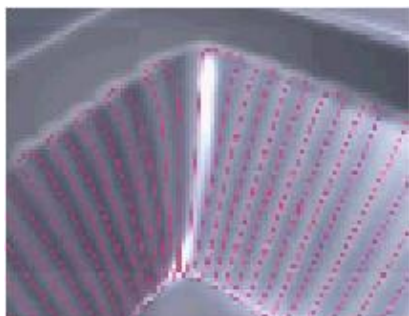
Conclusioni:

- La copiatura su pareti ripide deve essere evitata il più possibile. In caso di lavorazione a tuffo, lo spessore del truciolo è notevole e la velocità di taglio deve essere bassa.
- Esiste un rischio di sfaldamento del tagliente al centro dell'utensile, soprattutto quando la fresa tocca l'area del fondo.
- Usare un controllo della velocità di avanzamento con funzione "look ahead". Diversamente, la decelerazione non sarà abbastanza rapida da evitare danni al centro dell'utensile.
- Vi sarà una notevole lunghezza di contatto quando la fresa tocca la parete, con il rischio di flessioni, vibrazioni o rottura dell'utensile.

- Quando si usano frese a candela con testa sferica, l'area più critica è il centro dell'utensile, poiché la velocità di taglio è pari a zero. Evitare di usare l'area al centro dell'utensile ed attuare una fresatura con percorso punto a punto inclinando il mandrino o il pezzo per migliorare le condizioni.
- Per il processo di taglio è meglio eseguire la copiatura discorde su pareti ripide, poiché la spessore del truciolo è al valore massimo ad una velocità di taglio più favorevole.

	
Rischio di "scavare"	Copiatura discorde: Massimo spessore del truciolo al valore consigliato v_c.

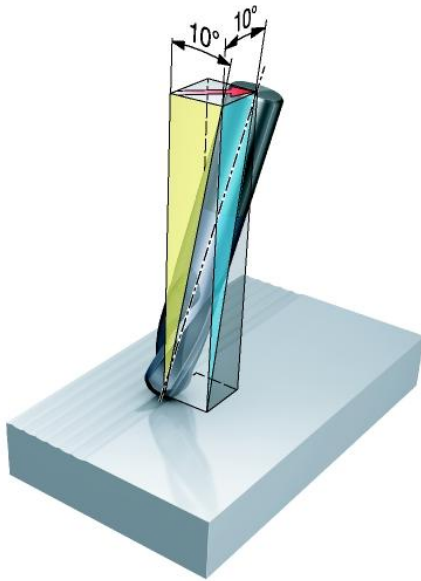
 	
Al fondo della cavità: Rischio di sfaldamento al centro dell'utensile. Errori di forma comuni, soprattutto se si usa il metodo di lavorazione ad alta velocità.	Copiatura concorde: Elevato spessore del truciolo con valore molto basso v_c.



Riduzione dell'avanzamento per evitare una durata del tagliente troppo breve

Una fresatura discorde e concorde invertite espongono l'utensile a flessione e forze di taglio alternate. Riducendo la velocità di avanzamento nelle sezioni critiche del percorso dell'utensile, il rischio di sfaldamento del tagliente si riduce ed è possibile ottenere un processo di taglio più sicuro ed una maggiore durata del tagliente.

Generazione di superfici sculturate



La fresatura concorde con fresa inclinata di circa 10° in due direzioni garantisce una buona finitura superficiale e prestazioni affidabili. Una fresa con testa sferica su un tagliente raggiato forma una superficie con una certa altezza cuspidi, h , a seconda di:

- Larghezza, a_e , del taglio
- L'avanzamento per dente, f_z .

Altri fattori importanti sono la profondità di taglio, a_p , che incide sulle forze di taglio e la lettura del valore di runout sul comparatore. Per ottenere i migliori risultati:

- Usare mandrini di elevata precisione HydroGrip con accoppiamento Coromant Capto.
- Ridurre al minimo la sporgenza dell'utensile.

Sgrossatura e semisgrossatura

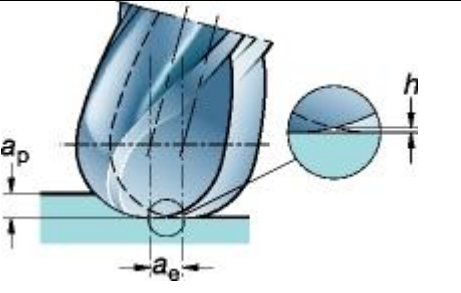
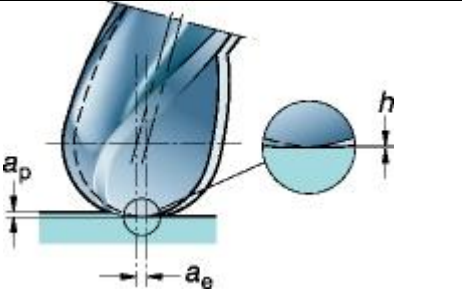
Se l'avanzamento per dente è molto inferiore alla larghezza e profondità del taglio, la superficie generata avrà un'altezza di cuspidi molto inferiore nella direzione di avanzamento.

Finitura e superfinitura

È vantaggioso ottenere una struttura superficiale uniforme e simmetrica in tutte le direzioni, che possa essere facilmente lucidata in seguito, a prescindere dal metodo di lucidatura selezionato.

Questo si ottiene quando $f_z \approx a_e$.

Nella superfinitura, usare sempre una fresa a due denti inclinata per ottenere la miglior rugosità superficiale possibile.

	
Semigrossatura con f_z molto inferiore a a_e.	Superfinitura con fresa inclinata e f_z pari a a_e.



CoroMill® Plura



CoroMill® 390



CoroMill® 300



CoroMill® 316



CoroMill® 300 toroid



CoroMill® 216

Tornitura-fresatura

- Scelta del metodo
- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



La tornitura-fresatura è definita come la fresatura di una superficie ricurva mentre il pezzo ruota intorno al proprio punto centrale.

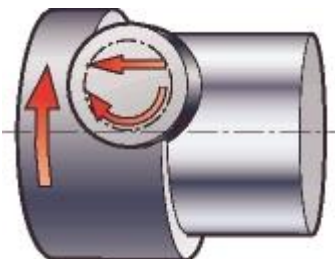
Forme eccentriche o forme che si discostano sensibilmente da quelle prodotte dai metodi di fresatura o tornitura convenzionali possono spesso essere tornite-fresate. Il metodo consente un'elevata rimozione del metallo con un ottimo controllo truciolo.

- Una superficie cilindrica può essere prodotta solo facendo avanzare la fresa in direzione radiale durante la rotazione.
- Spostando contemporaneamente la fresa in due direzioni, è possibile produrre superfici eccentriche, ad esempio le camme sugli alberi.
- Lo spostamento lungo più di 2 assi richiede un utensile con capacità di lavorazione in rampa.
- Per lavorare una forma conica, occorrono 5 assi.
- La tornitura-fresatura di profili complessi, ad esempio pale di turbine, richiede lo spostamento contemporaneo lungo 5 (o 4) assi, 2 o 3 per il pezzo e 1 o 2 per l'utensile.
- È possibile produrre componenti, come le pale delle turbine, avanzando la fresa lungo più di 2 assi, facendo contemporaneamente ruotare il componente.

Scelta del metodo

Tornitura-fresatura – 4/5 assi

Metodo principale per la lavorazione esterna.



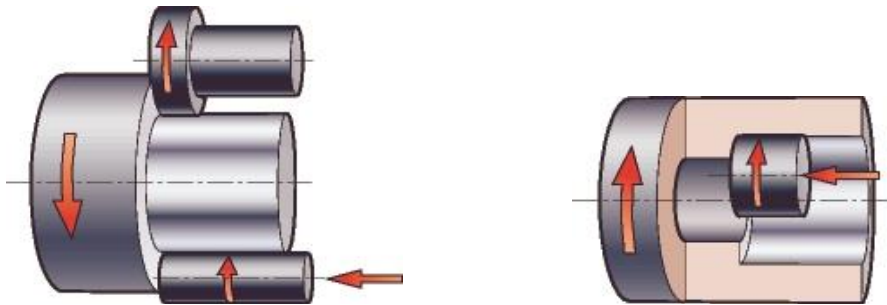
- + Piccole estensioni utensile
- + Diametri utensile inferiori/coppia ridotta

- + Componenti esterni/sottili
- + Profilatura
- Non superfici cilindriche naturali
- Interno.

Tornitura-fresatura periferica – 3/4 assi

Stesso principio della fresatura circolare/lavorazione in rampa, ma con rotazione del componente.

Usata prevalentemente per particolari interni.



- + Lavorazione interna
- + Superficie cilindrica
- + Cave strette
- + Fresatura di filetti
- + Rotondità
- Profilatura
- Diametri più grandi/coppia elevata
- Sporgenze lunghe.

Scelta degli utensili

Frese di tornitura-fresatura per sgrossatura

	Fresa a candela a 90° CoroMII® 390	Fresa per contornatura CoroMIII® 390LE	Fresa per splanatura a 45° CoroMII® 245	Fresa ad elevati avanzamenti CoroMII® 210	Fresa con inserti rotondi CoroMIII® 300
Profondità di taglio – (a_p)	++	+++	++	–	+
Larghezza di taglio – (a_w)	++	++	++	–	+++
Avanzamento tavolo – (V_f)	++	+	++	+++	+++
Volume truciolo asportato – Q (cm ³ /min.)	+	+++	++	+	+++
Taglio del fondo	+	–	–	–	+++
Potenza/stabilità	++	–	++	+	+++
Finitura superficiale	+++	+	+++	–	++
Materiali difficili	+	+	++	++	+++
Da sgrossatura a finitura	+++	+	+++	–	++

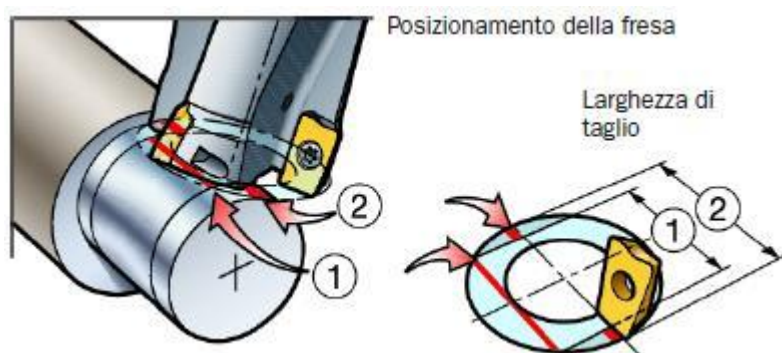
Frese di tornitura-fresatura per finitura

	Fresa a candela integrale a 90° CoroMill® Plus	Fresa a candela con inserti multitaglienti a 90° CoroMill® 390	Fresa per splanatura con inserti multitaglienti a 90° CoroMill® Century	Fresa con inserti rotondi CoroMill® 300
Planarità superficiale	+++	+++	+++	+
Numero di raschianti	4	1	da 1 a completo	0
Avanzamento/dente	-	+	+(“+++)	++
Volume truciolo asportato - Q (cm ³ /min.)	-	+	+(“+++)	++
Contro uno spallamento	+++	+++	+++	-
Materiale difficile	+	+	+	+++
Profilo stretto	+++	+	+	-

* Solo in caso di taglio assiale e completamente equipaggiata con inserti raschianti.

Consigli applicativi

Posizione della fresa quando si usano inserti raschianti



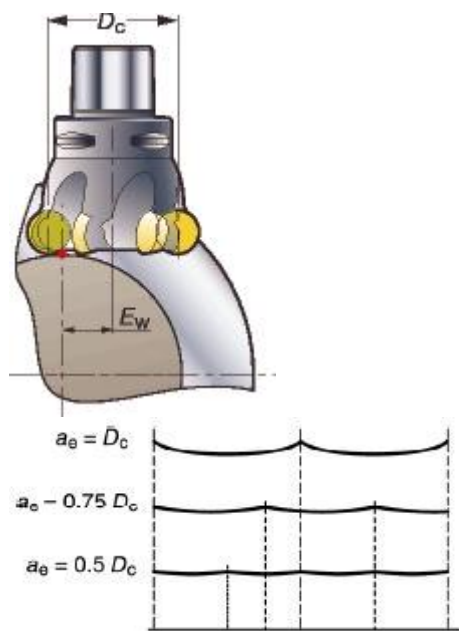
1 = prima passata

2 = seconda passata

Nella tornitura-fresatura, un inserto raschiante è usato per generale il contatto in linea retta tra la fresa e la superficie lavorata, in modo da realizzare la parte cilindrica del componente.

Poiché la superficie fresata è convessa, il tratto raschiante deve essere piano invece che "dentellato". Per coprire tutta la larghezza della fresa, l'utensile deve essere posizionato con almeno due disassamenti, prima E_{w1} durante la prima rotazione del pezzo, per poi passare a E_{w2} per una seconda passata.

Posizione della fresa - inserti rotondi/non raschianti



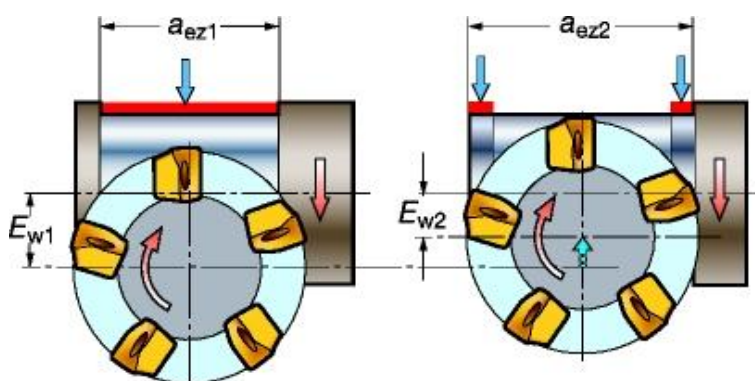
Per produrre la superficie più piana possibile, è ottimale l'uso di una fresa con larghezza di taglio, a_e , inferiore al 40% del diametro effettivo della fresa, D_c .

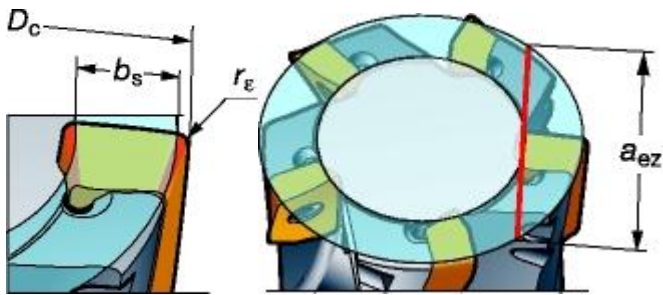
Tuttavia, il valore a_e deve essere aumentato per ottenere la massima produttività. Questo può essere fatto aumentando:

- Diametro fresa
- Rapporto di impegno radiale – a_e/D_c .

Per ottenere un'altezza della cuspidi accettabile, la fresa deve essere disassata. L'entità di tale disassamento dipende dal valore a_e , e viene presa dal diagramma per il rispettivo a_e/D_c .

Spostamento e larghezza di taglio



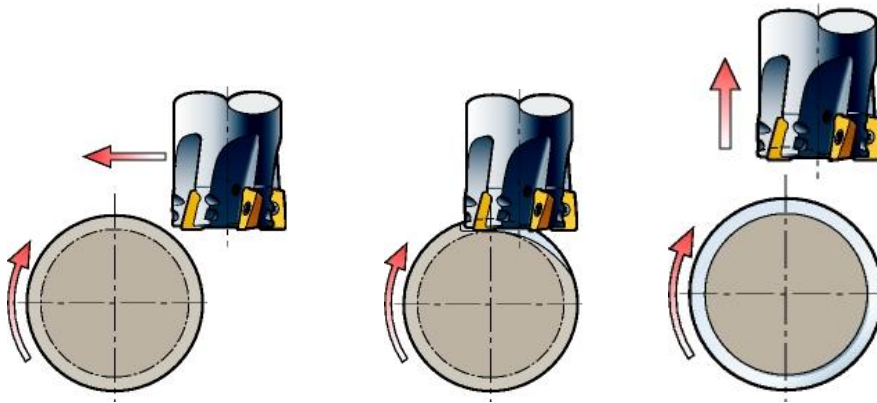


Larghezza dell'inserto raschiante

Larghezza di taglio

Per fresare una superficie più grande del diametro della fresa, è necessario rimanere nella posizione iniziale e poi spostare la fresa in direzione assiale fino alla lunghezza necessaria, che non è, comunque, superiore all'80% di a_{ez1} per giro. Se occorre uno spallamento a 90°, la fresa deve passare ad una seconda posizione, E_{w2} .

Principio di avanzamento

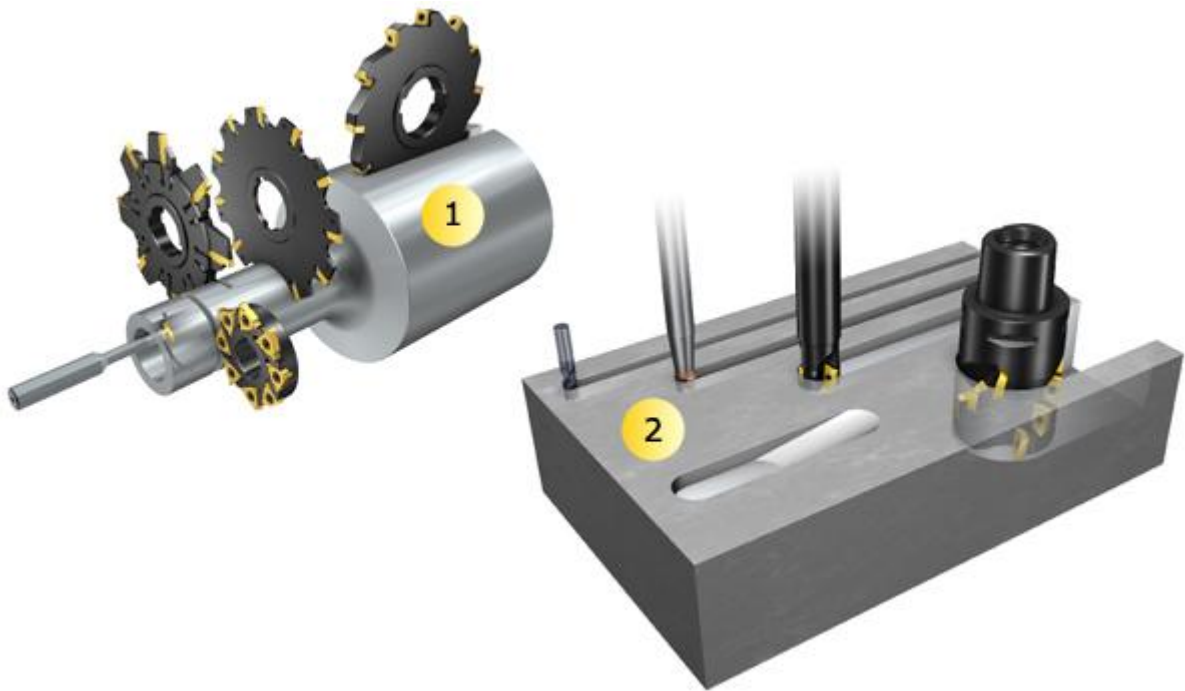


L'utensile di fresatura deve essere fatto avanzare nel pezzo in direzione radiale. La velocità di rotazione del pezzo deve corrispondere all'avanzamento/dente consigliato per l'inserto. La fresa deve essere arretrata in senso assiale.

Programmazione

Informazioni dettagliate sulla programmazione della tornitura-fresatura sono fornite nella relativa guida applicativa, C-2920:26. Per ulteriori informazioni, contattare lo specialista Sandvik Coromant di zona.

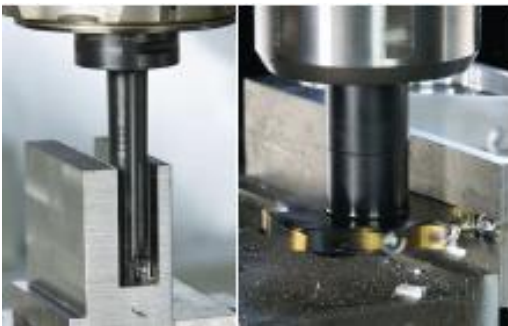
Fresatura di cave



1. Lavorazione con frese a disco

2. Fresatura a candela di cave

Panoramica



La fresatura di cave è un'operazione in cui la fresatura laterale e la spianatura sono spesso preferite alla fresatura a candela.

- Cave e scanalature possono essere corte o lunghe, chiuse o aperte rette o non rette, profonde o poco profonde, larghe o strette.
- La selezione dell'utensile normalmente è determinata dalla larghezza e dalla profondità della cava e, in parte, dalla sua lunghezza.
- Il tipo di macchina disponibile e la frequenza dell'operazione determinano se usare una fresa a candela, una fresa per contornatura o una fresa a disco.
- Le frese a disco offrono il metodo più efficiente per la fresatura di grandi volumi di cave lunghe e profonde, soprattutto quando vengono usate macchine per la fresatura orizzontali. La diffusione di macchine fresatrici verticali e centri di lavorazione, tuttavia, significa che anche le frese a candela e le frese per contornatura sono frequentemente usate in un'ampia varietà di operazioni di fresatura di cave.

Confronto fra tipi di frese

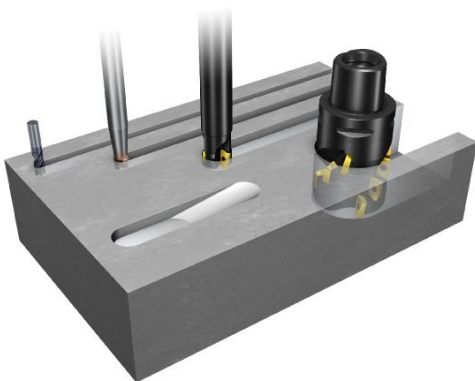
Lavorazione con frese a disco



- + Cave aperte
- + Cave profonde
- + Larghezza regolabile/tolleranze
- + Fresatura "a pacco"
- + Troncatura
- + Ampia gamma di prodotti per larghezze e profondità diverse

- Cave chiuse
- Solo scanalatura lineare
- Evacuazione del truciolo

Lavorazione con frese a candela



- + Cave chiuse
 - + Cave poco profonde
 - + Cave non lineari
 - + Versatilità – metodi aggiuntivi:
- Fresatura trocoidale di cave in materiali difficili (acciai duri, HRSA, ecc.)
 - Fresatura a tuffo come soluzione per sporgenze elevate
 - Operazioni di semifinitura/finitura possono essere facilmente aggiunte
 - Una fresa per contornatura può essere usata per operazioni diverse dalla fresatura di cave
- Cave profonde
 - Forze elevate
 - Sensibile alle vibrazioni in caso di flessione

Lavorazione con frese a disco

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



Le frese a disco sono in grado di gestire cave lunghe, profonde e aperte in modo più efficiente ed offrono la miglior stabilità e produttività per questo tipo di fresatura. Possono inoltre essere montate "in gruppo" per lavorare più di una superficie sullo stesso piano contemporaneamente.

Scelta degli utensili

Frese per lavorazioni laterali o sul fianco

	CoroMill® 331	CoroMill® 329	T-Max Q-cutter	CoroMill® 327	CoroMill® 328
					
Max. larghezza di taglio (a_p), mm	10/26.5	2.5 - 4	6.1	5.15	5.15
Max. profondità di taglio (a_d), mm	34.0/114.5	18	119	6.5	5.0
Dia. fresa (D_f), mm	40 - 125/ 80 - 315	125 - 160	80 - 315	9.7 - 27.7	39 - 80
Materiale					

CoroMill® 331

Fresa multifunzione con capacità di alta precisione. La fresa più produttiva per la realizzazione di cave e per la troncatura. Cave ampie possono essere prodotte con diverse frese CoroMill montate insieme in un "gruppo".

CoroMill® 329

Utensile versatile per la produzione di cave precise, scanalature con fondo piatto e per troncatura.

Fresa T-Max® Q-cutter

Fresa complementare per cave strette e scanalature con il fondo piatto. Scelta di base per la troncatura.

CoroMill® 327

Scanalatura interna e smussatura in fori con diametro maggiore di 10 mm. Raggio completo per anelli di tenuta standard, scanalature di sedi di anelli elastici e smussatura.

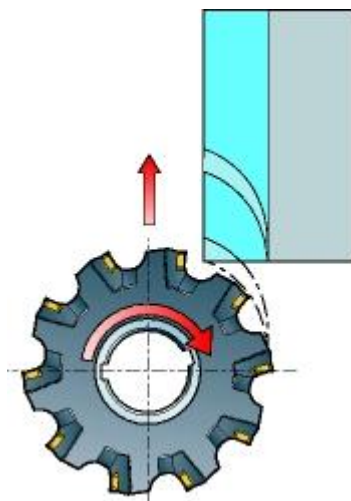
CoroMill® 328

Scanalatura generale, scanalatura di sedi di anelli elastici e smussatura in fori con diametro superiore a 39 mm. Scanalatura generale esterna ed interna.

Consigli applicativi

Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione

- Scegliere dimensione, passo e posizione della fresa e montarla in modo che almeno un tagliente sia nel taglio in ogni momento.
- Controllare lo spessore del truciolo per ottenere l'avanzamento per dente ottimale.
- Ridurre l'avanzamento all'entrata a causa del truciolo di elevato spessore in uscita.
- In condizioni di fresatura complessa, controllare i requisiti in termini di potenza e coppia.
- Attacchi mandrino rigidi e sporgenze sono molto importanti nelle applicazioni in cui i mandrini hanno un'estremità libera. Il fissaggio ed il supporto del mandrino devono essere resistenti per gestire le forze di taglio originate dalla fresatura discorde.



Fresatura concorde

- Metodo di scelta prioritaria.
- Usare un arresto saldo nella direzione delle forze di taglio tangenziali per evitare che spingano il pezzo in basso, contro la tavola. La direzione di avanzamento corrisponde alle forze di taglio. Questo significa che rigidità ed eliminazione del gioco sfavorevole sono fattori importanti, poiché la fresa ha la tendenza a seguire un movimento ascendente.

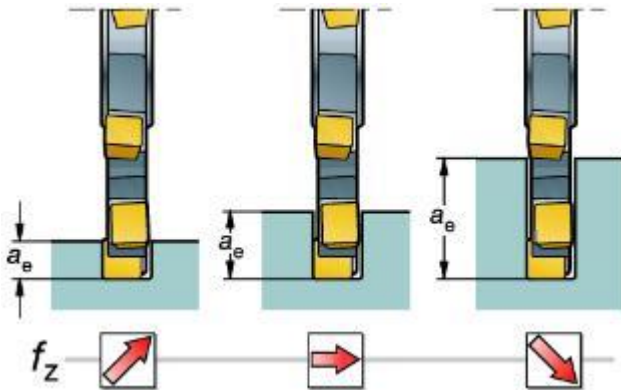
Fresatura discorde:

- Alternativa nelle applicazioni in cui insorgono problemi dovuti a rigidità insufficiente o quando si opera su materiali esotici.
- Risolve i problemi causati da set-up deboli ed intasamenti da trucioli nelle scanalature più profonde.

Volano:

- Buon complemento per i set-up deboli e quando potenza e coppia sono basse.
- Posizionare il volano il più vicino possibile all'utensile.
- Rafforzare il montaggio del pezzo è sempre un buon investimento.

Fresatura di cave aperte con frese a disco



Calcolo dell'avanzamento per dente

Un fattore critico nella fresatura periferica con frese a disco, come CoroMill 331, consiste nell'ottenere un avanzamento per dente adatto, f_z . Valori insufficienti possono causare gravi svantaggi, pertanto occorre prestare sempre particolare attenzione nel calcolo di questo parametro.

L'avanzamento per dente, f_z , deve essere ridotto per cave più profonde e aumentato per cave meno profonde per mantenere lo spessore del truciolo massimo consigliato.

Esempio:

a_e/D_c (%)	f_z (mm/dente)
25	0.12
10	0.17
5	0.23

quando si eseguono cave dal pieno con una fresa CoroMill 331 con dimensione d'inserto 05 e geometria PL, lo spessore massimo del truciolo deve essere 0,10 mm, pari a:

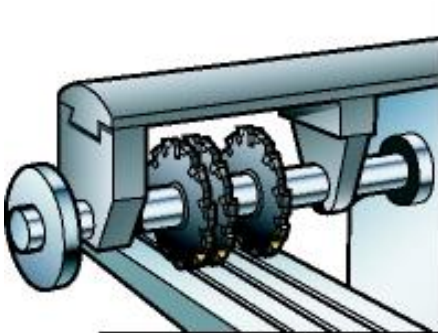
Nota: poiché due inserti operano insieme per asportare l'intera larghezza della cava, l'avanzamento è calcolato usando la metà del numero di inserti z_n .

Profondità di taglio

In generale, una CoroMill 331 esegue cave ad una profondità di a_e di 4 x larghezza a_p . Per cave più profonde, occorre ordinare una fresa speciale. Se occorre eseguire cave più profonde, l'avanzamento per dente deve essere ridotto. Se la cava è meno profonda, aumentare l'avanzamento.

Nota: la profondità di una cava può essere limitata dal diametro del mozzo, dalla forza di deformazione delle chiavette di trascinamento e dalla capacità dei vani di evacuazione truciolo.

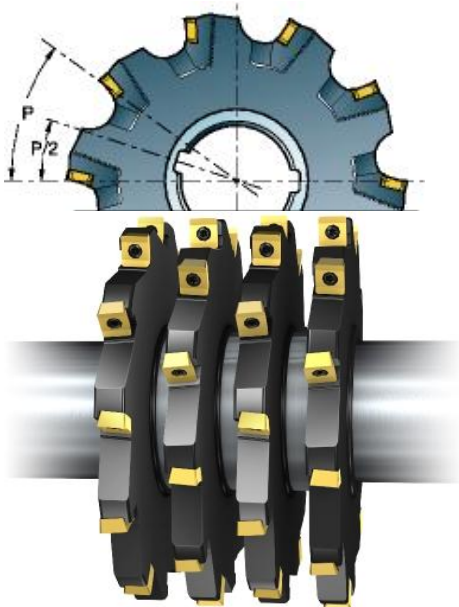
Volano – su macchine orizzontali



Nelle operazioni di fresatura a disco, in ogni momento solo alcuni denti sono impegnati e questo può generare vibrazioni torsionali dovute alla lavorazione a taglio interrotto. Si tratta di un effetto dannoso per il risultato della lavorazione e per la produttività.

- Usare un volano è spesso una buona soluzione per ridurre tali vibrazioni.
- I problemi causati da potenza, coppia e stabilità insufficienti nella macchina sono spesso risolte dall'uso corretto di volani.
- La necessità di usare un volano è maggiore in una macchina piccola a bassa potenza o in una macchina con maggior usura rispetto ad una macchina più grossa, stabile e potente.
- Posizionare il volano il più vicino possibile all'utensile.
- L'uso di un volano si traduce in una lavorazione più fluida, che a sua volta porta ad una riduzione di rumore e vibrazioni e maggior durata del tagliente.
- Oltre che per la fresatura discorde, un volano può essere anche montato sul mozzo in cui è montata la fresa.
- Per migliorare ulteriormente la stabilità in caso di lavorazione con fresa a disco, usare il volano più grande possibile consentito dall'applicazione.
- Unire un certo numero di dischi rotondi in acciaio al carbonio, ciascuno con un foro centrale ed una scanalatura per chiavetta adatta al mozzo rimane il metodo migliore per costruire un volano.
- L'effetto del peso di un volano aumenta man mano che aumenta il diametro del volano stesso. Questo significa che, se le circostanze consentono l'uso di un grande diametro, il peso del volano può essere ridotto.
- Il peso del volano può, se necessario, essere distribuito su più volani, laddove lo spazio lo consente.
- Maggiori velocità del mandrino ed un taglio più ampio riducono la necessità di un volano.
- Usare il diametro di fresa più piccolo possibile. La velocità del mandrino può quindi essere aumentata per una particolare velocità di taglio.

Fresatura "a pacco" con frese montate in modo sfasato

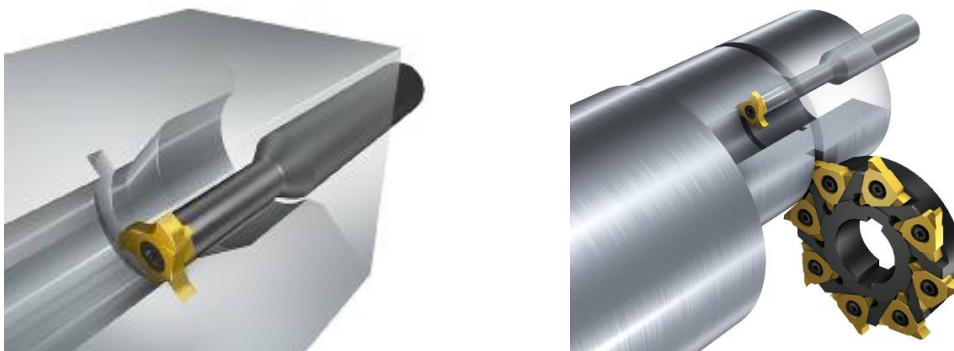


Una delle sedi per chiavetta è spostata dalla linea centrale di mezzo passo.

Le frese CoroMill 331, le versioni CoroMill 329, T-Max Q-Cutter e CoroMill 328, dotate di montaggio con alesaggio e sedi per chiavetta, possono essere disposte in modo sfasato per la fresatura di più di una cava contemporaneamente.

Spostare le frese di mezzo passo l'una rispetto all'altra aiuta ad evitare le vibrazioni. Questo riduce anche la necessità di volani.

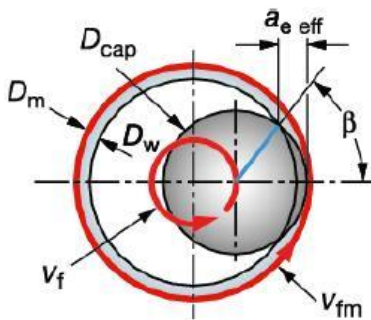
Fresatura di cave e scanalature strette e poco profonde



Le frese CoroMill 327/328 hanno più inserti taglienti disponibili per adattarsi alla maggior parte di piccole scanalature.

Applicazioni comuni comprendono la lavorazione di scanalature per sedi di anelli elastici e anelli di tenuta interni e di piccole scanalature rette o circolari esterne, in particolare su componenti che non possono essere ruotati.

Scanalatura interna



- Quando si usa la fresatura circolare, è opportuno programmare un'un'entrata adeguata.
- Considerare la relazione tra il diametro della fresa ed il diametro del foro, D_c/D_w . Minore è tale relazione, maggiore sarà l'impegno.

Fresatura a candela di cave

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



La fresatura a candela è preferita per le cave corte e poco profonde, soprattutto scanalature e tasche chiuse, e per la fresatura di sedi per chiavetta.

Le frese a candela sono gli unici utensili in grado di fresare cave chiuse che siano:

- Rette, curve o angolate
- Più grandi del diametro dell'utensile, tasche designate.

Le operazioni di esecuzione di cave più pesanti sono spesso eseguite usando frese per contornatura.

Scelta degli utensili

Frese a candela e frese per contornatura

	CoroMill® 690	CoroMill® 390	CoroMill® 490	CoroMill® 316	CoroMill® Plura
Max. profondità di taglio (a_p), mm	112	15.7/85	5.5	11	38
Dia. fresa (D_2), mm	50 - 84	12 - 42/32 - 200	20 - 80	10 - 25	2 - 20
Lavorazione in rampa	No.	Si	No.	Si	Si
Materiale	S	P M K N S H	P M K S H	P M K N S	P M K N S H

*La lavorazione in rampa è un metodo adatto per cave chiuse.

Consigli applicativi

Checklist e suggerimenti per una corretta applicazione

- Usare frese a candela dal taglio leggero con durata del tagliente lunga e prevedibile, montate in mandrini ad elevate prestazioni.
- Ridurre al minimo la distanza dall'attacco dell'utensile (stelo) al tagliente per ottenere la minor sporgenza possibile.
- Per elevate sporgenze dell'utensile, eseguire tagli poco profondi con avanzamenti maggiori.

- Prendere in considerazione l'avanzamento per tagliente per produrre uno spessore del truciolo soddisfacente. Usare frese con passo largo per evitare trucioli sottili, che possono generare vibrazioni, superfici insoddisfacenti e formazione di bave.
- Usare la dimensione utensile più grande possibile per ottenere la migliori relazione diametro/lunghezza e garantire la massima stabilità.
- Usare la fresatura concorde il più frequentemente possibile per ottenere l'azione di taglio più favorevole.
- Evacuare i trucioli dalla scanalatura. Usare aria compressa per evitare un eventuale accumulo.
- Usare l'accoppiamento Coromant Capto per ottenere la massima stabilità ed il miglior sostegno verso il mandrino.

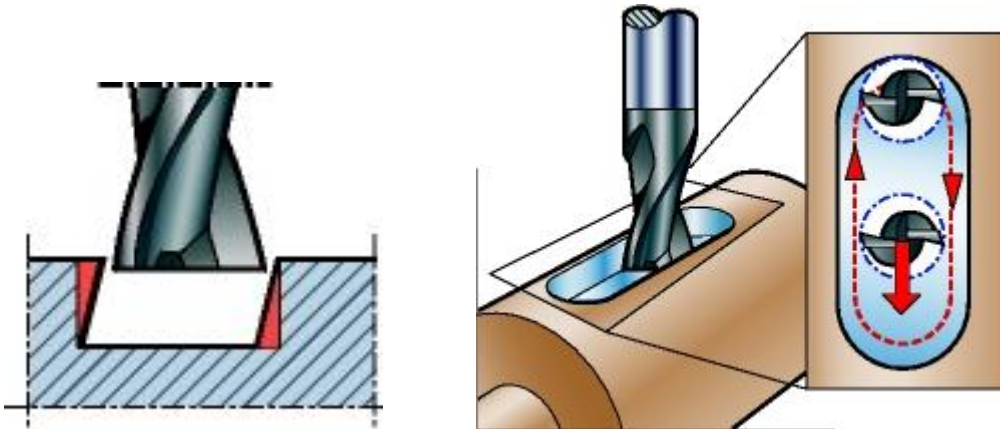
Scanalatura con frese a candela



La lavorazione di una scanalatura o una cava, spesso chiamata esecuzione di cave dal pieno, comprende tre facce lavorate:

- Le cave chiuse ad entrambe le estremità sono tasche, che richiedono frese a candela in grado di lavorare in direzione assiale. Per ulteriori informazioni sull'esecuzione di tasche.
- L'esecuzione di cave dal pieno con una fresa a candela è un'operazione complessa. La profondità di taglio assiale deve normalmente essere ridotta a circa il 70% della lunghezza del tagliente. Anche la rigidità della macchina e l'evacuazione del truciolo devono essere prese in considerazione per determinare il metodo di operazione migliore.
- Le frese a candela sono sensibili agli effetti delle forze di taglio. La flessione e la vibrazione possono essere fattori limitanti, soprattutto ad elevate velocità di lavorazione e con elevate sporgenze.

Esecuzione di cave per sedi chiavetta



Fresatura di sede per chiavetta in 2 passate.

Per questa particolare operazione, vengono fornite alcune specifiche indicazioni, in aggiunta ai consigli generali per la fresatura di superfici diritte ed operazioni di scanalatura.

A causa della direzione delle forze di taglio e della flessione degli utensili, la cava fresata in una sola passata non risulterà quadrata al 100%.

Migliore precisione ed elevata produttività si ottengono con l'impiego di una fresa a candela con diametro ridotto e suddividendo la lavorazione in due passate come segue:

1. Fresatura della sede per chiavetta – Sgrossatura dell'intera cava.
2. Fresatura laterale – Finitura intorno alla cava in fresatura discorde per generare un angolo perfettamente perpendicolare alla base.

La profondità di taglio radiale deve essere mantenuta bassa nelle operazioni di finitura per evitare la flessione del tagliente, causa importante di finiture superficiali insoddisfacenti e/o deviazione da uno spallamento a 90° effettivi.

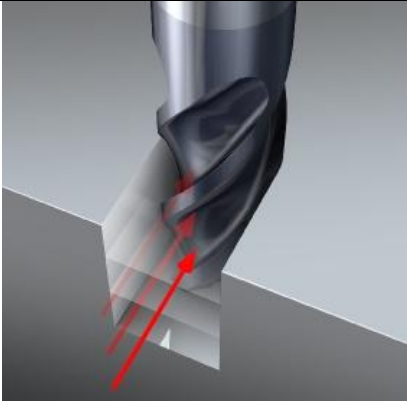
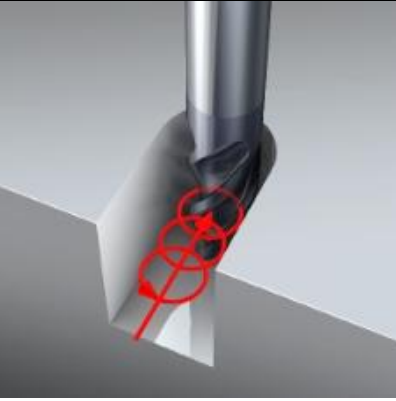
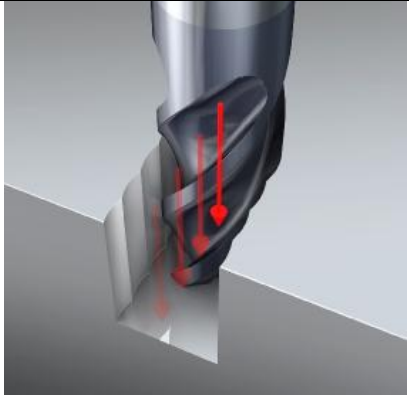
Metodi per aprire una cava o una tasca chiuse in un semilavorato integrale



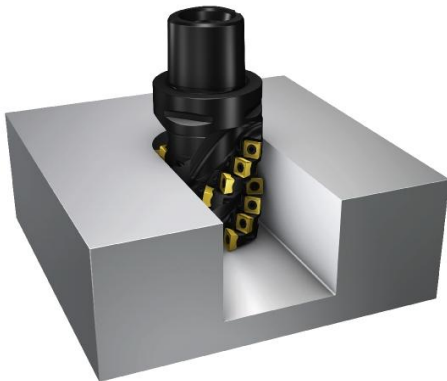
Nel preparare la fresatura di cave lunghe e strette, con larghezza piena, la lavorazione in rampa lineare è il metodo più diffuso, dopo la foratura, per aprire una tasca.

Per cave poco profonde, la fresatura in penetrazione "discontinua" può essere un'altra alternativa. La lavorazione in rampa circolare è usata per la fresatura di cave e tasche più grandi.

Confronto fra tre metodi diversi

Fresatura di cave convenzionale	Fresatura trocoidale	Fresatura a tuffo
		
+ È possibile usare macchine convenzionali a 3 assi + Elevati volumi di asportazione truciolo in condizioni stabili + Programmazione semplice + Ampia scelta di utensili – Genera elevate forze di taglio radiali – Sensibile alle vibrazioni; le cave profonde richiedono passate ripetute	+ Genera basse forze di taglio radiale; meno sensibilità alle vibrazioni + Flessione minima nella fresatura di cave profonde + Metodo produttivo per: - lavorazione di acciai duri e HRSA (ISO H e S) - applicazioni sensibili alle vibrazioni + La larghezza della cava deve essere pari al 70% (massimo) del diametro della fresa, D_c + Buona evacuazione del truciolo + Ridotta generazione di calore – Occorre più programmazione	+ Soluzione in applicazioni sensibili alle vibrazioni: - con sporgenze dell'utensile elevate nell'esecuzione di cave profonde • con macchine o set-up deboli – Bassa produttività in condizioni stabili – Richiede un'operazione di ripresa dei raccordi/finitura – La fresatura a candela può ostruire l'evacuazione del truciolo – Scelta limitata di utensili

Sgrossatura di cave con frese per contornatura



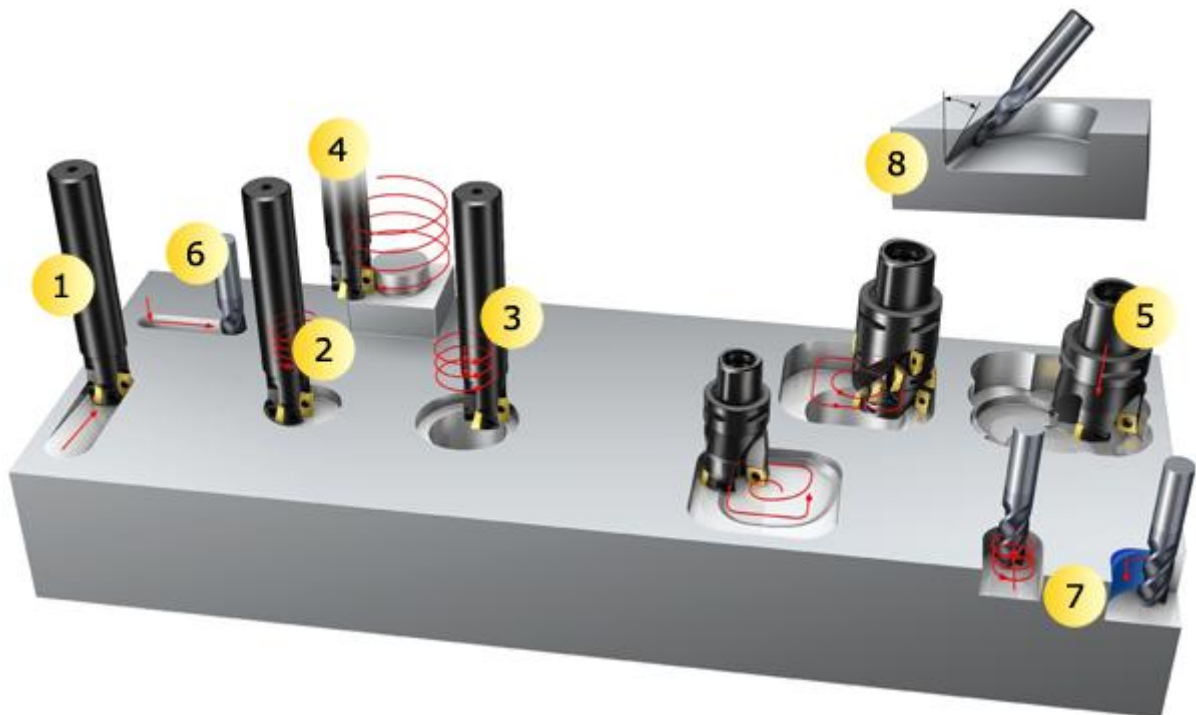
- Le frese con elevate capacità di asportazione del metallo sono generalmente usate per la lavorazione di sgrossatura.
- Versioni più corte possono generare cave con profondità e diametri massimi identici in macchine fresatrici stabili e potenti.
- Usare mandrini ISO 50 stabili, poiché queste frese spesso presentano forze radiali considerevoli.
- Controllare i requisiti di potenza e coppia, poiché questi sono spesso fattori limitanti per il raggiungimento di risultati ottimali.
- Prendere in considerazione il passo ottimale per ogni tipo di operazione.

Passo:	L	M	H
Fresatura di spallamenti			
Fresatura di cave	Profondo a_p/a_s Moderato a_p	Medio a_p/a_s Limitata	Moderato a_p/a_s -
v_c m/min:			



Versioni di lunghezza maggiore sono principalmente destinate ad operazioni di contornatura.

Fori e cavità

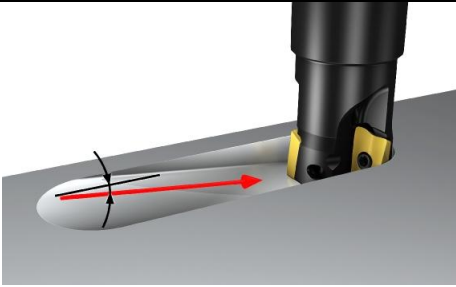
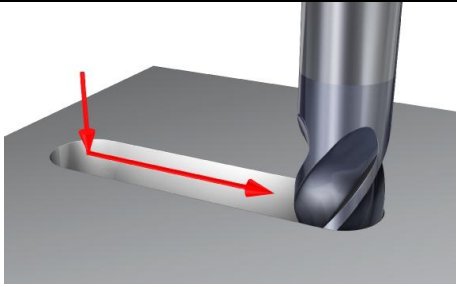


1. Lavorazione in rampa a due assi – Lineare
2. Lavorazione in rampa circolare
3. Allargatura di un foro
4. Fresatura/lavorazione in rampa esterna circolare
5. Fresatura a tuffo
6. Fresatura in penetrazione discontinua
7. Metodi di fresatura per piani
8. Tasche/angoli chiusi

Creazione di cavità

- Generazione di aperture in un pezzo integrale
- Allargatura di un foro o di una cavità
- Apertura/allargatura di una cavità o una tasca

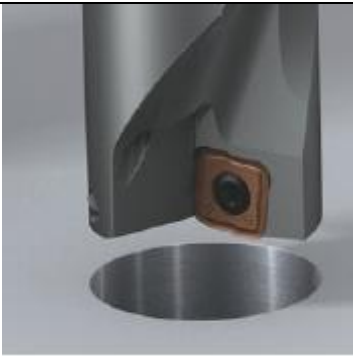
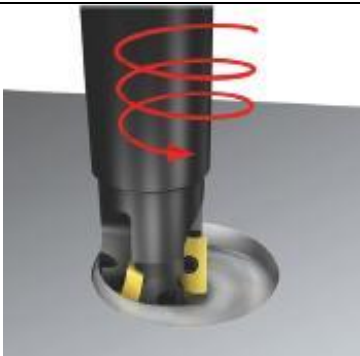
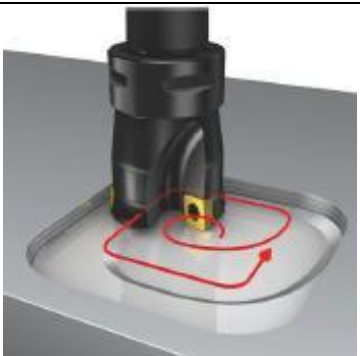
Generazione di aperture in un pezzo integrale

	
Lavorazione in rampa lineare	Fresatura in penetrazione "discontinua"

Apertura di una cava

La lavorazione in rampa lineare (su 2 assi contemporaneamente) è sempre preferibile rispetto alla fresatura in penetrazione "discontinua".

La fresatura in penetrazione "discontinua", è un metodo alternativo, ma spesso produce trucioli lunghi e genera forze di taglio indesiderate sulla fresa.

		
Foratura	Lavorazione in rampa circolare	Lavorazione in rampa di una cavità

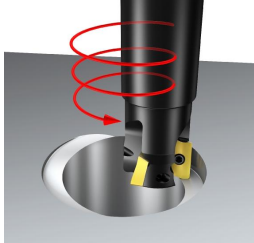
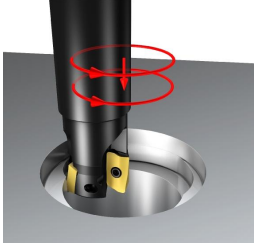
Apertura di un foro o di una cavità

La foratura è il metodo tradizionale e più rapido per produrre un foro, ma in alcuni materiali pone il problema della rottura del truciolo, poiché non ha la flessibilità necessaria per generare diametri diversi e forme non rotonde.

La lavorazione in rampa circolare (3 assi contemporaneamente) è un metodo meno produttivo rispetto alla foratura, ma può essere una buona alternativa nei seguenti casi:

- fori di grande diametro quando la potenza della macchina è limitata
- produzioni di piccole serie. Di norma, per diametri superiori a 25 mm, la fresatura è conveniente fino a una serie di circa 500 fori.
- realizzazione di fori di dimensioni diverse
- spazio limitato nel magazzino utensili per contenere punte di diverse dimensioni
- produzione di fori ciechi, quando occorre un fondo piano
- componenti non rigidi e con pareti sottili
- tagli interrotti
- materiali difficili da forare, a causa della rottura e dell'evacuazione del truciolo
- fluido di taglio non disponibile
- realizzazione di cavità/tasche ("fori non rotondi")

Allargatura di un foro o di una cavità

		
Barenatura	Lavorazione in rampa circolare	Fresatura circolare

Allargatura di un foro

La barenatura è normalmente il metodo più rapido, per gli stessi motivi della foratura, ma la fresatura rappresenta talvolta una buona alternativa. È possibile usare due metodi alternativi di fresatura: lavorazione in rampa circolare (3 assi) o fresatura circolare (2 assi). È preferibile la lavorazione in rampa circolare quando il foro è più profondo di $a_p \text{ max.}$ o in applicazioni particolarmente sensibili alle vibrazioni. La rotondità e concentricità del foro migliorano quando si usa la lavorazione in rampa, soprattutto in caso di elevate sporgenze. La rotondità migliora se il pezzo viene fatto ruotare invece di spostare la fresa secondo un percorso circolare. Questo vale sia per la lavorazione in rampa circolare sia per le operazioni di fresatura.

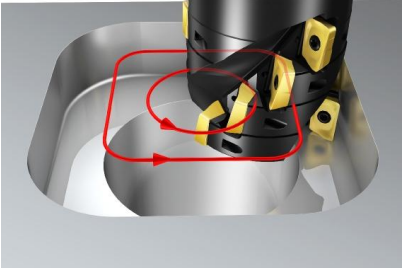
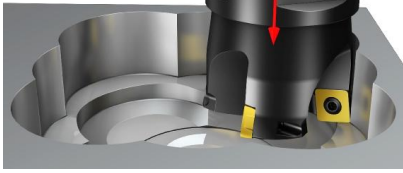
Allargatura di una cavità

La fresatura di spallamenti interni e la fresatura a tuffo richiedono un foro di partenza e dovrebbero essere considerate analoghe alla lavorazione in rampa di una cavità direttamente in un blocco integrale.

- La lavorazione in rampa (3 assi) ha il vantaggio di richiedere un solo utensile. Consente inoltre di realizzare forme tridimensionali ed è quindi adatta alla profilatura. Se utilizzata con metodi ad elevati

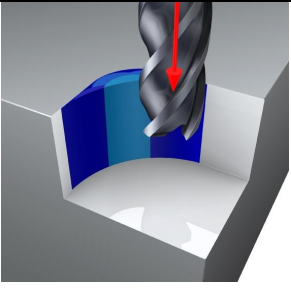
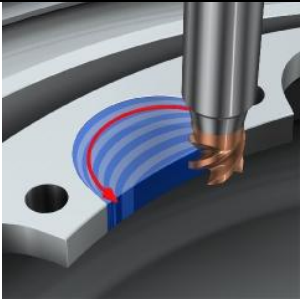
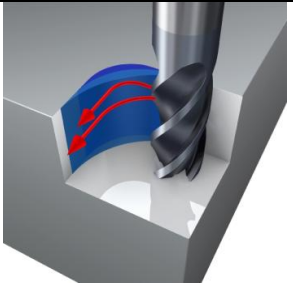
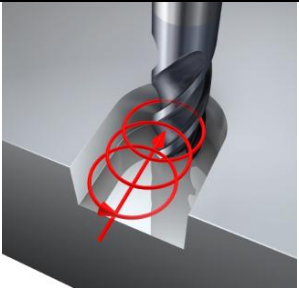
avanzamenti (leggeri e rapidi), le forze di taglio vengono orientate in modo tale da ridurre al minimo i problemi di vibrazione.

- La fresatura a tuffo spesso risolve i problemi legati a sporgenze lunghe e/o cavità profonde.
- La fresatura di spallamenti interni richiede una maggiore programmazione rispetto alla fresatura a tuffo, ma è più rapida.

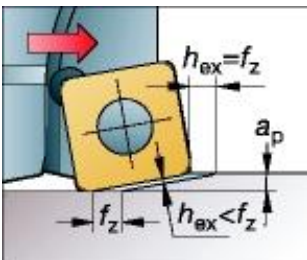
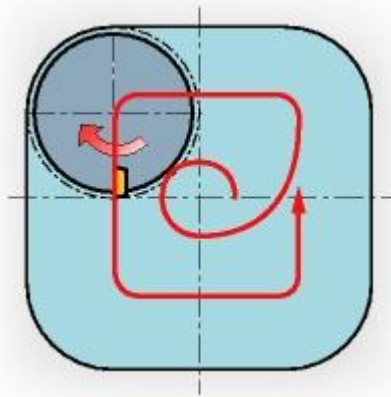
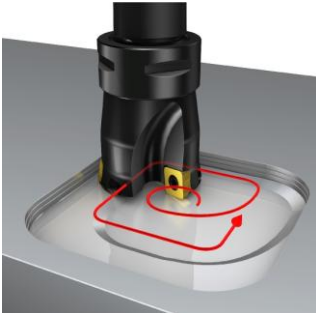
	
Fresatura di spallamenti interni	Fresatura a tuffo

Fresatura di ripresa (di sovrametallo residuo)

Al termine della sgrossatura di una cavità, spesso rimane del sovrametallo, soprattutto nei raccordi. La fresatura a tuffo con una fresa più piccola è un metodo che può essere utilizzato per avvicinarsi alla forma finale. La fresatura per piani (leggera e rapida) è un'altra tecnica spesso usata per la fresatura dei raccordi. La fresatura trocoidale è un tipo di fresatura per piani utilizzata anche per la fresatura di cave, tasche, ecc.

			
Lavorazione a tuffo in corrispondenza di raccordi	Metodo di fresatura per piani – Leggera e rapida	Fresatura per piani in corrispondenza di raccordi	Trocoidale

Apertura/allargatura di una cavità o una tasca



Percorso dell'utensile in senso antiorario, lavorazione in rampa

Sono possibili due metodi:

1. Lavorazione in rampa circolare (3 assi) – ridotto valore a_p

Usare una fresa con un angolo di registrazione ridotto, CoroMill 210 o le corrispondenti frese a elevato avanzamento CoroMill 316 o CoroMill Plura. Una fresa con inserti rotondi rappresenta un'altra alternativa. Per ulteriori informazioni, vedere la sezione Fresatura a elevato avanzamento a pagina D 60.

Questa tecnica "leggera e rapida" offre un'ottima velocità di asportazione del metallo ed è la scelta prioritaria per le macchine meno stabili (secondo la norma ISO 40) e quando la cavità ha una forma profilata, ad esempio uno stampo o matrice.

Nota: evitare di lavorare a fondo contro uno spallamento a 90° poiché l'effetto di un angolo di entrata ridotto sarà annullato e la profondità di taglio aumenterà sensibilmente.

Parametri di taglio:

- Diametro massimo della fresa = $1,5 \times$ il raggio di punta del componente
- Rampa circolare fino alla profondità desiderata, in senso antiorario
- Interpolare in entrata nel taglio successivo
- Taglio radiale, valore massimo $a_e = 70\% D_c$
- Taglio assiale per fresa con inserto rotondo $25\% iC$
- Raggio del percorso dell'utensile nell'angolo = D_c
- Ridurre l'avanzamento in prossimità dell'angolo.

2. Fresatura circolare (2 assi) – elevato valore a_p

Creare un foro tramite foratura, quindi passare a una fresa a candela per spallamenti o una fresa per contornatura. Una tipica area applicativa è la lavorazione di telai per il settore aeronautico (lavorazione di titanio).

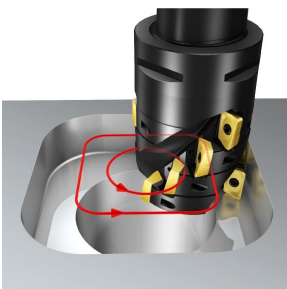
Suggerimenti applicativi

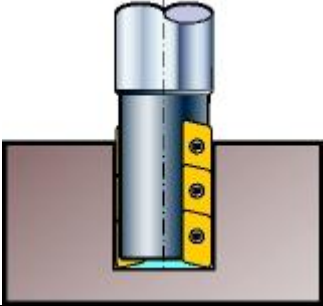
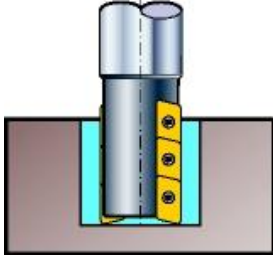
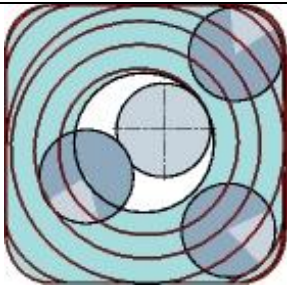
Accertarsi che vi sia una buona evacuazione del truciolo per evitare la rimacinazione dei trucioli o il loro intasamento:

- È preferibile un mandrino orizzontale (ISO 50).
- Refrigerante ad alta pressione o aria compressa con adduzione all'interno dell'utensile.
- D_c non dev'essere maggiore del 75% del diametro totale. Usare un taglio assiale ampio: valore massimo $a_p = 2 \times D_c$.

Entrare nel foro eseguito seguendo un percorso circolare:

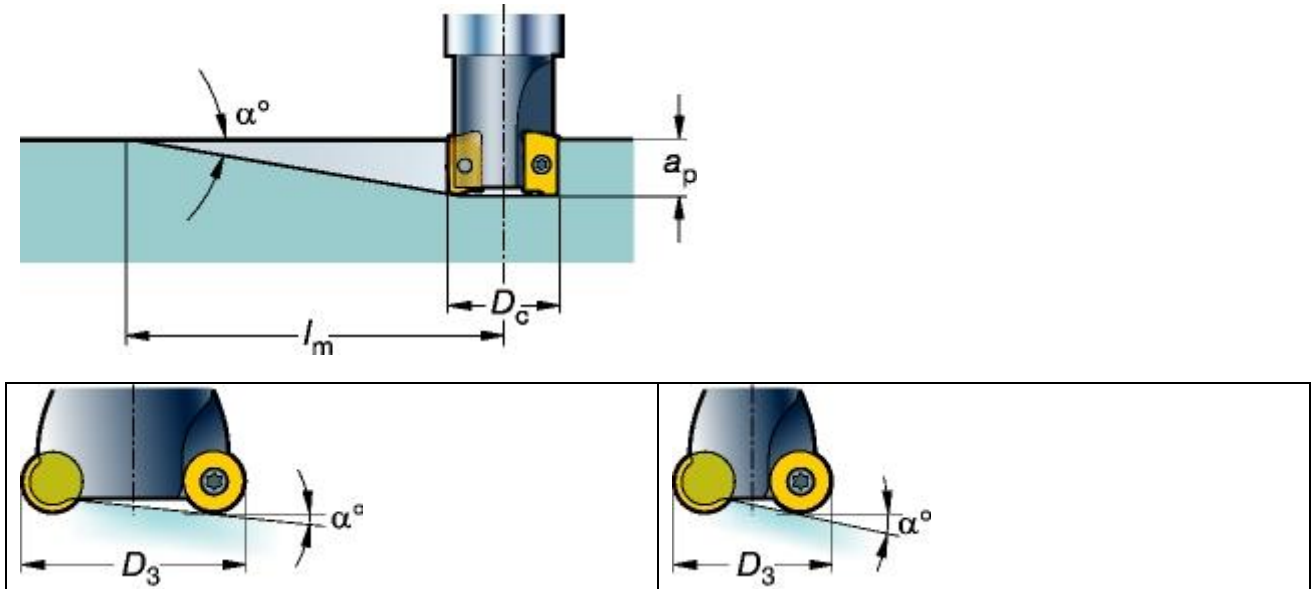
- Controllare l'impegno radiale: massimo $a_e = 30\%$ di D_c .
- Controllare l'impegno radiale per ridurre al minimo la vibrazione negli angoli e per massimizzare la produttività:
- Usare il raggio più grande possibile negli angoli, programmazione con percorso utensile a spirale.
 - Usare il valore D_c maggiore possibile e completare separatamente la ripresa dei raccordi, ad un valore non superiore a 1,5 volte il raggio di punta.



	
-	+
	
- Raggio di punta piccolo.	+ Programmazione con percorso a spirale.

Lavorazione in rampa a due assi – Lineare

- Consigli applicativi



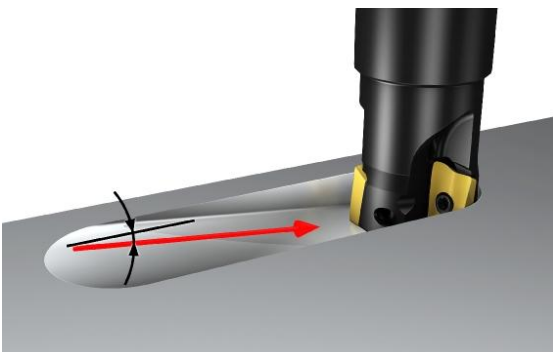
La lavorazione in rampa lineare è comunemente usata come metodo efficiente per lavorare cave chiuse, tasche e cavità ed elimina la necessità di usare una punta.

La lavorazione in rampa lineare è definita come l'avanzamento simultaneo in direzione assiale (Z) e in una direzione radiale (X o Y). Si tratta quindi di una lavorazione in rampa su due assi.

La lavorazione in rampa circolare è sempre preferibile rispetto alla lavorazione in rampa in linea retta (esecuzione di cava completa), poiché riduce il taglio radiale, consente una fresatura concorde pura e una migliore evacuazione del truciolo.

La rotazione in senso antiorario garantisce la fresatura concorde.

Consigli applicativi



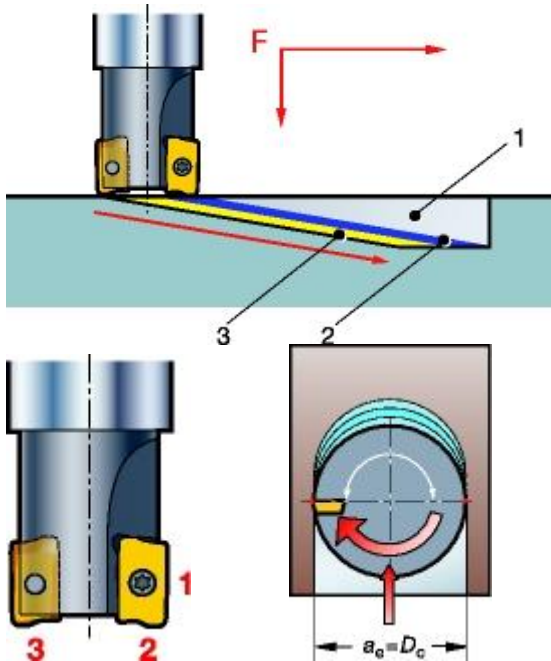
Lavorazione in rampa a due assi – Lineare

Un processo di taglio complesso

Nel corso di una lavorazione in rampa, tre processi di taglio si verificano contemporaneamente:

- 1) Taglio periferico con l'inserto anteriore
 - 2) Taglio del fondo con l'inserto anteriore
 - 3) Taglio del fondo con l'inserto posteriore
- Le forze di taglio sono sia assiali sia radiali.

Inoltre, le ulteriori sollecitazioni che sono poste sull'utensile, a causa dell'esecuzione della cava completa, il che significa $a_e = D_c$, creano una situazione che genera forze radiali elevate e trucioli lunghi.



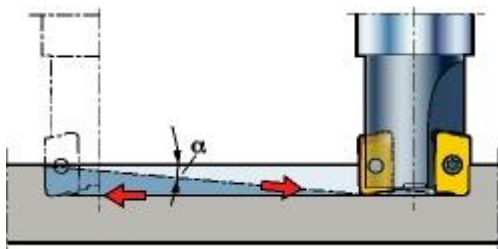
Consigli per la lavorazione

- Ridurre l'avanzamento al 75% del valore normale.
- Quando la fresatura di una cava è eseguita direttamente dopo la lavorazione in rampa, è importante continuare con un avanzamento inferiore per una distanza corrispondente al diametro della fresa, finché l'inserto posteriore non ha terminato il taglio.
- Usare del fluido da taglio per favorire l'evacuazione del truciolo.
- Ridurre il raggio sull'utensile per ridurre l'area di contatto.
- La lavorazione in rampa in linea retta deve essere limitata a cave di larghezza inferiore a 30 mm, se l'accesso per la lavorazione in rampa elicoidale è limitato.

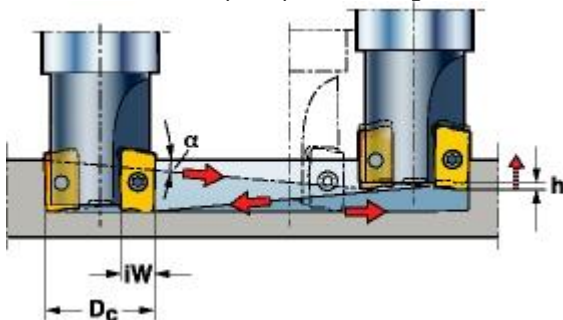
Lavorazione in rampa progressiva

Quando si lavora in rampa con diverse passate per realizzare una cava profonda, la produttività può essere facilmente aumentata operando in entrambe le direzioni (lavorazione in rampa progressiva) invece che in una sola (lavorazione in rampa a passata singola).

Nota: quando la fresa avanza con un angolo di penetrazione massimo, deve essere sollevata della distanza h prima di cambiare direzione, in modo da evitare danni alla parte centrale del corpo della fresa.

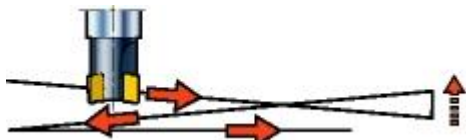


Lavorazione in rampa a passata singola



Correzione del percorso dell'utensile:

$$h = \text{Tang } \alpha (D_c - (2 \times iW))$$

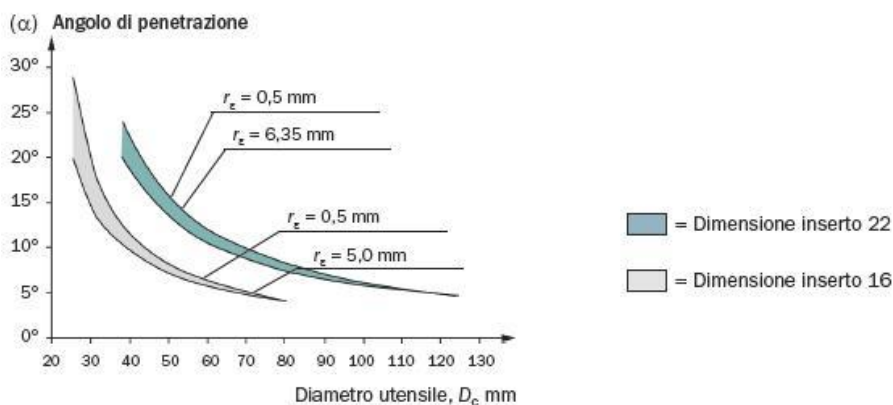


Lavorazione in rampa progressiva con angolo di penetrazione massimo.

Il raggio dell'inserto incide sull'angolo di penetrazione massimo

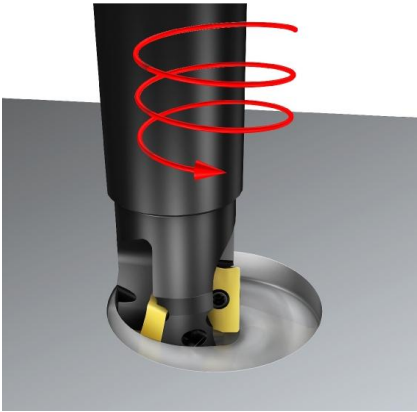
Esempio CoroMill® 790

Le curve nel diagramma sono valide per i raggi minimo e massimo. Per i raggi intermedi, eseguire l'interpolazione.



Lavorazione in rampa circolare

- Considerazioni sul processo
- Lavorazione in rampa circolare - Frese di scelta prioritaria



La lavorazione in rampa circolare (chiamata anche interpolazione elicoidale, interpolazione a spirale, foratura orbitale, ecc.) è un'alternativa alla foratura.

Si tratta del movimento simultaneo lungo un percorso circolare (X e Y) accompagnato da un avanzamento assiale (Z) ad un passo determinato.

Rispetto alla lavorazione in rampa lineare (esecuzione di cave dal pieno) l'interpolazione elicoidale è un processo molto più semplice in quanto consente un taglio radiale ridotto, la fresatura concorde pura e una migliore evacuazione del truciolo.

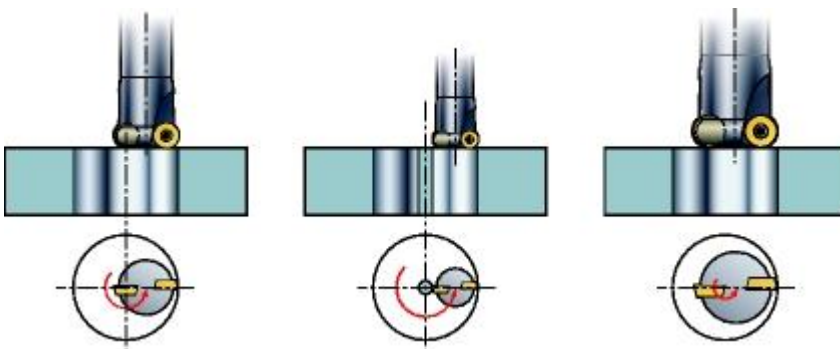
La rotazione in senso antiorario garantisce la fresatura concorde.

Considerazioni sul processo

Nella lavorazione in rampa circolare, vanno presi in considerazione tre fattori importanti che, se non valutati correttamente, possono creare problemi:

1. Selezione della fresa per la dimensione del foro
2. Passo per giro
3. Velocità di avanzamento

1. Selezione della fresa per la dimensione del foro



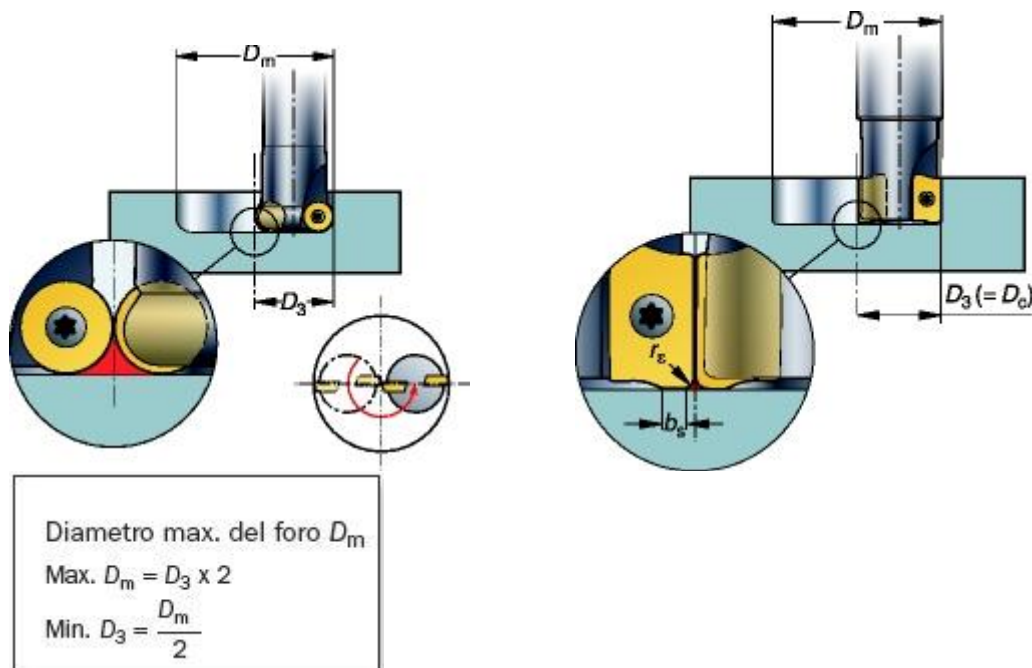
La selezione della dimensione della fresa è molto importante quando si usano frese con tagliente non al centro.
Il diametro della fresa garantisce che l'inserto tagli lungo l'asse del foro.

Il diametro della fresa è troppo piccolo e lascerà una "carota" al centro (come nella foratura ad enucleare). Utilizzando questo metodo la "carota" deve essere supportata poichè cadrà.

Se la fresa è troppo grande, l'inserto non lavora la parte centrale del foro e si formerà un piolo che costituirà un intralcio sul fondo della fresa.

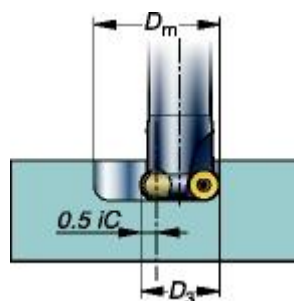
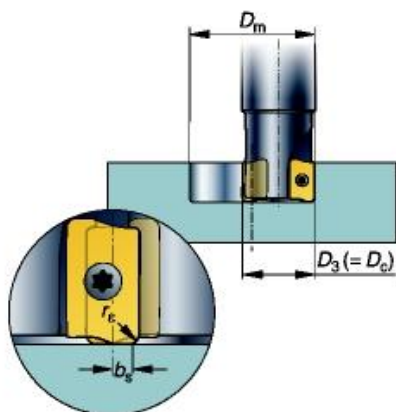
Diametro massimo del foro

- Il diametro massimo del foro D_m , che può essere prodotto con una spirale continua è pari a $2 \times D_3$.
- Questa è l'esecuzione di una cava dal pieno e lascerà un piolo al centro di un foro cieco.
- Il piolo viene rimosso tramite avanzamento verso il centro per ottenere un fondo piatto.



Diametro minimo, fondo piatto

- Per evitare che non si formi un piolo sul fondo di un foro cieco, la dimensione del raggio dell'inserto deve essere attentamente valutata.
- Se la fresa è troppo grande, il piolo non può essere rimosso con avanzamento verso il centro.
- Per CoroMill 390, la lunghezza dell'inserto b_s , deve essere aggiunta alla dimensione del raggio.



CoroMill® 390 –
Diametro minimo del foro D_m

$$\text{Max. } D_3 = \frac{D_m}{2} + (r_e + b_s)$$

$$\text{Min. } D_m = (D_3 - (r_e + b_s)) \times 2$$

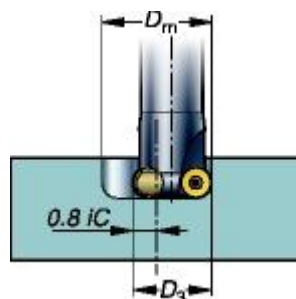
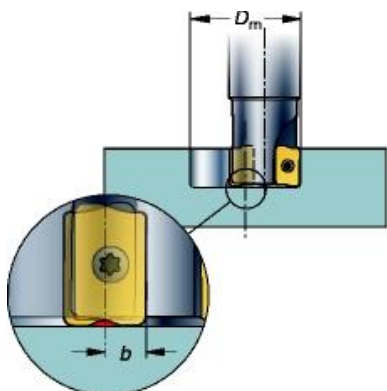
CoroMill® 300 –
Diametro minimo del foro D_m

$$\text{Max. } D_3 = \frac{D_m}{2} + 0.5 \text{ iC}$$

$$\text{Min. } D_m = (D_3 - 0.5 \text{ iC}) \times 2$$

Diametro minimo del foro passante

- Il diametro minimo che evita la collisione del corpo della fresa in caso di taglio non centrale.
- b è l'incremento di passata massimo consentito per la lavorazione a tuffo ed è lo stesso valore della sovrapposizione massima.
- Per gli inserti rotondi, b deve essere calcolato come $b = 0,8 \times \text{iC}$.
- Il piolo non può essere rimosso.



CoroMill® 390 –
Diametro minimo del foro D_m

$$\text{Max. } D_3 = \frac{D_m}{2} + b$$

$$\text{Min. } D_m = (D_3 - b) \times 2$$

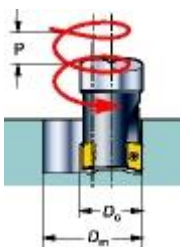
CoroMill® 300 –
Diametro minimo del foro D_m

$$\text{Max. } D_3 = \frac{D_m}{2} + 0.8 \text{ iC}$$

$$\text{Min. } D_m = (D_3 - 0.8 \text{ iC}) \times 2$$

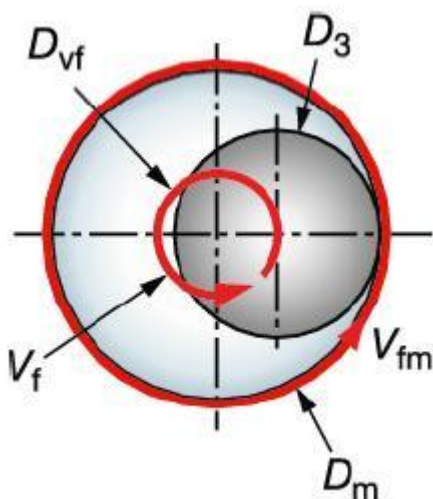
2. Passo

Il passo non può mai essere superiore al valore massimo a_p della fresa e dipende dal diametro del foro, dal diametro della fresa e dall'angolo di penetrazione.



3. Velocità di avanzamento

Il valore dell'avanzamento dipende sempre dal valore h_{ex} che corrisponde alla velocità di avanzamento periferica, v_{fm} . Tuttavia, molte macchine richiedono l'avanzamento del centro dell'utensile, v_f , che deve essere calcolato correttamente:



$$f_z = h_{ex}$$

$$v_{fm} = n \times f_z \times z_c$$

$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$

D_{vf} = percorso programmato della fresa

Velocità di avanzamento programmata:

v_{fm} = quando si usa la compensazione del raggio

v_f = quando si usa l'avanzamento del centro dell'utensile

		20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
P	Fondo piatto	CoroMII® Plura/CoroMII® 316					CoroMII® 390			CoroMII® 210												
	Foro passante	CoroMII® Plura/CoroMII® 316	CoroMII® 390							CoroMII® 210												
M	Fondo piatto	CoroMII® Plura/CoroMII® 316					CoroMII® 390						CoroMII® 300									
	Foro passante	CoroMII® Plura/CoroMII® 316	CoroMII® 390							CoroMII® 300												
K	Fondo piatto	CoroMII® Plura/CoroMII® 316					CoroMII® 390			CoroMII® 210												
	Foro passante	CoroMII® Plura/CoroMII® 316	CoroMII® 390							CoroMII® 210												
N	Fondo piatto	CoroMII® Plura/CoroMII® 316					CoroMII® 390										CoroMII® 790					
	Foro passante	CoroMII® Plura/CoroMII® 316	CoroMII® 390					CoroMII® 790														
S	Fondo piatto	CoroMII® Plura/CoroMII® 316					CoroMII® 390						CoroMII® 300									
	Foro passante	CoroMII® Plura/CoroMII® 316	CoroMII® 390							CoroMII® 210												

Allargatura di un foro

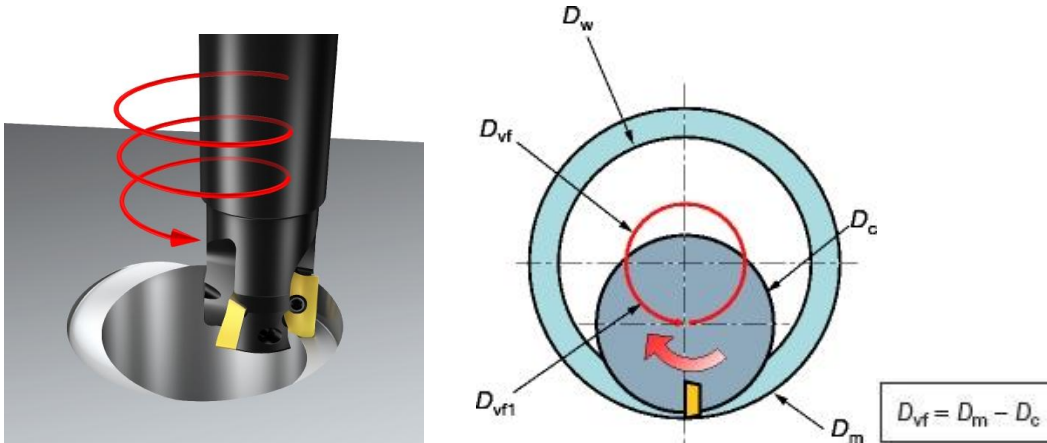
L'allargatura di un foro esistente può essere eseguito tramite lavorazione in rampa circolare o fresatura circolare.

Lavorazione in rampa circolare - 3 assi

- Lavorazione in rampa costante.
- Nessuna entrata né uscita.
- Tagliente costantemente impegnato.
- Azione di lavorazione in rampa: taglio del fondo

Scelta prioritaria:

- La profondità del foro è maggiore del valore a_p per l'utensile.
- Miglior concentricità e rotondità del foro.
- Nelle applicazioni sensibili alle vibrazioni.



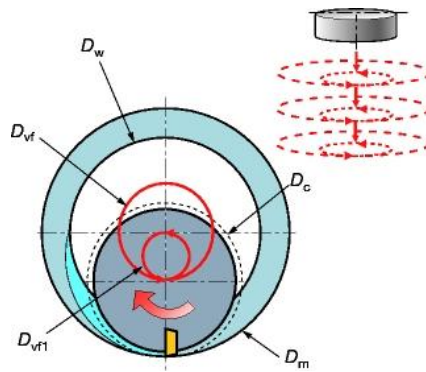
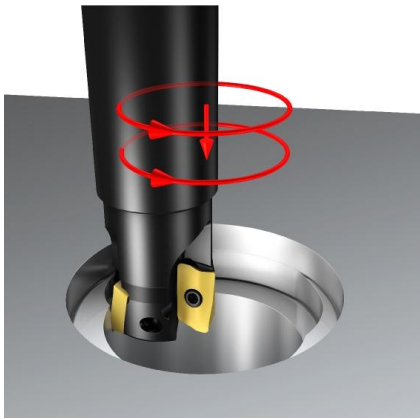
Fresatura circolare – 2 assi

La fresatura circolare è un metodo alternativo all'uso tradizionale di utensili per barenatura. La fresatura circolare può essere eseguita spostando la maggior parte delle frese a 90° lungo un percorso circolare.

- Valore costante Z.
- Entrata e uscita per ciascun livello.
- L'interpolazione in entrata deve essere programmata.
- La tolleranza del foro non è buona come nella lavorazione elicoidale.
- Irregolarità ad ogni passata.

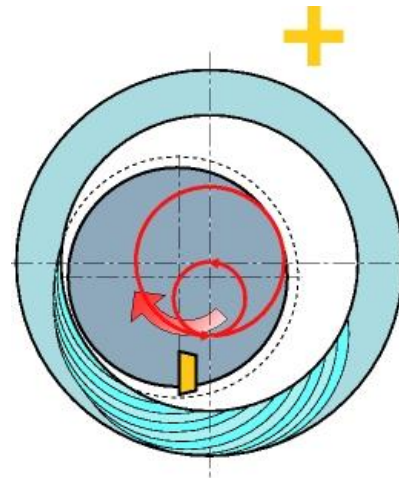
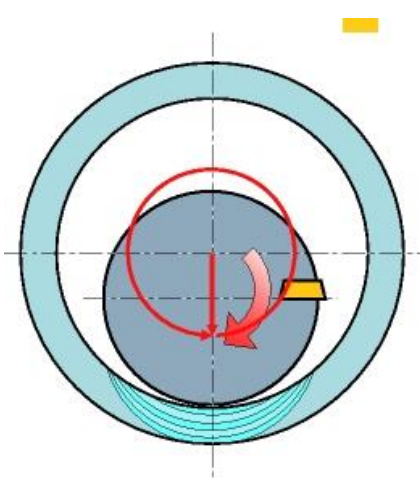
Scelta prioritaria:

- Programmare il percorso dell'utensile su un valore superiore a 360 gradi per evitare le irregolarità.
- È necessaria una sola passata.
 - Fresa con elevata capacità a_p (CoroMill Plura, fresa per contornatura CoroMill 390).
 - Foro poco profondo.
- Capacità di lavorazione in rampa scarsa o inesistente; tagliente lungo senza supporto assiale.



$$D_{vf} = D_m - D_c$$

$$D_{vf1} = \frac{D_{vf}}{2}$$

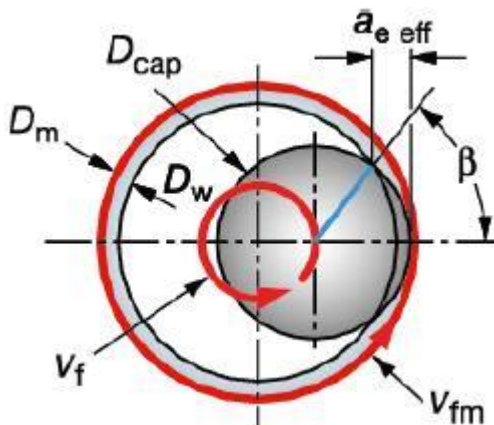


Ingresso nel taglio: l'interpolazione all'entrata del taglio assicura la produzione di trucioli sottili in uscita. Angolo di impegno ridotto: riduce le vibrazioni e garantisce elevata produttività.

Calcolo dell'avanzamento

L'avanzamento dev'essere ridotto a causa di:

- Maggior valore a_e rispetto al taglio in linea retta, che riduce l'effetto di assottigliamento del truciolo.
- L'avanzamento periferico è maggiore rispetto all'avanzamento del centro dell'utensile.
- Calcolare l'avanzamento in base a D_{vf} .

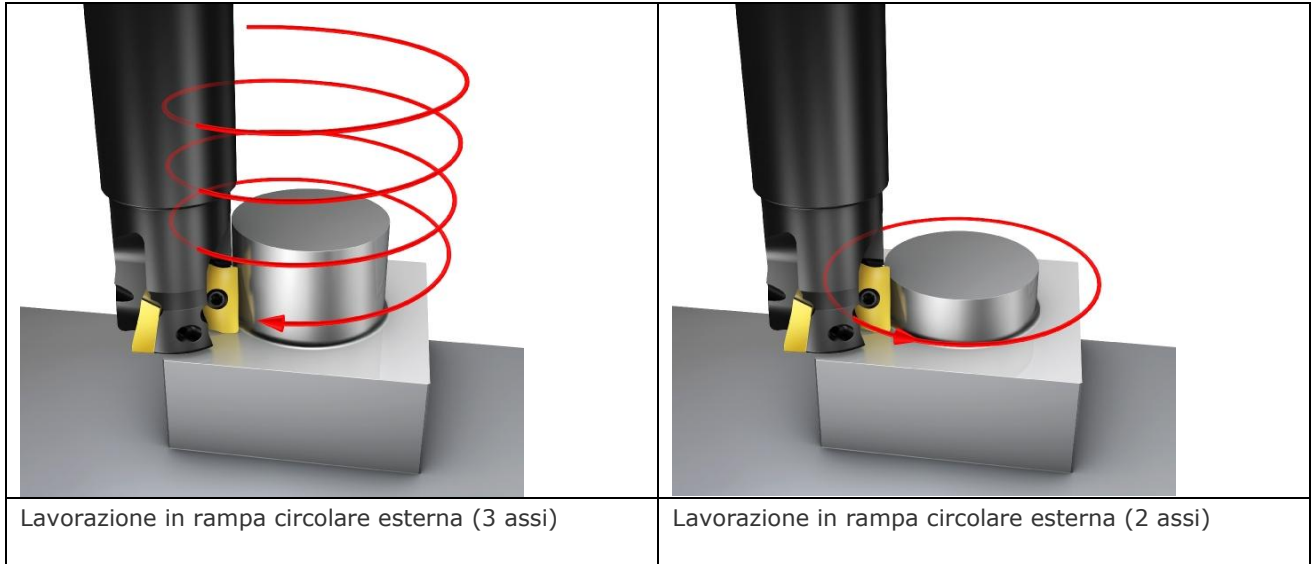


$$f_z = \frac{h_{ex}}{\sin \beta}$$

$$v_{fm} = n \times f_z \times z_c$$

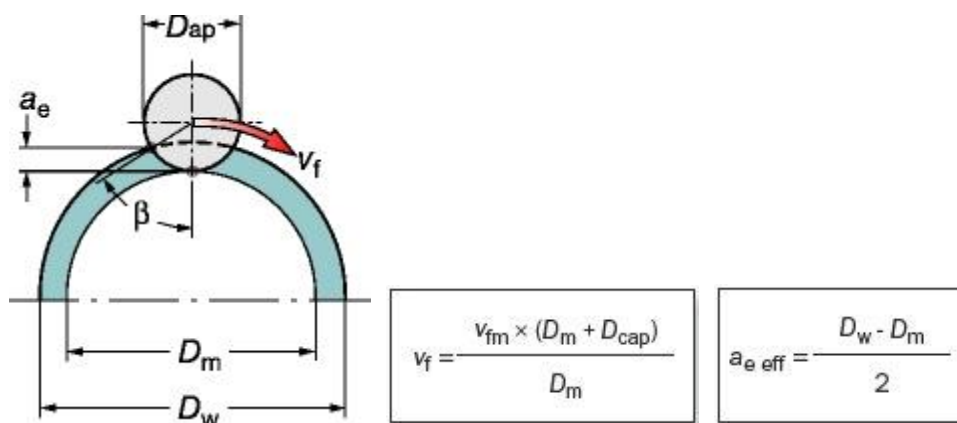
$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$

Fresatura/lavorazione in rampa esterna circolare



Rispetto alla fresatura/lavorazione in rampa interna circolare:

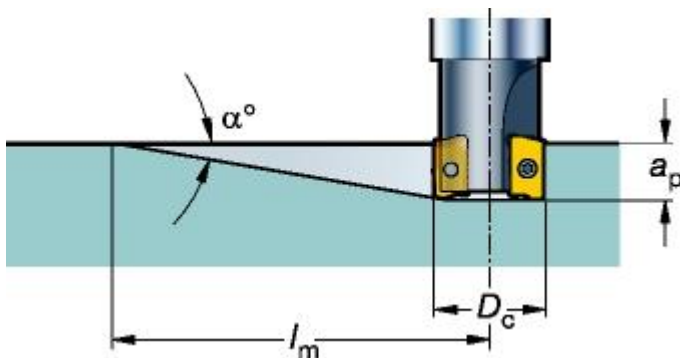
- L'avanzamento del centro dell'utensile, v_f , aumenta invece di diminuire.
- La profondità radiale, a_e , si riduce notevolmente con la fresatura esterna, pertanto è possibile usare una velocità di taglio maggiore.
- h_{ex} viene calcolato nello stesso modo della contornatura.
- Per il resto, la tecnica di programmazione è molto simile a quella della fresatura interna dei fori.



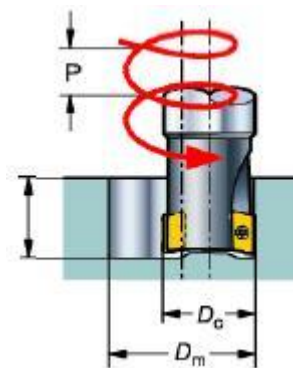
Scelta degli utensili per rampa

Le frese in grado di eseguire la lavorazione in rampa lineare sono anche in grado di eseguire la lavorazione in rampa circolare.

	CoroMill® Plura				CoroMill® 316			
	VFD, elica 50°				Fresa a candela con raggio di punta			
	Circolare		Lineare		Circolare		Lineare	
	Profondità max. del foro				$a_p < 0.55 \times D_c$			
Qualità del foro		H7						
D_c alt. D_3 (mm)	Foro passante		$a_p = 0.9 \times D_c$		Foro passante		$a_p = 0.55 \times D_c$	
	D_m min	P mm/ giro	α°	l_m	D_m min	P mm/ giro	α°	l_m
4	4.8	0.26	6.7	30.6				
6	7.2	0.43	6.7	46.0				
8	9.6	0.53	6.7	61.3				
10	12	0.66	6.7	76.6	12	0.78	10	31.2
12	14.4	1.39	10	61.2	14.4	0.89	10	37.4
16	19.2	1.77	10	81.7	19.2	1.1	10	49.9
20	24	2.21	10	102.1	24	1.37	10	62.4
25					30	1.65	10	78.0



Lavorazione in rampa lineare



Lavorazione in rampa circolare

P = passo

	CoroMill® 390								CoroMill® 790							
	Dimensione inserto 11 e 18* r _e =0.8 mm				Dimensione inserto 17 r _e =0.8 mm				Dimensione inserto 16 r _e =0.8 mm				Dimensione inserto 22 r _e =0.8 mm			
	Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare	
	< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.	
Profondità max. del foro	H9		Max.		H9		Max.		H7		Max.		H7		Max.	
Qualità del foro	H9		Max.		H9		Max.		H7		Max.		H7		Max.	
D _e alt. D ₃ (mm)	Foro passante		a _p = 10/15 mm		Foro passante		a _p = 15 mm		Foro passante		a _p = 12 mm		Foro passante		a _p = 18 mm	
	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m
12	14	0.4	6.0	99												
16	20	2.0	10.5	54												
20	24	2.0	5.5	104												
25	39	3.0	5.0	114	33	6.0	15.5	59	28.8	4.3	19	45.7				
32	53	3.3	3.6	159	47	4.5	6.7	135	42.8	8.1	13	66				
36	61	2.7	2.6	220					50.8	9.3	11	78				
40	78*	7.0*	6.8*	132*	63	4.0	3.9	231	58.8	10.2	9	89	51	11.5	18	74
44	86*	6.5*	6.0*	149*					60.8	10.8	8	101	59	13.7	16	84
50	98*	6.0*	5.5*	163*	83	1.0	2.8	323	78.8	11.6	7	118	71	15.7	13	100
54	108*	4.5*	5.0*	179*					86.8	11.9	6	130	79	11.7	12	111
63	124*	4.0*	4.0*	225*	109	1.6	2.1	430					97	18	9	134
66	130*	3.5*	3.7*	243*									103	18	9	141
80	158*	3.0*	3.1*	290*	143	1.6	1.6	565					131	18	7	176

* Gli inserti di dimensione 18 hanno geometrie per la lavorazione in rampa specifiche -xMR

	CoroMill® 210								CoroMill® 300							
	Dimensione inserto 09				Dimensione inserto 14				Dimensione inserto 08				Dimensione inserto 10			
	Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare	
	< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.	
Profondità max. del foro	H13		Max.		H13		Max.		H13		Max.		H13		Max.	
Qualità del foro	H13		Max.		H13		Max.		H13		Max.		H13		Max.	
D _e alt. D ₃ (mm)	Foro passante		a _p = 1.2 mm		Foro passante		a _p = 2.0 mm		Foro passante		a _p = 4 mm		Foro passante		a _p = 5 mm	
	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m	D _m min	P mm/giro	Cl°	l _m
25	32	1.2	14.5	4.6					36.4	2	8.0	28.5	32.4	2.5	13.5	20.8
32	46	1.2	8	8.5					50.4	2	5.0	45.7	46.4	2.5	7.5	38.0
35	52	1.2	7	9.7					56.4	2	4.0	57.2				
36	54	1.2	7	9.7												
40									66.4	2	3.5	66.4	52.4	2.5	6.5	43.9
42	66	1.2	5	13.7					70.4	2	3.0	76.3	62.4	2.5	5.0	57.2
50	82	1.2	3.5	19.6					86.4	2	2.5	91.6	86.4	2.5	4.5	63.5
52	86	1.2	3.3	20.8	76	2	5.8	19.6	90.4	2	2.0	114.5				
63	108	1.2	2.6	26.4	98	2	3.8	30.1	112.4	2	1.5	152.8				
66	114	1.2	2.4	28.6	104	2	3.2	35.7	118.4	2	1.5	152.8				
80					132	2	2.4	47.7	146.4	2	1.0	229.2				

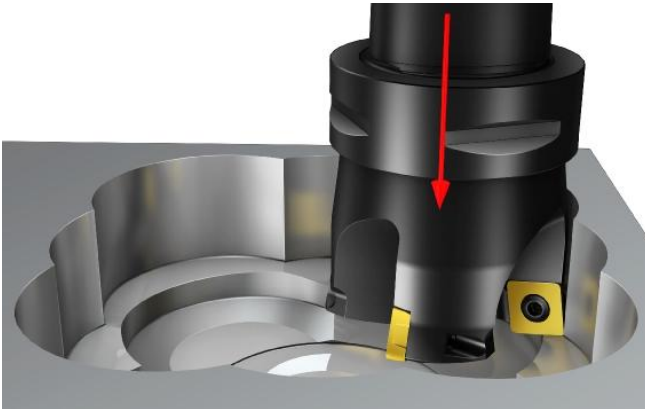
	CoroMill® 300											
	Dimensione inserto 12				Dimensione inserto 16				Dimensione inserto 20			
	Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare	
	< i_2^{**}		Max.		< i_2^{**}		Max.		< i_2^{**}		Max.	
Profondità max. del foro	H13		Max.		H13		Max.		H13		Max.	
Qualità del foro	H13		Max.		H13		Max.		H13		Max.	
D_1 alt. D_3 (mm)	Foro passante		$a_p = 6$ mm		Foro passante		$a_p = 8$ mm		Foro passante		$a_p = 10$ mm	
	D_m min	P mm/ giro	α°	l_m	D_m min	P mm/ giro	α°	l_m	D_m min	P mm/ giro	α°	l_m
32	42.6	3	12.0	28.2								
34	46.6	3	11.5	29.5								
36	48.6	3	10.5	32.4								
40	58.6	3	8.0	42.7								
42	62.6	3	7.5	45.6								
50	78.6	3	5.5	62.3								
52	82.6	3	5.0	68.6	75.6	4	7.0	65.2				
63	104.6	3	3.5	98.1	97.6	4	5.0	91.4				
66	110.6	3	3.5	98.1	103.6	4	4.5	101.6	96	5	9.4	60.5
80	138.6	3	2.5	137.4	131.6	4	3.5	130.8	124	5	6.7	85.2
100					171.6	4	2.5	183.2	164	5	4.8	119.2
125					221.6	4	1.5	306.5	124	5	3.5	163.5

	CoroMill® 200															
	Dimensione inserto 10				Dimensione inserto 12				Dimensione inserto 16				Dimensione inserto 20			
	Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare		Circolare		Lineare	
	< i ₂ **				< i ₂ **				< i ₂ **				< i ₂ **			
Profondità max. del foro	< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.		< i ₂ **		Max.	
Qualità del foro	H13				H13				H13				H13			
D ₁ alt. D ₃ (mm)	Foro passante		a _p = 5 mm		Foro passante		a _p = 6 mm		Foro passante		a _p = 8 mm		Foro passante		a _p = 10 mm	
	D _m min	P mm/ giro	α°	l _m	D _m min	P mm/ giro	α°	l _m	D _m min	P mm/ giro	α°	l _m	D _m min	P mm/ giro	α°	l _m
25	32	2,5	13	22												
32					42	3	13	26								
40					58	3	9,5	32	50	4	13	35				
50					78	3	6,5	49	70	4	11	35	62	5	13	43
63					104	3	4,5	68	96	4	7	48	88	5	11	45
80					138	3	3,5	98	130	4	5	70	122	5	7	67
100					178	3	2,5	137	170	4	3,5	102	162	5	5	95
125									220	4	2,5	131	212	5	3,5	127
160													282	5	2,5	191

* Gli inserti di dimensione 18 hanno geometrie per la lavorazione in rampa specifiche -xMR

Fresatura a tuffo

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



Nella fresatura a tuffo, il taglio è eseguito all'estremità dell'utensile invece che alla periferia. Questo processo è vantaggioso grazie al cambio di direzione delle forze di taglio da prevalentemente radiale ad assiale. In generale, la fresatura a tuffo è un metodo alternativo quando la fresatura laterale non è possibile a causa delle vibrazioni. Per esempio:

- Quando la sporgenza dell'utensile è maggiore di $4 \times D_c$
- Quando la stabilità è insoddisfacente
- Per la semifinitura degli angoli
- Per materiali difficili da tagliare, come il titanio.

Può anche essere un'alternativa in caso di limiti in termini di potenza o coppia della macchina.

Nota: in condizioni favorevoli, la fresatura a tuffo non è la scelta prioritaria, data la ridotta velocità di asportazione del metallo.

Scelta degli utensili

La selezione della fresa è determinata principalmente dal diametro. CoroMill 210 e la fresa a tuffo Coromant R215 sono specifiche per la lavorazione a tuffo.

Foratura a tuffo

La lavorazione a tuffo con utensili per foratura può essere più efficace fino a circa $D_c = 35 \text{ mm}$, vedere Foratura.

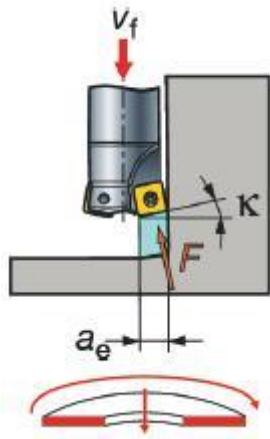
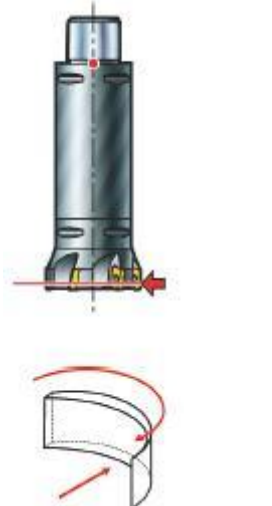
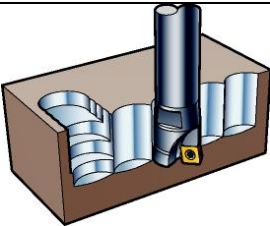
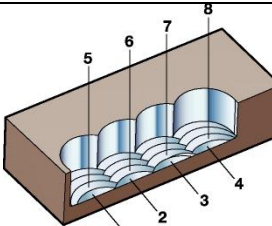
Tipo		Applicazione	Misura Inserto (mm)	Avanzamento per dente (mm) f_z	Incremento di passata massimo b	Diametro fresa, Gamma (mm) D_c
	CoroMill® 210	Scolta prioritaria per la sgrossatura con elevata sporgenza	09 14	0.1 0.15	8 13	25 - 86 52 - 160
	Fresa a tuffo CoroMant R215	Lavorazione pesante: diametro grande con elevata sporgenza	25	0.15	22	80 - 160
	CoroMill® Plus	Piccoli raggi di punta profondi	-	0.05	100% D_c	1 - 25
	CoroMill® 316	Piccoli raggi di punta profondi	-	0.05	100% D_c	10 - 25
	CoroMill® 390		11 17	0.15	5.5 8.5	12 - 80 25 - 125
	CoroMill® 490		08	0.15	2 mm	20 - 125
	CoroMill® 500	Esecuzione di cave in materiali duri	5 ~ 20	0.15	80% D_c	10 - 200

Consigli applicativi

Processo di taglio

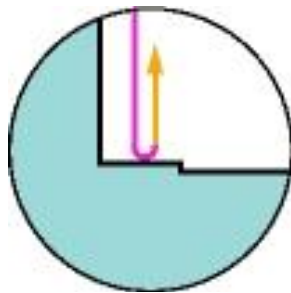
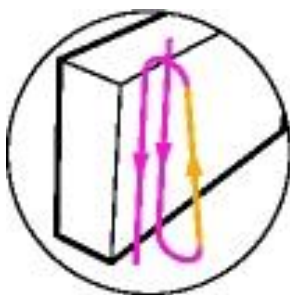
La fresatura a tuffo è considerevolmente diversa dalla fresatura tradizionale. Il taglio è eseguito all'estremità dell'utensile invece che alla periferia. Questo modifica vantaggiosamente la direzione delle forze di taglio che da prevalentemente radiale diventa assiale. Può essere raffrontata a un'operazione di barenatura con tagli interrotti.

Assorbimento di potenza e rumore sono mantenuti a bassi livelli.

	
Fresatura a tuffo = barenatura interrotta. Forze di taglio assiali.	Fresatura tradizionale. Prevalentemente forze radiali.
	

Suggerimenti generali

- Una macchina orizzontale favorisce l'evacuazione del truciolo.
 - Iniziare la fresatura dal basso e procedere verso l'alto.
 - Usare fluido da taglio o aria compressa per agevolare l'evacuazione del truciolo.
 - Rispetto ai metodi tradizionali, la fresatura a tuffo richiede un minor avanzamento per dente.
 - Assicurarsi che due denti siano sempre in presa.
 - Usare frese con passi stretti.
 - Usare il valore massimo a_e a seconda della dimensione dell'inserto.
 - Usare $s = 0,75 \times D_c$ nello spostamento laterale.
 - Diminuire gradualmente la profondità di tuffo per ridurre al minimo le vibrazioni.
 - Usare un "hook program" (distacco dalla parete in fase di ritorno) per impedire la rimacinazione dei trucioli nella corsa di ritorno. Scostarsi di 1 mm dalla parete, alla fine del taglio.
- Nota:** un ciclo di foratura non è consigliabile a causa della rimacinazione dei trucioli che può causare vibrazioni durante la ritrazione.
- Cercare sempre di lasciare del sovrametallo costante per le operazioni di finitura successive.

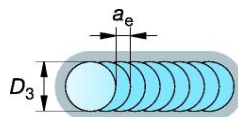


— = programma avanzamento tavola
— = traslazione rapida

Evitare la rimacinazione dei trucioli nella corsa di ritorno e ridurre gradualmente la profondità di tuffo.

$$P_c = \frac{D_3 \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

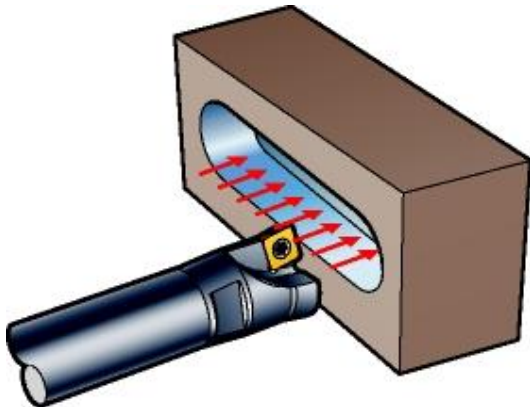
$$P_c = \frac{s \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$



Calcolo dell'assorbimento di potenza.

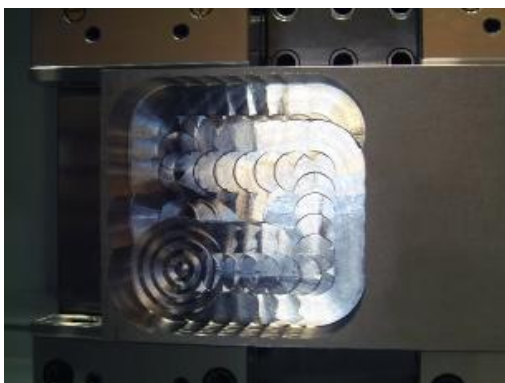
Cave

- La lavorazione a tuffo è una tecnica efficace per la lavorazione di cave profonde e chiuse.
- L'evacuazione del truciolo diventa essenziale. Un set-up orizzontale e l'uso di fluido da taglio o aria compressa aiutano il processo.
- Si consiglia l'uso di una punta per le cave profonde e strette, poiché questo metodo garantisce la miglior evacuazione del truciolo ed il massimo di incremento di passata.



Cavità/tasche

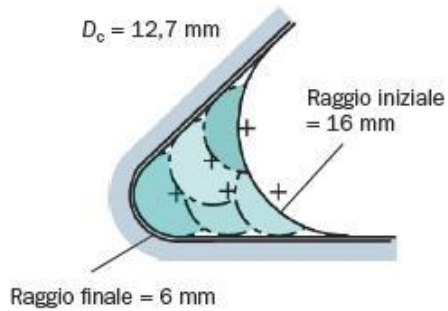
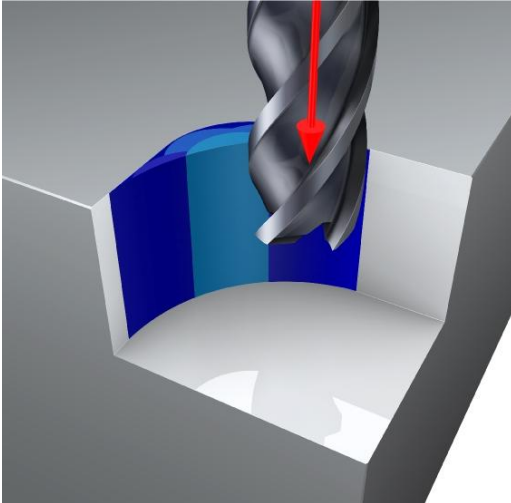
- L'evacuazione del truciolo è di importanza critica, come nella realizzazione di cave chiuse.
- Usare un set-up orizzontale e fluido da taglio o aria compressa.
- L'evacuazione del truciolo può essere ulteriormente migliorata realizzando il foro di partenza più ampio possibile. $1,5 \times D_c$ è il valore consigliato.
- Ridurre l'avanzamento nei primi due passaggi di tuffo.
- Spostarsi lateralmente e cercare di evitare la fresatura di cave dal pieno.



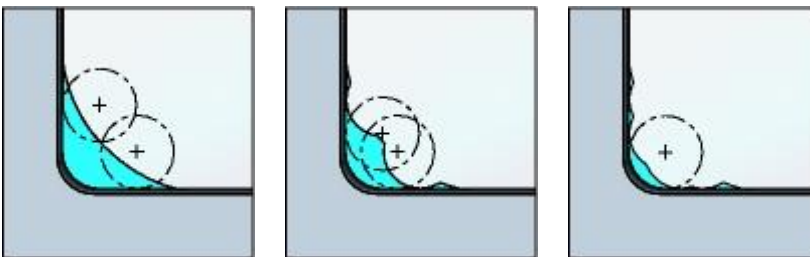
Raccordi

La fresatura a tuffo del sovrametallo rimanente (ripresa) dopo un'operazione di sgrossatura nei raccordi profondi a 90 gradi può essere vantaggiosa.

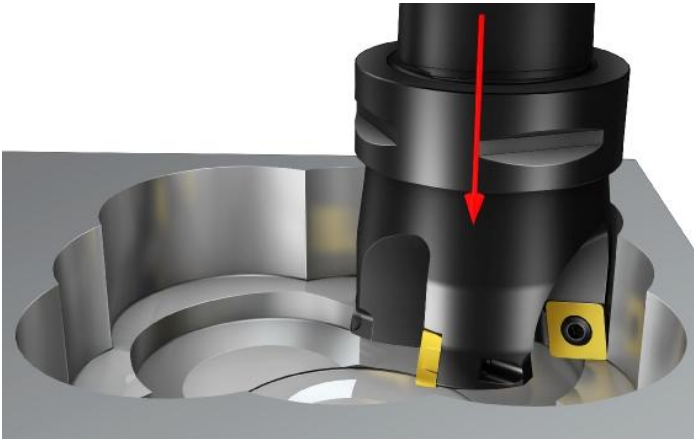
CoroMill Plura, la fresa a candela CoroMill 390 o la punta a tuffo Coromant U sono tutti prodotti adatti. La punta consente di eseguire tagli fino al 75% del diametro della fresa. Ciò può essere vantaggioso negli angoli stretti.



Lavorazione di angoli



Plunge milling



Nella fresatura a tuffo, il taglio è eseguito all'estremità dell'utensile invece che alla periferia. Questo processo è vantaggioso grazie al cambio di direzione delle forze di taglio da prevalentemente radiale ad assiale. In generale, la fresatura a tuffo è un metodo alternativo quando la fresatura laterale non è possibile a causa delle vibrazioni. Per esempio:

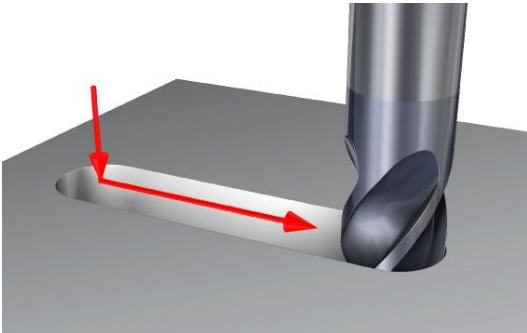
- Quando la sporgenza dell'utensile è maggiore di $4 \times D_c$
- Quando la stabilità è insoddisfacente
- Per la semifinitura degli angoli
- Per materiali difficili da tagliare, come il titanio.

Può anche essere un'alternativa in caso di limiti in termini di potenza o coppia della macchina.

Nota: in condizioni favorevoli, la fresatura a tuffo non è la scelta prioritaria, data la ridotta velocità di asportazione del metallo.

Fresatura in penetrazione discontinua

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



La fresatura in penetrazione discontinua è un'alternativa alla lavorazione in rampa per l'esecuzione di aperture in un materiale solido

Tuttavia, richiede molta potenza, produce trucioli lunghi ed esercita forze di taglio indesiderate sulla fresa e pertanto deve essere usata solo quando:

- La macchina non è in grado di eseguire lavorazioni in rampa
- Occorre produrre cave chiuse corte.

Scelta degli utensili

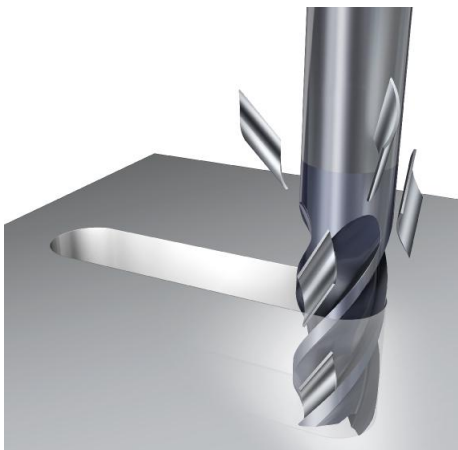
	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 390	CoroMill® 790
				
Profondità max. della punta	$0.9 \times D_c$	$0.55 \times D_c$	11: 1.0 mm 17: 1.5 mm	16: 1.1 mm 22: 1.2 mm
Dia. fresa (D_c), mm	2 - 25	10 - 25	12 - 40	25 - 100
Tagliente al centro (foratura)	Sì	Sì	No	No
Materiale				

Consigli applicativi

Taglio al centro - Frese a candela per foratura (fresa per lavorazione frontale e radiale)

La profondità di foratura di una fresa a candela con tagliente al centro è limitata dalla lunghezza del vano truciolo e dalla capacità di evacuazione.

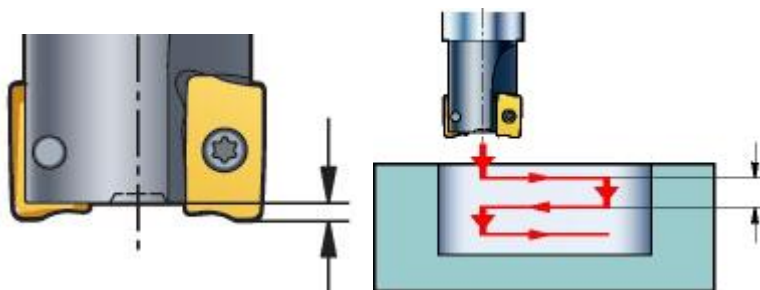
Per eseguire cave più profonde, usare un ciclo di fresatura in penetrazione discontinua. Durante la foratura, usare un avanzamento ridotto: circa il 50% dell'avanzamento consigliato per la fresatura.



Fresatura frontale e radiale senza taglio al centro

CoroMill 390 e 790 sono frese a candela senza tagliente al centro che possono essere usate per un ciclo di fresatura in penetrazione discontinua.

Si noti che la profondità di foratura è molto limitata. Usare una fresa con passo largo per ottenere il massimo spazio per il truciolo.



Profondità max. della punta

Metodi di fresatura per piani

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



Questi metodi di fresatura sono stati originariamente sviluppati per la sgrossatura e la semisgrossatura di materiali difficili, come acciai duri, materiali ISO H, leghe HRSA e materiali ISO S, ma possono anche essere usati con altri materiali, soprattutto nelle applicazioni sensibili alle vibrazioni.

Le tecniche si basano su una profondità di taglio radiale limitata, a_e , che:

- Genera una ridotta forza di taglio radiale che richiede meno stabilità e consente un'elevata profondità di taglio, a_p .
- Comporta un solo dente in presa per volta, riducendo al minimo la tendenza alle vibrazioni.
- Riduce il calore nell'area di taglio grazie al breve tempo di contatto, consentendo così di usare velocità di taglio maggiori.
- Genera trucioli dallo spessore contenuto, h_{ex} , ma un elevato avanzamento, f_z .

Tali metodi possono essere suddivisi in:

- fresatura trocoidale, usata prevalentemente per l'esecuzione di cave
- fresatura per piani, usata normalmente per la semisgrossatura dei raccordi.

Entrambi i metodi di fresatura per piani si sono dimostrati molto sicuri e produttivi.

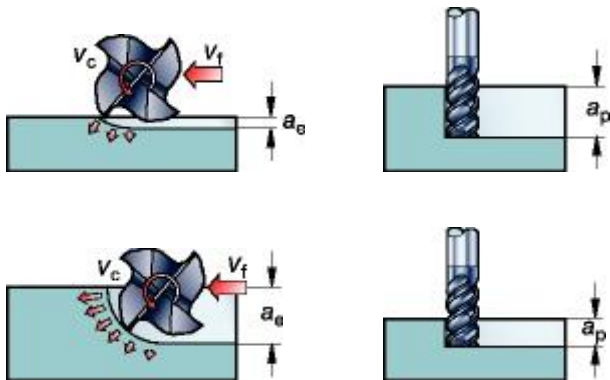
Scelta degli utensili

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroMill® 490	CoroMill® 390	Fresa CoroMill® 390 per contornatura	Fresa CoroMill® 690 per contornatura
						
Max. profondità di taglio (a_p), mm	7.0 – 54.0	5.5 – 13.0	5.5	15.7	71.0	112.0
Dis. fresa (D_f), mm	2 – 25	10 – 25	20 – 66	12 – 40	32 – 200	50 – 100
Materiale						

Commenti:

- L'utensile più comunemente usato per le operazioni per piani è CoroMill Plura.
- CoroMill 316, CoroMill 490 o CoroMill 390 sono utensili alternativi in caso di profondità di taglio inferiore.
- La tecnica di asportazione per piani paralleli può inoltre essere utilizzata con frese per contornatura che combinano una piccola a_e con una grande a_p .

Consigli applicativi



La fresatura per piani utilizza una velocità di taglio maggiore, v_c , e un taglio assiale, a_p , ma solo con piccoli impegni radiali, a_e , e bassi avanzamenti per dente, f_z . Questo è reso possibile da:

Fattore

- Ridotto spessore del truciolo
- Ridotto arco in presa

Effetto

- Forza di taglio/flessione minore
- Temperatura ridotta nella zona di taglio

Vantaggio

- Tagli assiali più profondi
- Velocità più elevate

Fresatura trocoidale

Campo di applicazione

Un metodo eccellente per l'esecuzione di cave quando le vibrazioni costituiscono un problema; è adatta anche per la sgrossatura di cavità confinate, tasche e scanalature.

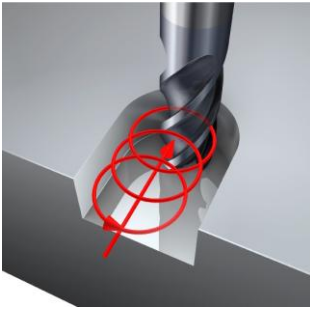
Definizione

La fresatura trocoidale può essere definita come fresatura circolare che comprende movimenti in avanti simultanei. La fresa rimuove "falde" ripetute in una sequenza di percorsi a spirale continua dell'utensile, compiuti in direzione radiale.

Richiede una programmazione e capacità della macchina utensile speciali.

L'utensile è programmato con entrata e uscita dal taglio in interpolazione, con passo radiale w , mantenuto basso. Questo significa che:

- L'arco in presa controllato genera basse forze di taglio, che consentono elevate profondità di taglio radiali.
- È utilizzata tutta la lunghezza del tagliente, in modo che calore e usura siano uniformi e diffusi, per garantire una maggior durata del tagliente rispetto alla tradizionale esecuzione di cave.
- Grazie al piccolo arco in presa, sono usati utensili con più taglienti. Questo consente elevati avanzamenti della tavola e una buona durata del tagliente.
- Il taglio radiale massimo, a_e , non deve superare il 20% del diametro della fresa.



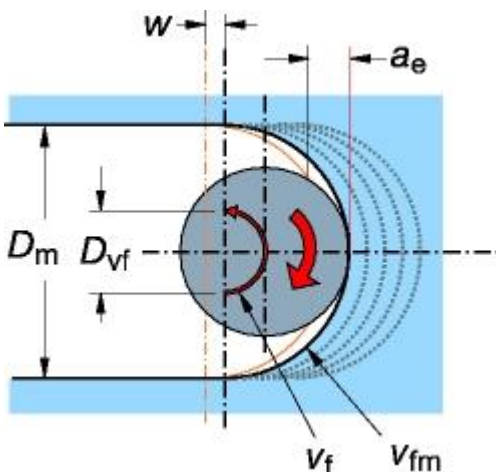
$a_p \leq 2 \times D_c$
 a_e = ridotto
 v_f = elevato
 v_c = fino a 10 volte rispetto ai metodi tradizionali

Per scanalature di larghezza inferiore a $2 \times D_c$

L'utensile è programmato su un percorso a spirale continua che avanza in direzione radiale per formare una scanalatura o un profilo. L'avanzamento è costante, con un taglio radiale che varia continuamente. Per il 50% del tempo l'utensile è fuori dal taglio.

Considerazioni

- 1) Il taglio radiale cambia costantemente e, nel momento di massima "immersione", è maggiore dell'incremento di passata programmato, w .
- 2) È importante mantenere il diametro della fresa a un rapporto di larghezza della cava inferiore a 70% e il passo radiale, w , inferiore al 10% di D_c .
- 3) L'avanzamento è costante, tuttavia l'avanzamento del centro dell'utensile, v_f , varia dall'avanzamento periferico, v_{fm} . Quando l'avanzamento è programmato in base al centro dell'utensile, occorre calcolare l'avanzamento periferico.



$$v_{fm} = n \times f_z \times z_n$$

$$D_{vf} = D_m - D_c$$

$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$

Parametri di taglio

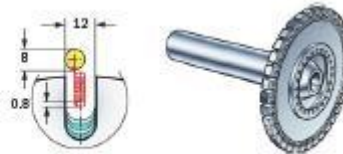
- Max. diametro fresa $D_c = 70\%$ larghezza della cava
- Incremento della passata $w = \max. 10\% D_c$
- Taglio radiale, valore massimo $a_e = 20\% D_c$
- Taglio assiale $a_p = \text{fino a } 2 \times D_c$
- Avanzamento iniziale per dente $f_z = 0.1 \text{ mm}$

Calcolare l'avanzamento programmato v_f

Casi di lavorazione con fresatura trocoidale

1 – Scanalatura stretta – Inconel 718 (44HRC)

Numero di cave/componente	24
Larghezza	12 mm
Lunghezza	25 mm
profondità	16 mm
Durata tagliente	10 cave
Tempo/cava	1'35"
Utensile	R216.24.08000EAK 10P 1620



Profondità di taglio	a_p	16 mm
Dia. fresa	D_c	8 mm
Numero di denti	z_s	4
Velocità di taglio	v_c	75 m/min
Velocità mandrino	n	2984 m/min

Dia. centro utensile	D_{ce}	4 mm
Incremento della passata	w	0,67 mm
Avanzamento/dente	f_z	0,09 mm
Avanzamento periferico	v_{fm}	1047 mm/min
Avanzamento del centro dell'utensile	v_f	349 mm/min

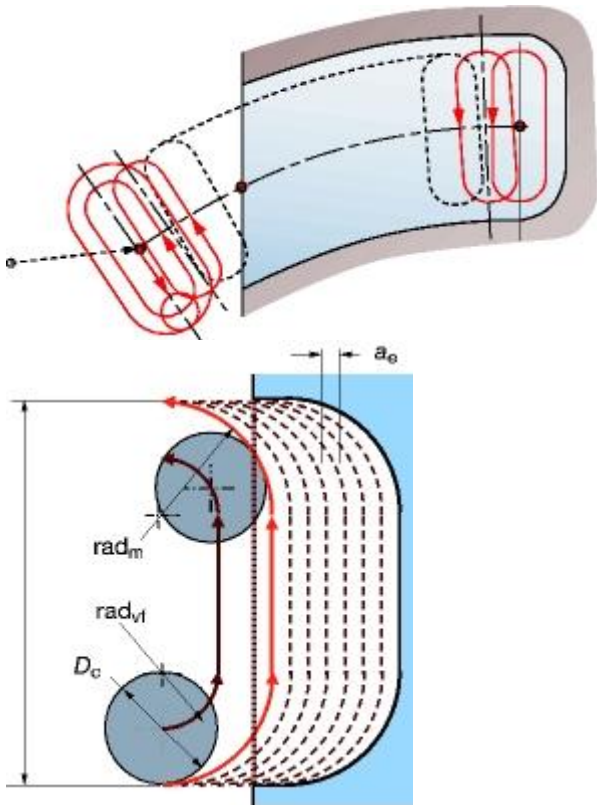


La fresatura trocoidale rappresenta un processo molto più sicuro rispetto alla tradizionale esecuzione di cave o lavorazione a tuffo. Garantisce una maggiore durata del tagliente e costi di attrezzamento inferiori, poiché un utensile da 8 mm sostituisce un utensile da 12 mm.

Per scanalature di larghezza maggiore di $2 \times D_c$

Un percorso a spirale continua, come quelli programmati per la scanalatura stretta dove l'utensile è fuori dal taglio per il 50% del tempo, può essere ottimizzato man mano che la scanalatura aumenta:

1. Interpolazione in entrata del taglio – Raggio programmato (rad_m) = 50% di D_c .
2. G1 con $a_e = 0,1 \times D_c$.
3. Interpolazione in uscita dal taglio – raggio programmato (rad_m) = 50% di D_c .
4. Traslazione rapida alla posizione iniziale successiva.
5. Ripetizione del ciclo..

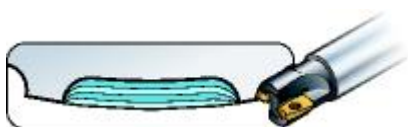


Parametri di taglio

- Profondità radiale
 - CoroMill Plura $a_e = 10\% D_c$
 - CoroMill 390/490 $a_e = 20\% D_c$
- Taglio assiale $a_p = \text{up to } 2 \times D_c$
- Avanzamento iniziale per dente $f_z = 0.1 \text{ mm}$
- Avanzamento raggio $rad_{fv} = 0.5 \times G1$

2 – Scanalatura di elevata larghezza - smeratura

Numero di cave/componente	8
Larghezza	45 mm
Profondità	16 mm
Spessore	4 mm



Utensile 1 – CoroMill 390 – Ø 16 mm

R390-016A16-11H
R390-11T308M-PL
1030



Utensile 2 – CoroMill Plura – Ø 12 mm

R216.24-12050AK26P
1620

a) Acciaio inossidabile – 316

Utensile	Diametro, D_e mm	z_n	v_c m/min	n giri/min	f_z mm	v_f mm/min	a_p mm	a_e mm	Q cm ³ /min	Tempo min+sec
CoroMill 390	16	2	200	3978	0.15	1194	5	2	11.9	0'25"
CoroMill Plura	12	4	170	4509	0.06	1082	5	1	5.4	1'00"



b) HRSA – Inconel 718 (44 HRC)

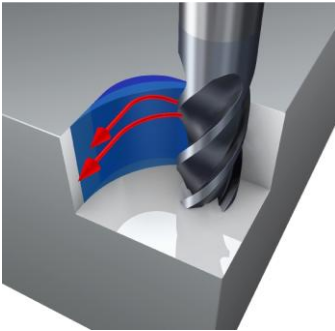
Utensile	Diametro, D_e mm	z_n	v_c m/min	n giri/min	f_z mm	v_f mm/min	a_p mm	a_e mm	Q cm ³ /min	Tempo min+sec
CoroMill 390	16	2	30	597	0.10	119	5	2	1.2	2'45"
CoroMill Plura	12	4	75	1989	0.08	637	5	1	3.2	1'15"



Confronto tra CoroMill® 390 e CoroMill® Plura

- Acciaio inossidabile – CoroMill 390 offre i tempi più rapidi – 140% più veloce di CoroMill Plura. Nella lavorazione dell'acciaio inossidabile, CoroMill 390 non ha mostrato accumuli o intasamenti di materiale nelle scanalature, consentendo così un taglio radiale più rapido, a_e , e un maggior avanzamento per dente, f_z , rispetto a CoroMill Plura.
- HRSA – CoroMill Plura ha mostrato una velocità maggiore del 120% rispetto a CoroMill 390. Nella lavorazione delle leghe HRSA più dure, i denti extra e l'elevato grado dell'elica di CoroMill Plura hanno consentito una lavorazione molto più semplice.

Fresatura per piani – Lavorazione di raccordi



Campo di applicazione

La fresatura per piani è una tecnica di semisgrossatura usata nella lavorazione di raccordi nei casi in cui l'utensile più grande usato in precedenza non è sufficiente.

Definizione

A differenza della fresatura trocoidale, non occorre entrare né uscire dal foro in interpolazione, poiché il taglio radiale parte da zero fino ad arrivare al valore massimo al centro, per poi tornare nuovamente a zero. Più passate rimuovono successivamente il materiale, garantendo un angolo di penetrazione/impegno radiale costantemente piccolo e basse forze di taglio.

Considerazioni:

Riduzione della velocità di avanzamento nei raccordi:

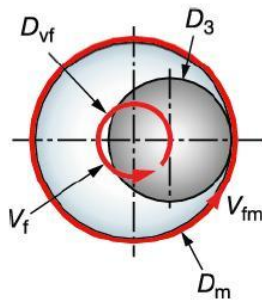
- Come in tutte le contornature di raggi, in caso di programmazione con avanzamento del centro dell'utensile, v_f , la velocità di avanzamento deve essere ridotta in relazione all'avanzamento periferico dell'utensile, v_{fm} , al fine di mantenere un avanzamento per dente costante.
- La profondità di taglio può diventare eccessiva per poter operare agli stessi avanzamenti elevati del taglio rettilineo, a seconda della relazione tra diametro della fresa e raggio di punta.
- Tuttavia, il rapporto tra diametro del percorso della fresa programmato, D_v e diametro del foro, D_m , aumenta costantemente verso il raggio di punta finito, il che significa che l'avanzamento deve diminuire costantemente per ciascuna passata.
- Il processo diventa instabile e si verificano vibrazioni.
- Una macchina utensile con una buona stabilità dinamica e controllo della riduzione dell'avanzamento del centro dell'utensile è essenziale per una buona riuscita della fresatura degli angoli interni.

Tranciatura	Tradizionale

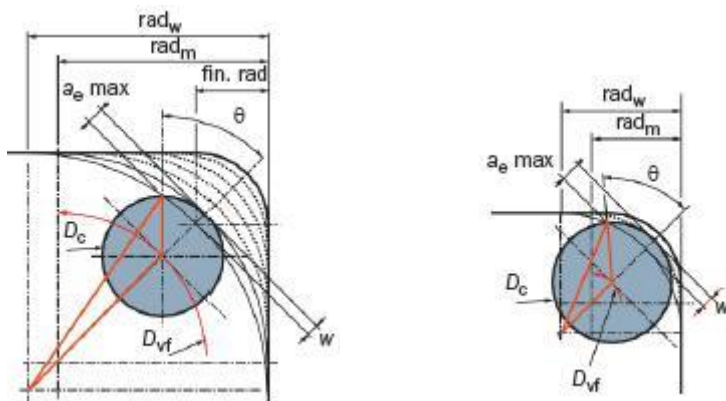
$$v_{fm} = n \times f_z \times z_n$$

$$D_{vf} = D_m - D_c$$

$$v_f = \frac{D_{vf}}{D_m} \times v_{fm}$$



D_{vf} e v_f ridotti in modo continuo a ogni passata



w = Incremento di passata radiale
 rad_m = raggio finale del componente
 rad_w = raggio iniziale del componente

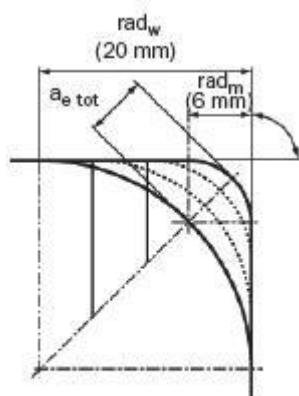
Parametri di taglio

Valori tipici per CoroMill Plura R216.24-xxx50-xxK xxP

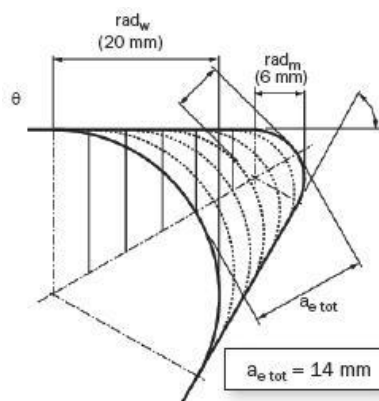
- Diametro massimo della fresa $D_c = 1,75 \times rad_m$
- Incremento di passata radiale $w = 10\% D_c$
- Elevato taglio assiale $a_p = \text{fino a } 2 \times D_c$
- Avanzamento iniziale per dente $f_z = 0,1 \text{ mm}$
- Velocità di taglio - circa 3-6 volte il valore normale raccomandato.

Per gli stessi raggi iniziali e finali, il numero di passate necessarie dipende dall'angolo del raggio.
 Per raggi con angoli inferiori a 60° , la lavorazione a tuffo con CoroMill 390 o con una punta a tuffo può essere una buona soluzione.

Angolo del raggio



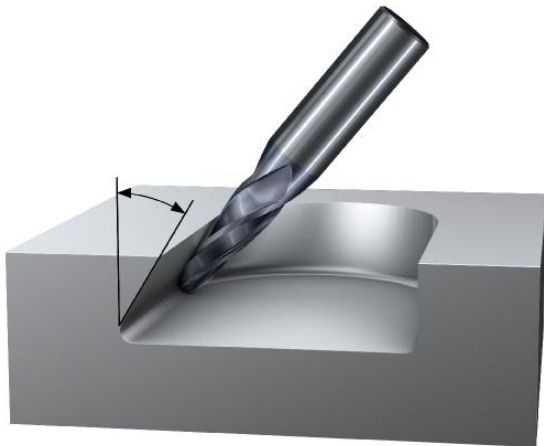
$$a_{e\ tot} = 5.8\text{ mm}$$



$$a_{e\ tot} = 14\text{ mm}$$

Tasche/angoli chiusi

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



Gli angoli chiusi, inferiori a 90 gradi, sono una caratteristica tipica di tasche e cavità. Per lavorare un angolo chiuso occorre una macchina con 4 o 5 assi.

4 assi:

se solo un lato della tasca ha un angolo chiuso e la forma del fondo è piana.

5 assi:

se c'è un recesso con angoli chiusi su entrambi i lati. Se c'è un raggio nel profilo inferiore.

Scelta degli utensili

	CoroMill® Plura 
Max. profondità di taglio (a_p), mm	10.0 – 45.0
Dia. fresa (D_c), mm	3.8 – 15.18
Materiale	



La lavorazione di giranti/blisk è un esempio applicativo di fresatura di angoli chiusi.

Consigli applicativi

Raccomandazioni per la lavorazione

1. Prima di passare alla lavorazione del raggio, eseguire la fresatura dello spallamento della parete con una fresa a candela a sezione quadrata per ottenere la massima stabilità.
2. Il raggio viene lavorato con una fresa a candela con testa sferica.

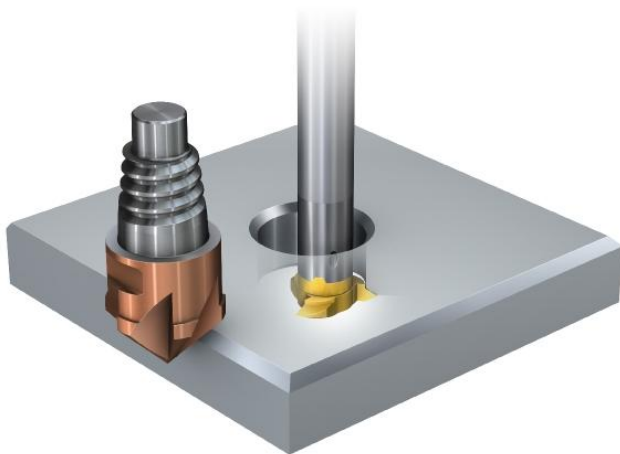


Usare una fresa a candela a sezione quadrata per ottenere la massima stabilità quando si lavora la parete periferica.

La lavorazione finale del raggio deve essere eseguita con una fresa a candela con testa sferica conica.

Smussatura

- Scelta degli utensili
- Consigli applicativi



L'esecuzione di smussi, tagli a V, scarichi, preparazione per la saldatura e sbavatura lungo i bordi del pezzo sono operazioni frequenti. A seconda del tipo di macchina e set-up, tali operazioni possono essere eseguite in diversi modi. È possibile utilizzare una piccola fresa per spianatura, una fresa per contornatura, una fresa a candela o frese specifiche per smussatura.

Scelta degli utensili

Frese specifiche per smussatura

	CoroMill® Plura	CoroMill® 316	CoroTurn® XS	CoroMill® 327	CoroMill® 328	U-Max
						
Angolo di registrazione (gradi)	30, 45, 60	15, 30, 45, 60	30	45, 60	60	45, 60
Profondità max. smusso	7.4	6.5	0.6	1.7	1.8	7.0
Esecuzione di smussi in tirata, diametro min. foro (mm)	-	-	6	12	40	27
Materiale						

Frese complementari per la smussatura

Nelle macchine a 4 e 5 assi, dove il mandrino o il pezzo possono essere inclinati, è possibile usare diversi utensili per smussatura e sbavatura, come:

- frese a candela a 90 gradi come CoroMill Plura, CoroMill 316, CoroMill 390, CoroMill 490, CoroMill 790
- frese per spianatura a 45 gradi come CoroMill 245 e CoroMill 345
- per smussi di grandi dimensioni, è possibile usare frese per contornatura.



Consigli applicativi

Dati di taglio

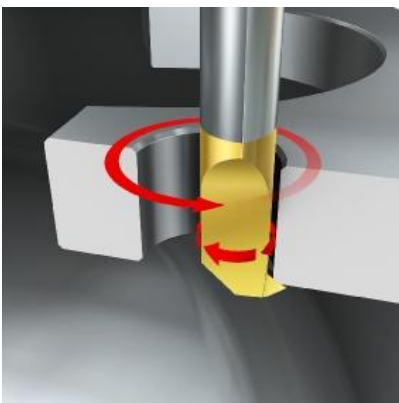
Normalmente la profondità del taglio, a_p , e la larghezza del taglio, a_e , sono ridotte rispetto al diametro della fresa. Questo significa che occorre seguire le raccomandazioni date, ossia impiegare velocità di taglio più alte per i piccoli impegni. L'avanzamento per dente, f_z , può essere notevolmente aumentato. Le esigenze di finitura superficiale limitano il valore f_z .

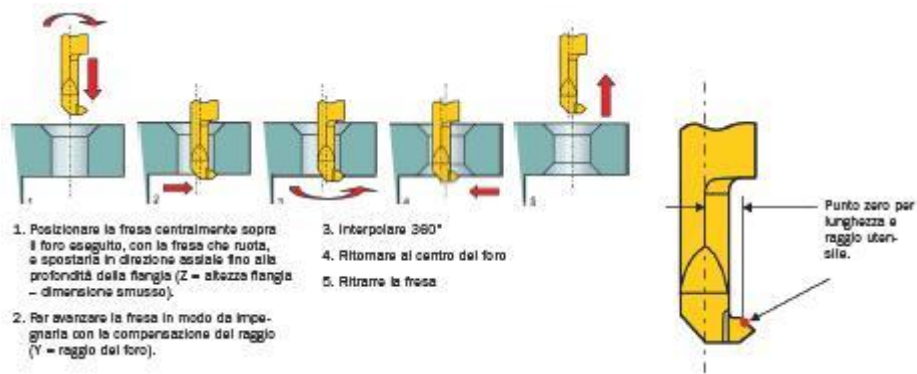


Smussatura di un foro

Con CoroMill 327, CoroMill 328 e CoroTurn XS, è possibile smussare il foro dopo aver completato l'operazione di filettatura, usando lo stesso utensile e lo stesso inserto.

Questo processo si esegue con un percorso di fresatura circolare, vedere la sequenza di programmazione riportata qui sotto.





Nota: per regolare la dimensione dello smusso, modificare la posizione Z (non regolare il diametro, poiché questo può causare uno sfregamento sul foro).

Fresatura degli ingranaggi



Sono ormai molti anni che Sandvik Coromant progetta un'ampia gamma di utensili per processi produttivi specifici nel settore della fresatura degli ingranaggi. La nostra azienda opera a stretto contatto con produttori di ingranaggi di tutto il mondo. Sulla base dei dati relativi agli ingranaggi forniti dai produttori, i nostri abili ed esperti progettisti realizzano utensili personalizzati basati sulle esigenze specifiche del cliente. Con queste attività, contribuiamo a ottimizzare tutte le fasi della produzione, dal processo di lavorazione, alle soluzioni di attrezzamento, alla scelta dell'inserto/qualità. Questa stretta collaborazione vi permette di ottenere un'economia di produzione ottimale. Inoltre, potete fare affidamento sulla nostra rete di assistenza tecnica mondiale e sul nostro know-how, spesso fondamentale per fornire soluzioni chiavi in mano.

Applicazione

Generalmente, il profilo dell'utensile deve essere realizzato su misura in base al tipo di ruota dentata. Ciò significa che la misura e la forma di un vano interdentale devono corrispondere perfettamente all'utensile. Tutti gli utensili sono soluzioni speciali fabbricate in base a un profilo specifico.

Quando si ordina un utensile per la fresatura degli ingranaggi, è importante conoscere:

- Misura del modulo
- Angolo di pressione
- Profilo dei denti d'ingranaggio (protuberanza, spoglia di testa o smusso di testa)
- Fattore di modifica su addendum
- Diametro primitivo dell'ingranaggio
- Angolo d'elica
- Requisiti di qualità dell'ingranaggio
- Possibile gamma di diametri dell'utensile (min-max)
- Tipo e misura dell'accoppiamento

È preferibile disporre di un disegno completo della ruota dentata o dell'utensile che fornisca tutte le necessarie informazioni.

Qualità degli ingranaggi

Gli ingranaggi sono generalmente classificati in base a uno standard che specifica i requisiti di tolleranza della ruota dentata dopo la lavorazione. Lo standard più comune per la classificazione degli ingranaggi cilindrici è DIN 3962, in cui i vari parametri degli ingranaggi vengono misurati e classificati su scala 1–12. Vengono utilizzati comunemente anche altri standard, in base ai requisiti specifici del cliente, ma hanno più o meno gli stessi parametri di valutazione della norma DIN 3962.

In generale, la classe di qualità richiesta degli ingranaggi è determinata dai requisiti del cliente e dipende dal campo di applicazione della ruota dentata.

Altri requisiti per ingranaggi di buona qualità sono:

- Utensili di alta qualità
- Superfici di contatto pulite
- Runout minimo su utensile e pezzo
- Fissaggio stabile
- Precisione della macchina

Dentatura con fresa a disco

Raccomandazioni di taglio

Il controllo dello spessore dei trucioli è importante. Adattare la velocità di avanzamento f_z al massimo spessore dei trucioli h_{ex} . Quando si usa l'utensile, attenersi alle raccomandazioni fornite

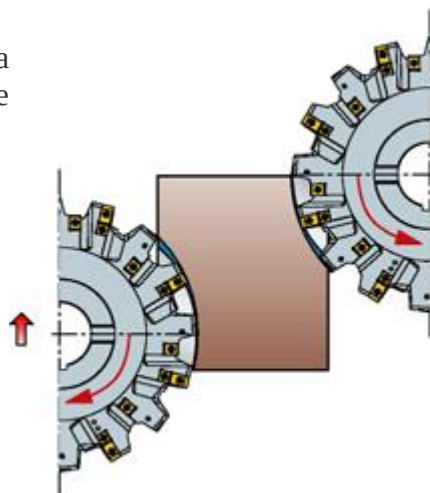
Per passate pesanti: considerare l'assorbimento di potenza in modo da non superare i limiti della macchina

Se possibile, utilizzare la fresatura concorde per incrementare la durata del tagliente

La fresatura a secco è preferibile



Fresatura
concorde



Fresatura
discorde

Dentatura con creatore

Tutti i denti asportano trucioli diversi. La durata del tagliente è limitata dalle passate più pesanti e dai trucioli più spessi. Per valutare lo spessore dei trucioli, calcolare lo spessore massimo (hex) per determinare la velocità di avanzamento assiale. Il massimo valore hex si calcola con l'equazione di Hoffmeister

Massimo hex raccomandato = 0.18–0.22 mm
(0.007–0.009 poll.)

Se possibile, spostare il creatore lungo l'asse per migliorare la durata del tagliente

Con gli utensili in metallo duro, è preferibile la fresatura a secco che, rispetto a quella a umido, ottimizza la durata del tagliente

Se possibile, utilizzare la fresatura concorde per incrementare la durata del tagliente



Introduzione

Tipi di ingranaggi

La fresatura di ingranaggi si applica su diversi tipi di ingranaggi. I tipi di ingranaggi possono essere divisi nei seguenti gruppi:

Ingranaggi cilindrici



Ingranaggi con dentatura esterna



Ingranaggi con dentatura interna

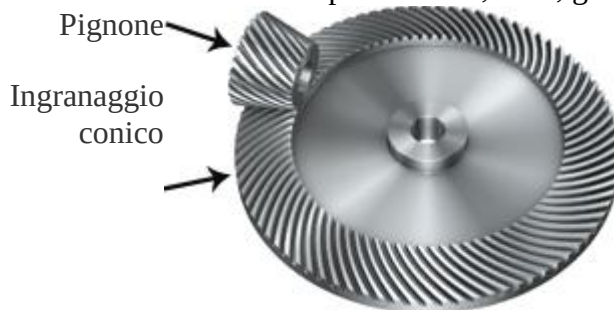
Scanalature

Le scanalature sono simili agli ingranaggi cilindrici con dentature esterne e interne ma il profilo dei denti è diverso. Le scanalature servono a trasmettere la coppia tra due componenti.



Ingranaggi conici e pignoni

I gruppi di ingranaggi conici vengono utilizzati per trasmettere il movimento in un angolo. Vengono comunemente usati in vari tipi di veicoli, treni, gru e sistemi di propulsione marini.



Produzione degli ingranaggi

La produzione dei denti di ingranaggio può avvenire in diversi modi. Il più comune consiste in una sorta di operazione di taglio attraverso cui si procede ad asportare materiale da un semilavorato cilindrico. I vari metodi di taglio degli ingranaggi sono, ad esempio, dentatura con creatore, taglio con frese a disco, rasatura, limatura o pelatura. Il metodo da utilizzare dipende da una serie di fattori - requisiti di produttività, dimensione dei lotti, misura e accessibilità degli ingranaggi e non tutti i metodi sono adatti a tutti gli ingranaggi.

Per la sgrossatura, i metodi più utilizzati sono i seguenti:

- Dentatura con fresa a disco
- Dentatura con creatore
- Pelatura
- Limatura

Oltre che alla rimozione della maggior parte del materiale, si procede spesso a una sorta di operazione di finitura per migliorare la superficie e le tolleranze dell'ingranaggio. Le tolleranze sono molto importanti, soprattutto nei diversi casi in cui si lavora a elevato numero di giri e con forze elevate. Nelle scatole ingranaggi dell'industria automobilistica, ad esempio, non è accettabile un livello di rumore troppo alto.

Per la finitura, i metodi più utilizzati sono i seguenti:

- Rettifica

- Levigatura
- Rasatura
- Limatura

Macchine utensili

Le macchine utensili utilizzate per la fresatura degli ingranaggi sono spesso dedicate a uno specifico metodo di produzione. Questo è il motivo per cui le comuni macchine per ingranaggi sono dedicate all'uso di uno specifico tipo di utensile.

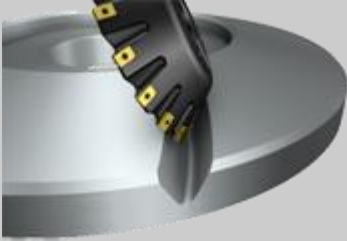
Oltre a queste macchine, si utilizzano sempre più spesso macchine multi-task a 4 e 5 assi, grazie alla loro flessibilità e ai minori costi di investimento. Per la produzione di piccoli lotti, è spesso utile eseguire tutte le operazioni - comprese tornitura, fresatura e fresatura degli ingranaggi - sulla stessa macchina e con lo stesso set-up.

Scelta degli utensili

Utensili da taglio per la produzione di ingranaggi cilindrici

	CoroMill 176	CoroMill 170	CoroMill 172	InvoMilling
				
Tipo di utensile	Creatore	Fresa a disco per sgrossatura	Fresa a disco	Fresa a disco
Moduli	4–9 mm (0.157–0.354 poll.)	12–22 mm (0.472–0.866 poll.)	4–8 mm (0.157–0.315 poll.)	2–12 mm (0.079–0.472 poll.)
Diametri	90–210 mm (3.54–8.27 poll.)	210–500 mm (8.27–19.7 poll.)	63–250 mm (2.48–9.84 poll.)	66–140 mm (2.60–5.51 poll.)
Tolleranza dell'utensile	Classe B in base a DIN 3968	N/A	N/A	N/A
Produzione di grandi volumi	+++	++	-	-
Produzione di lotti medio-piccoli	-	++	++	+++
Ingranaggi differenti con un solo corpo utensile	-	-	++	+++

Utensili da taglio per la produzione di ingranaggi conici

	Tecnologia uP-gear 
Tipo di utensile	Fresa a "tazza"
Moduli	> 4
Usare lo stesso utensile per differenti profili di ingranaggio	+++
Produzione di lotti medio-piccoli	+++

Problemi di lavorazione

Vibrazione



Causa

- Fissaggio debole

Rimedio

- Valutare la direzione delle forze di taglio e fornire il supporto adeguato o migliorare il fissaggio
- Ridurre le forze di taglio riducendo la profondità di taglio, ap
- Selezionare una fresa con passo largo e differenziato con un'azione di taglio più positiva
- Selezionare una geometria a L con un piccolo raggio di punta e un tratto piano parallelo limitato
- Selezionare un inserto a grana fine non rivestito o con un rivestimento sottile
- Evitare la lavorazione nei casi in cui il pezzo non abbia un supporto sufficiente rispetto alle forze di taglio

Causa

- Pezzo debole in senso assiale

Rimedio

- Prendere in considerazione una fresa per spallamenti (angolo di registrazione di 90 gradi) con geometria positiva
- Selezionare un inserto con geometria a L
- Ridurre la forza di taglio assiale: minor profondità di taglio, minor raggio di punta e tratto piano parallelo
- Selezionare una fresa con passo largo e differenziato
- Controllare l'usura dell'utensile
- Controllare il runout del supporto dell'utensile
- Migliorare il fissaggio dell'utensile

Causa

- Sporgenza utensile troppo elevata

Rimedio

- Ridurre al minimo la sporgenza
- Usare frese con passo largo e differenziato
- Bilanciare le forze di taglio radiali e assiali: angolo di registrazione di 45 gradi, ampio raggio di punta o fresa con inserti rotondi
- Aumentare l'avanzamento per dente
- Usare una geometria dell'inserto con taglio leggero: L/M
- Ridurre la profondità di taglio assiale, a_f
- Usare la fresatura discorde per la finitura
- Usare frese di grandi dimensioni e adattatori con accoppiamento Coromant Capto
- Per CoroMill Plura e CoroMill 316, provare un utensile con meno denti e/o un maggior angolo dell'elica

Causa

- Fresatura di spallamento retto con mandrino debole

Rimedio

- Selezionare il diametro della fresa più piccolo possibile
- Selezionare fresa e inserto positivi e con taglio leggero
- Provare la fresatura discorde
- Controllare la flessione del mandrino per verificare che sia accettabile per la macchina

Causa

- Avanzamento tavola irregolare

Rimedio

- Provare la fresatura discorde
- Serrare il meccanismo di avanzamento della macchina: regolare la vite di avanzamento sulle macchine CNC. Regolare la vite di bloccaggio o sostituire la vite a ricircolo di sfere sulle macchine convenzionali.

Causa

- Dati di taglio

Rimedio

- Ridurre la velocità di taglio, v_c
- Aumentare l'avanzamento, f_z
- Modificare la profondità di taglio, a_p

Causa

- Insufficiente stabilità

Rimedio

- Ridurre la sporgenza
- Miglior stabilità

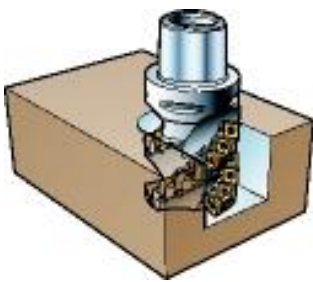
Causa

- Vibrazione agli angoli

Rimedio

- Programmare grandi raggi di punta con velocità di avanzamento ridotta

Intasamento truciolo



Causa

Ostacolo comune in caso di esecuzione di cave complete, soprattutto in materiali che generano trucioli lunghi

- Danno all'angolo dell'inserto
- Scheggiatura e rottura del tagliente
- Rimacinazione dei trucioli

Rimedio

- Migliorare l'evacuazione del truciolo usando abbondante fluido da taglio, ben direzionato, o aria compressa
- Ridurre la velocità di avanzamento, f_z
- Suddividere i tagli profondi in più passate
- Provare la fresatura discorde per l'esecuzione di cave profonde
- Usare frese con passo largo
- Usare CoroMill Plura e CoroMill 316 con due o al massimo tre taglienti e/o un angolo dell'elica maggiore

Rimacinazione dei trucioli



Causa

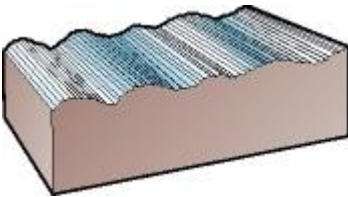
Si osserva nell'esecuzione di cave dal pieno e nell'esecuzione di tasche, soprattutto nel titanio. Comune anche nella fresatura di cavità e tasche profonde su macchine verticali.

- Fratture del tagliente
- Pericoloso per la durata del tagliente e la sicurezza
- Intasamento da truciolo

Rimedio

- Evacuare efficientemente i trucioli con l'aiuto di aria compressa o abbondante fluido da taglio, preferibilmente fornito internamente all'utensile
- Modificare la posizione della fresa a il percorso dell'utensile
- Ridurre la velocità di avanzamento, f_z
- Suddividere i tagli profondi in più passate

Finitura superficiale insoddisfacente



Causa

- Avanzamento eccessivo per giro

Rimedio

- Impostare la fresa assialmente o classificare gli inserti. Controllare l'altezza con l'indicatore
- Controllare il runout del mandrino e le superfici di montaggio della fresa
- Ridurre l'avanzamento per dente a un massimo pari al 70% della larghezza del tratto piano
- Usare inserti raschianti, se possibile (operazioni di finitura)

Causa

- Vibrazione

Rimedio

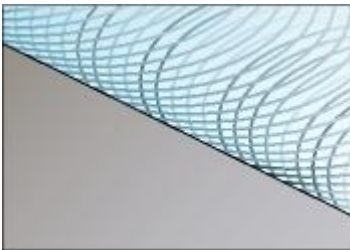
- Vedere la sezione "Vibrazione"

Causa

- Formazione di tagliente di riporto

Rimedio

- Aumentare la velocità di taglio, v_c , per incrementare la temperatura di lavorazione
- Interrompere il fluido di taglio
- Usare inserti con taglienti affilati, con lato della spoglia superiore liscio
- Usare una geometria di inserto positiva
- Provare una qualità cermet con dati di taglio superiori

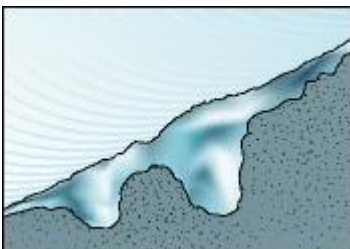


Causa

- Taglio in tirata

Rimedio

- Controllare l'inclinazione del mandrino (inclinare il mandrino di circa 0,10 mm/1000 mm)
- Il valore di runout assiale del mandrino non deve superare i 7 micron durante la finitura
- Ridurre le forze di taglio radiali (ridurre la profondità del taglio, a_p)
- Selezionare un diametro di fresa inferiore
- Controllare il parallelismo sui tratti piani e sull'inserto raschiante usato (non devono essere inclinati in avanti né indietro)
- Accertarsi che la fresa non "sfarfalli"; regolare le superfici di montaggio



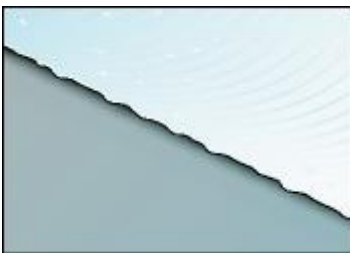
Causa

- Sbordatura del pezzo

Rimedio

- Ridurre l'avanzamento, f_z
- Selezionare una fresa con passo normale o stretto
- Riposizionare la fresa per garantire un truciolo più sottile in uscita
- Selezionare un angolo di registrazione più adatto (45 gradi) e una geometria di taglio più leggera
- Selezionare un inserto affilato
- Monitorare l'usura sul fianco per evitare usura eccessiva

Formazione di bave



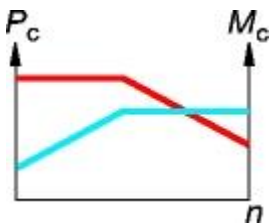
Causa

- Specifica del materiale – superleghe HRSA/acciaio inossidabile
Principale meccanismo di usura ad intaglio

Rimedio

- Usare un raggio più grande in modo che offra un angolo di entrata più piccolo
- Mantenere la profondità di taglio al di sotto del raggio
- CoroMill 300 – massimo $a_p = 0,25 \times r$
- Inserti raggiati CoroMill 390 – max.
- $a_p = 0,5 \times \text{raggio}$

Potenza macchina



Causa

Tenere conto della curva di potenza, poiché il rendimento della macchina potrebbe ridursi in caso di giri al minuto troppo bassi.

I requisiti di potenza nella fresatura variano in base a:

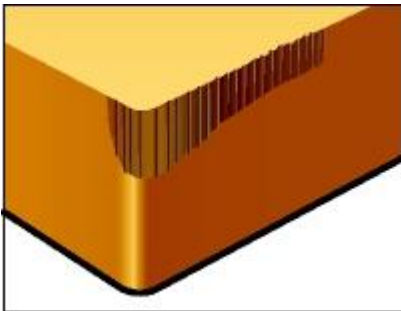
- Quantità di metallo da rimuovere
- Spessore medio del truciolo
- Geometria della fresa
- Velocità di taglio

Rimedio

- Passare da un passo normale ad uno largo, cioè con meno denti
- Una fresa positiva richiede meno potenza di una negativa
- Ridurre la velocità di taglio prima dell'avanzamento della tavola
- Usare una fresa più piccola ed eseguire più passate
- Ridurre la profondità di taglio, a_p

Usura degli utensili

Usura sul fianco



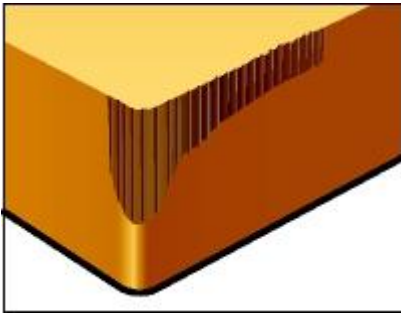
Causa

Rapida usura che causa finitura superficiale insoddisfacente o mancato rispetto delle tolleranze.

- Velocità di taglio troppo elevata
- Resistenza all'usura insufficiente
- Avanzamento, f_z , troppo basso

Rimedio

- Ridurre la velocità di taglio, v_c
- Scegliere una qualità più resistente all'usura
- Aumentare l'avanzamento, f_z



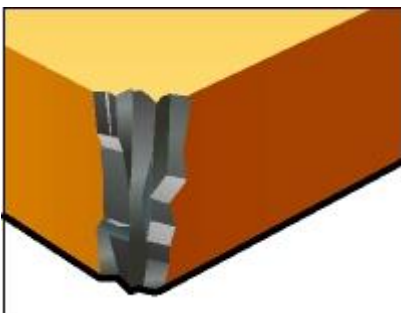
Causa

Usura eccessiva che causa una breve durata del tagliente.

- Vibrazione
- Rimacinazione dei trucioli
- Formazione di bave sul componente
- Finitura superficiale insoddisfacente
- Generazione di calore
- Rumore eccessivo

Rimedio

- Aumentare l'avanzamento, f_z
- Fresatura concorde
- Evacuare efficientemente i trucioli con l'aiuto di aria compressa
- Controllare i dati di taglio raccomandati



Causa

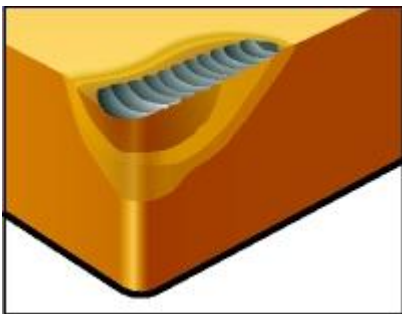
Usura non uniforme che causa danni agli angoli.

- Runout dell'utensile
- Vibrazione
- Breve durata del tagliente
- Finitura superficiale di scarsa qualità
- Elevata rumorosità
- Forze radiali troppo elevate

Rimedio

- Ridurre il runout al di sotto di 0,02 mm
- Controllare mandrino e pinza
- Ridurre al minimo la sporgenza dell'utensile
- Impegnare meno denti nel taglio
- Maggiore diametro dell'utensile
- Per CoroMill Plura e CoroMill 316, selezionare una geometria dell'elica maggiore ($g_p \geq 45^\circ$)
- Suddividere la profondità di taglio assiale, a_p , in più di una passata
- Ridurre la velocità di avanzamento, f_z
- Ridurre la velocità di taglio, v_c
- HSM richiede passate poco profonde
- Migliorare il fissaggio di utensile e pezzo da lavorare

Craterizzazione



Causa

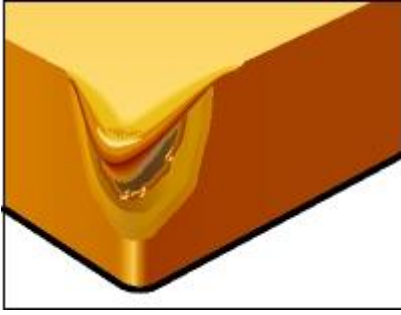
Usura eccessiva con indebolimento del tagliente. Una rottura nella parte posteriore del tagliente produce una finitura superficiale insoddisfacente.

- Usura per diffusione causata da temperature di taglio eccessive sul petto dell'inserto

Rimedio

- Scegliere una qualità rivestita Al_2O_3
- Scegliere una geometria di inserto positiva
- Ridurre la velocità per ottenere una temperatura più bassa, e poi l'avanzamento

Deformazione plastica



Causa

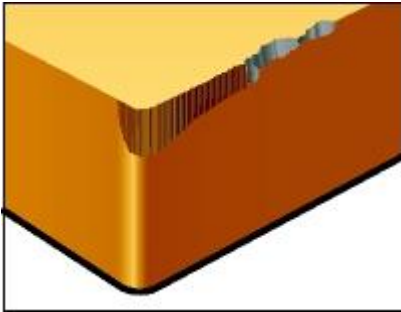
Deformazione plastica del tagliente, depressione o impressione sul fianco che causano insufficiente controllo truciolo, finitura superficiale insoddisfacente e rottura dell'inserto.

- Temperatura di taglio e pressione troppo elevate

Rimedio

- Selezionare una qualità più resistente all'usura (più dura)
- Ridurre la velocità di taglio, v_c
- Ridurre la velocità di avanzamento, f_z

Scheggiatura



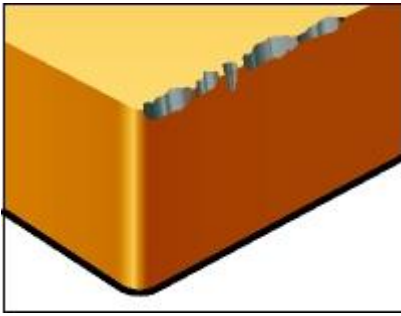
Causa

La parte del tagliente non sottoposta al taglio è danneggiata per effetto del martellamento da parte del truciolo. Sia la parte superiore sia il supporto dell'inserto possono essere danneggiati, causando una rugosità superficiale insoddisfacente e usura sul fianco eccessiva.

- I trucioli sono deviati contro il tagliente

Rimedio

- Scegliere una qualità più tenace
- Scegliere un inserto con un tagliente più robusto
- Aumentare la velocità di taglio, v_c
- Scegliere una geometria positiva
- Ridurre l'avanzamento all'inizio del taglio
- Migliorare la stabilità



Causa

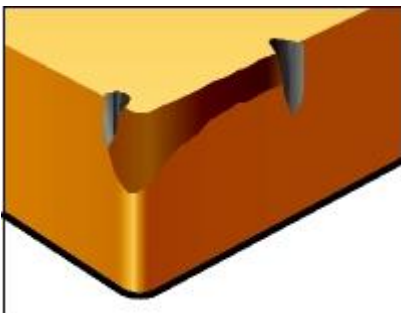
Scheggiature sul tagliente (sgretolamento) con finitura superficiale insoddisfacente ed eccessiva usura sul fianco.

- Qualità troppo fragile
- Geometria dell'inserto troppo debole
- Tagliente di riporto

Rimedio

- Scegliere una qualità più tenace
- Scegliere un inserto con una geometria più robusta
- Aumentare la velocità di taglio, v_c , o scegliere una geometria positiva
- Ridurre l'avanzamento all'inizio del taglio

Usura ad intaglio



Causa

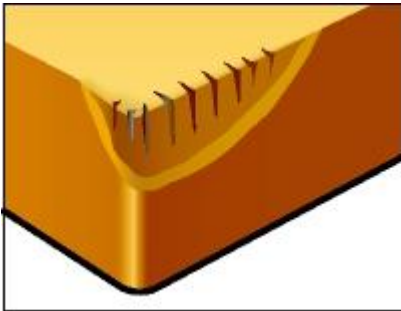
Usura ad intaglio con finitura superficiale insoddisfacente e rischio di rottura del tagliente.

- Materiali soggetti a incrudimento
- Crosta e scaglia

Rimedio

- Ridurre la velocità di taglio, v_c
- Scegliere una qualità più tenace
- Aumentare la velocità di taglio, v_c

Microfessurazioni termiche



Causa

Piccole microfessurazioni perpendicolari al tagliente con sgretolamento dello stesso e finitura superficiale insoddisfacente.

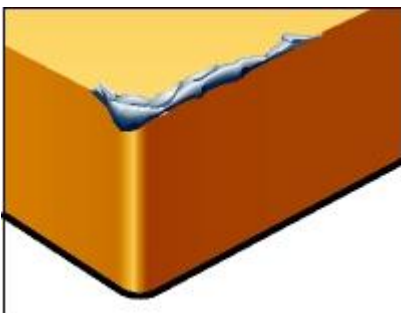
Microfessurazioni termiche dovute a variazioni di temperatura in seguito a:

- Lavorazione a taglio interrotto
- Adduzione di refrigerante variabile

Rimedio

- Selezionare una qualità più tenace con una migliore resistenza alle sollecitazioni termiche
- Il fluido da taglio deve essere applicato abbondantemente o non applicarlo affatto. Per ulteriori informazioni

Tagliente di riporto (T.d.R.)



Causa

Tagliente di riporto con conseguente finitura superficiale insoddisfacente e sgretolamento del tagliente quando persiste il fenomeno.

- Temperatura area di taglio troppo bassa.
- Materiale con forte tendenza all'incollamento, come acciaio a basso tenore di carbonio, acciai inossidabili e alluminio.

Rimedio

- Aumentare la velocità di taglio
- Passare a una geometria dell'inserto più adatta

Causa

Il materiale del pezzo si salda al tagliente in conseguenza di:

- Ridotta velocità di taglio, v_c
- Avanzamento basso, f_z
- Geometria di taglio negativa
- Finitura superficiale insoddisfacente

Rimedio

- Aumentare la velocità di taglio, v_c
- Aumentare l'avanzamento, f_z
- Scegliere una geometria positiva
- Usare olio nebulizzato o fluido da taglio

Formule



$v_c = \frac{D_{cap} \times \pi \times n}{1000}$	$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_{cap}}$	$f_z = \frac{v_f}{n \times z_c}$
Velocità di taglio (v_c) (m/min)	Velocità di rotazione mandrino (n) (giri/min)	Avanzamento per dente (f_z) (mm)

$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000}$	$v_f = f_z \times n \times z_c$	$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$
Volume di truciolo asportato (Q) (cm ³ /min)	Velocità di avanzamento tavola o velocità di avanzamento (v_f) (mm/min)	Coppia (M_c) (Nm)

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$

Potenza netta richiesta (P_c) (kW)

Parametro	Significato	Unità metrica
D_{cap}	Diametro di taglio alla profondità di taglio effettiva, a_p	mm
f_z	Avanzamento per dente	mm
Z_n	Numero totale di denti della fresa	pz.
Z_c	Numero di denti effettivi	pz.
v_f	Avanzamento tavola	mm/min
f_n	Avanzamento per giro	mm
a_p	Profondità di taglio (D.O.C.)	mm
v_c	Velocità di taglio	m/min
γ_o	Angolo di spoglia superiore truciolo	gradi
a_e	Profondità di taglio assiale	mm
n	Velocità di rotazione mandrino	giri/min
P_c	Potenza netta	kW
M_c	Coppia	Nm
Q	Volume di truciolo asportato	cm ³ /min
h_m	Spessore medio del truciolo	mm
h_{ex}	Spessore massimo del truciolo	mm
κ_r	Angolo di registrazione	gradi
D_m	Diametro lavorato (diametro componente)	mm
D_w	Diametro non lavorato (diametro componente)	mm
v_{fm}	Avanzamento tavola dell'utensile con D_m (diametro lavorato)	mm/min

Spessore medio del truciolo (h_m). Per tagliente diritto.

$h_m = \frac{360 \times \sin \kappa_r \times a_e \times f_z}{\pi \times D_{cap} \times \arccos \left(1 - \frac{2 \times a_e}{D_{cap}} \right)}$		$h_m = \frac{180 \times \sin \kappa_r \times a_e \times f_z}{\pi \times D_{cap} \times \arcsin \left(\frac{a_e}{D_{cap}} \right)}$	
Fresatura laterale (mm)		Spianatura Il pezzo è posizionato centralmente rispetto alla fresa.(mm)	

Nota: l'arcocoseno e l'arcoseno sono espressi in gradi

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100} \right)$$

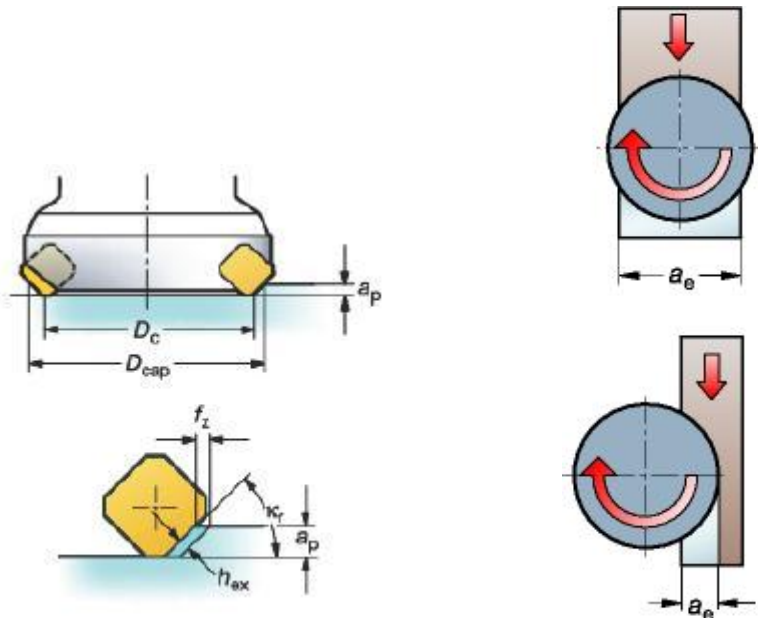
Forza di taglio specifica (k_c)
(N/mm²)

Se non si conosce γ_0 usare $\gamma_0 = 0^\circ$, pertanto si ottiene:

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c}$$

Formule per frese specifiche

Frese con taglienti diritti



$$D_{cap} = D_c + \frac{2 \times a_p}{\tan \kappa_r}$$

Max. diametro di taglio ad una determinata profondità mm.

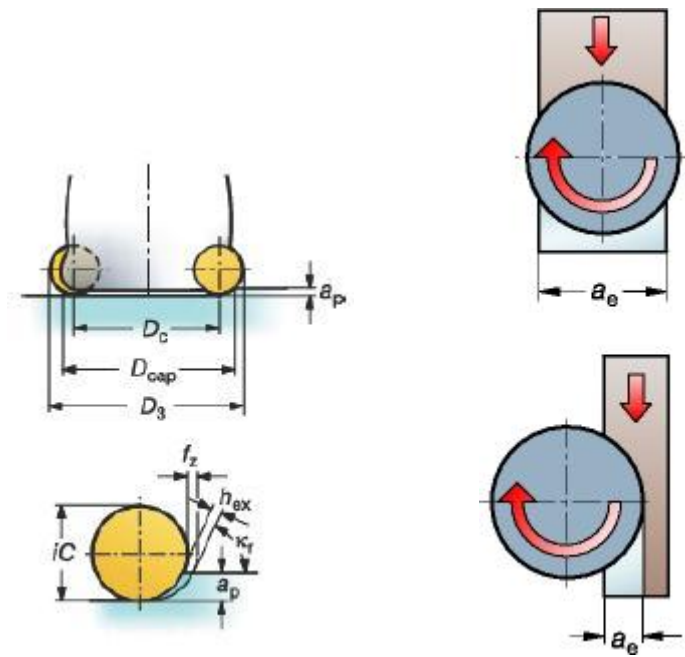
$$f_z = \frac{h_{ex}}{\sin \kappa_r}$$

Spianatura (pezzo centrato)
tagliente diritto e fresatura
laterale ($a_e > D_{cap}/2$) mm.

$$f_z = \frac{h_{ex} \times D_{cap}}{2 \times \sin \kappa_r \times \sqrt{D_{cap} \times a_e - a_e^2}}$$

Fresatura laterale (a_e
> $D_{cap}/2$) tagliente diritto
mm.

Frese con inserti rotondi



$$D_{cap} = D_c + \sqrt{ic^2 - (ic - 2 \times a_p)^2}$$

Max. diametro di taglio ad una determinata profondità mm.

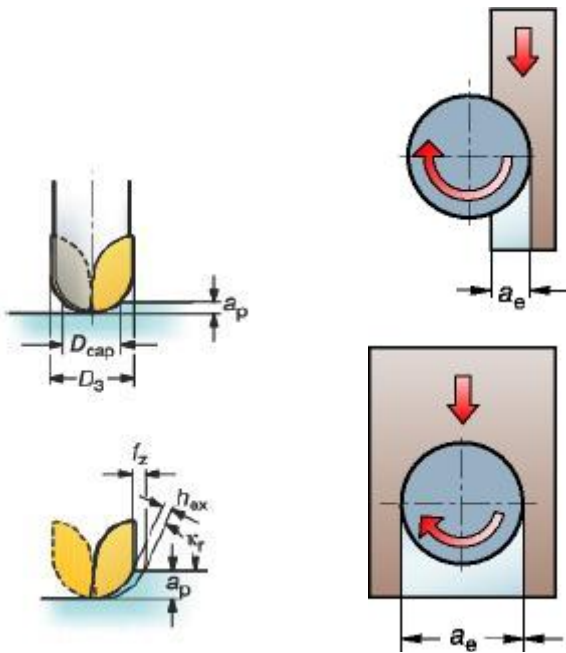
$$f_z = \frac{h_{ex} \times ic}{2 \times \sqrt{a_p \times ic - a_p^2}}$$

Inserto rotondo per spianatura
($a_e > D_{cap}/2$) mm.

$$f_z = \frac{h_{ex} \times ic \times D_{cap}}{4 \times \sqrt{a_p \times ic - a_p^2} \times \sqrt{D_{cap} \times a_e - a_e^2}}$$

Fresatura laterale ($a_e < D_{cap}/2$) e inserto rotondo ($a_p < ic/2$) mm.

Frese a candela con testa sferica



$$D_{cap} = \sqrt{D_3^2 - (D_3 - 2 \times a_p)^2}$$

Max. diametro di taglio ad una determinata profondità mm.

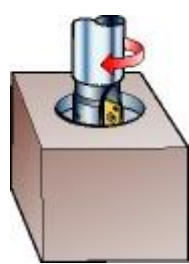
$$f_z = \frac{D_3 \times h_{ex}}{D_{cap}}$$

Avanzamento per dente (mm/dente), fresa centrata.

$$f_z = \frac{D_3 \times h_{ex}}{\sqrt{D_{cap}^2 - (D_{cap} - 2 \times a_e)^2}}$$

Avanzamento per dente (mm/dente), fresatura laterale.

Lavorazione in rampa circolare interna (3 assi) o fresatura circolare (2 assi)



Versione calcolata

$v_{fm} = n \times f_z \times z_c$	$v_f = \frac{v_{fm} \times (D_m - D_{cap})}{D_m}$	$a_{e\ eff} = \frac{D_m^2 - D_w^2}{4 (D_m - D_{cap})}$
Avanzamento periferico (mm/min)	Avanzamento del centro dell'utensile (mm/min)	Profondità di taglio radiale (mm)

In un pezzo integrale, con

$D_w = 0$ e $a_{e\ eff} = D_m/2$

$$f_z = h_{ex}$$

Avanzamento/dente
(mm)

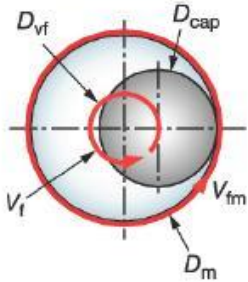
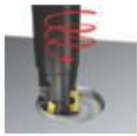
Allargamento di un foro

$$f_z = \frac{h_{ex}}{\sqrt{1 - \cos^2 \beta}} = \frac{h_{ex}}{\sin \beta}$$

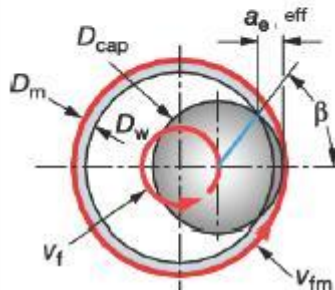
Avanzamento/dente
(mm)

$$\beta = \arccos \left(1 - \frac{2 \times a_{e \text{ eff}}}{D_{cap}} \right)$$

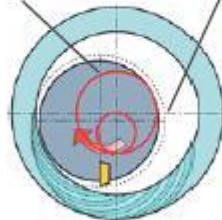
Lavorazione in rampa circolare
in un pezzo integrale



Lavorazione in rampa circolare
o fresatura circolare per al-
largare un foro



$$D_{vf} = D_m \cdot D_c \quad D_{vf1} = \frac{D_{vf}}{2}$$



Fresatura circolare con
percorso utensile in
interpolazione in entrata D_{vf1}

Lavorazione in rampa circolare esterna (3 assi) o fresatura circolare (2 assi)



Versione calcolata

$$v_{fm} = n \times f_z \times z_c$$

Avanzamento periferico
(mm/min)

$$v_f = \frac{v_{fm} \times (D_m + D_{cap})}{D_m}$$

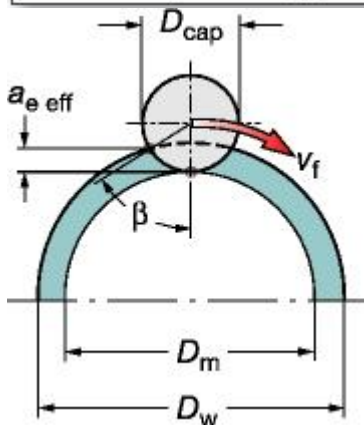
Avanzamento del centro dell'utensile
(mm/min)

$$f_z = \frac{h_{ex}}{\sin \beta}$$

Avanzamento/dente(mm)

$$a_{e\ eff} = \frac{D_w^2 - D_m^2}{4 (D_m + D_{cap})}$$

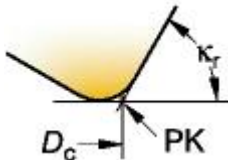
$$\beta = \arccos \left(1 - \frac{2 \times a_{e\ eff}}{D_{cap}} \right)$$



La fresa

Angolo di registrazione – κ_r (gradi)

L'angolo principale del tagliente (κ_r) della fresa è il fattore principale che influisce sulla direzione delle forze di taglio e lo spessore del truciolo.



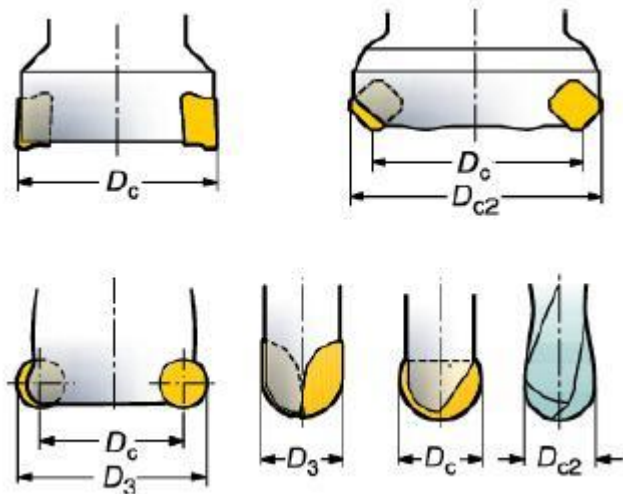
Diametro fresa – D_c (mm)

Il diametro della fresa (D_c) si misura al di sopra del punto PK, dove il tagliente principale incontra il tratto piano parallelo.

D_c è il diametro che nella maggior parte dei casi figura nel codice di ordinazione, ad eccezione di CoroMill 300, per la quale si utilizza D_3 .

Il diametro più importante da considerare è (D_{cap}) – Il diametro di taglio effettivo alla profondità di taglio effettiva (a_p) – utilizzato per il calcolo della velocità di taglio reale (v_e).

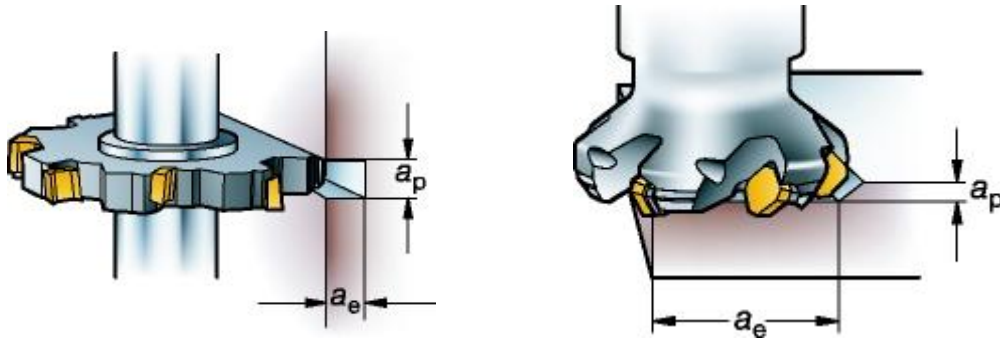
D_3 è il diametro maggiore dell'inserto; per alcune frese è pari a D_c .



Profondità di taglio – a_p (mm)

La profondità di taglio (a_p) è la differenza tra il raggio del diametro prima e dopo il taglio, ovvero è lo spessore di materiale da asportare. L' a_p massima è principalmente limitata dalle dimensioni dell'inserto e dalla potenza della macchina.

Un altro fattore critico per le operazioni di sgrossatura è la coppia e, nelle operazioni di finitura, la vibrazione.



Fascia fresata – a_e (mm)

Profondità radiale della fresa (a_e) impegnata nel taglio. Critica soprattutto per la larghezza di taglio nella lavorazione a tuffo e per le vibrazioni nella fresatura in corrispondenza di raccordi, in cui è particolarmente importante ottenere l' $a_{e\text{massima}}$.

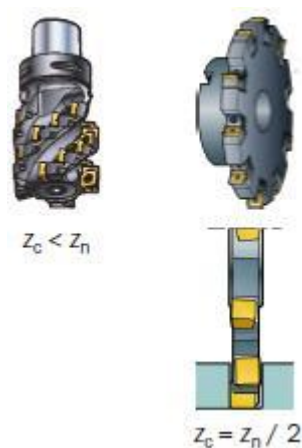
Impegno radiale – a_e / D_c

L'impegno radiale (a_e / D_c) è la larghezza del taglio in rapporto al diametro della fresa.

Numero di denti effettivi sull'utensile – z_c

Per determinare l'avanzamento tavola (v_f) e la produttività. Questo fattore spesso ha un'influenza fondamentale sull'evacuazione del truciolo e sulla stabilità operativa.

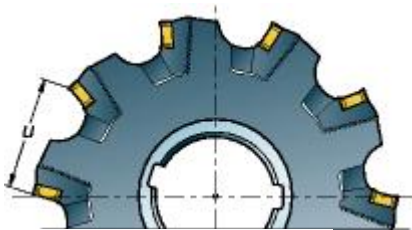
Numero totale di denti effettivi dell'utensile – z_n



Passo – u (mm)

Distanza tra i denti (taglienti) effettivi (u).

È possibile scegliere passi differenti per un diametro specifico di una fresa Sandvik Coromant: largo (-L), normale (-M), stretto (-H). Se il codice contiene una X, significa che la versione di fresa in questione ha un passo leggermente più stretto della versione base.



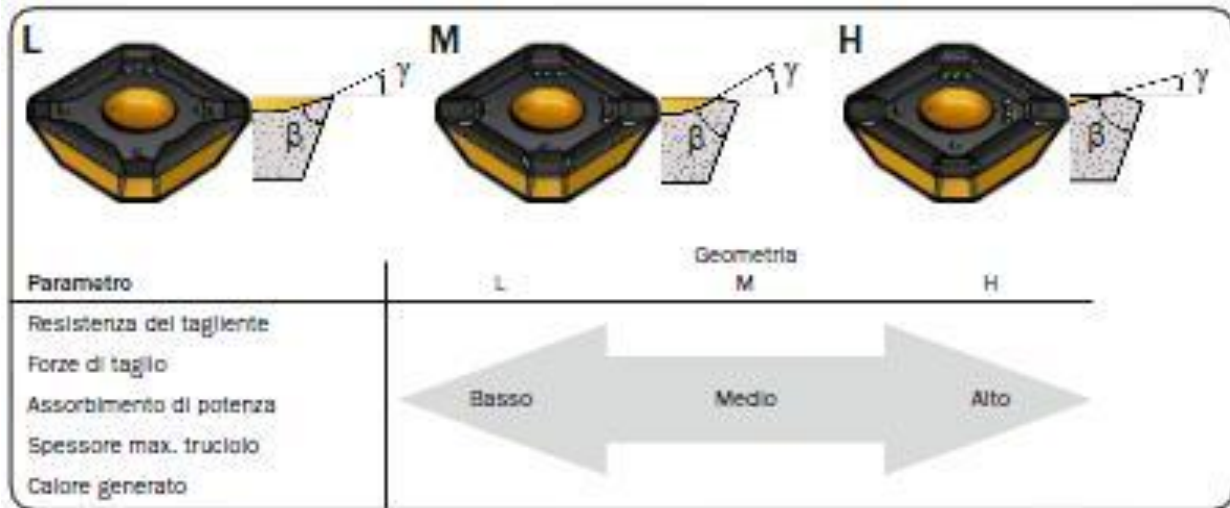
Passo differenziato

Indica che i denti della fresa non sono distanziati in modo uniforme. Questa soluzione è molto efficace per ridurre la tendenza alle vibrazioni.



L'inserto

L'inserto di fresatura



Da uno studio più attento della geometria del tagliente, si possono osservare due angoli importanti sull'inserto:

- angolo di spoglia superiore (γ)
- angolo di spoglia inferiore (α)

La macrogeometria è sviluppata per lavorare in condizioni di lavorazione leggere, medie o pesanti.

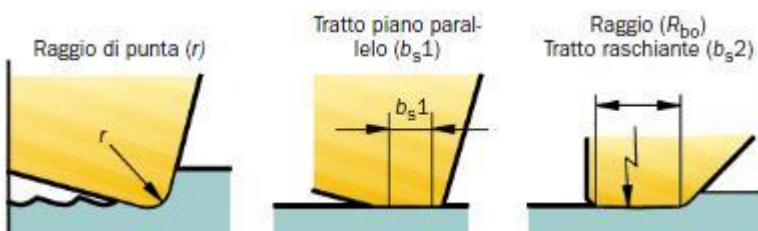
- La geometria L (Light - leggera) ha un tagliente più positivo, ma più debole (γ grande, α piccolo)
- La geometria H (Heavy - pesante) ha un tagliente più robusto, ma meno positivo (γ piccolo, α grande)

La macrogeometria influisce su molti parametri del processo di taglio. Un inserto con un tagliente robusto può lavorare con carichi maggiori, ma genera anche forze di taglio superiori, assorbe più potenza e genera più calore.

Le geometrie ottimizzate per materiali specifici sono indicate con le lettere della classificazione ISO. Ad esempio, le geometrie per la ghisa sono: KL, KM, KH.

Forma delle punte degli inserti

La parte più importante del tagliente che produce la superficie è il tratto piano parallelo b_{s1} o, laddove applicabile, il tratto raschiante convesso b_{s2} , o il raggio di punta r_ϵ .



Il processo di fresatura

Velocità di taglio – v_c (m/min)

È la velocità superficiale sul diametro ed è un valore base per il calcolo dei dati di taglio.

Velocità di taglio effettiva o reale

È la velocità superficiale sul diametro effettivo (D_{cap}).

Questo valore è necessario per determinare i dati di taglio reali alla profondità di taglio effettiva (a_p). Questo valore, inoltre, è particolarmente importante quando si utilizzano frese con inserti rotondi, frese a candela con testa sferica e tutte le frese con raggi di punta grandi, nonché le frese con angolo di registrazione inferiore a 90° .

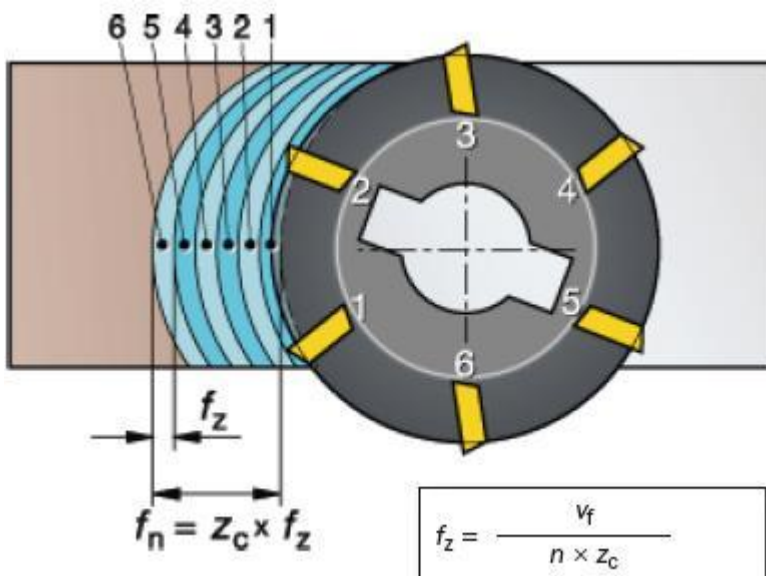
$$v_c = \frac{D_{cap} \times \pi \times n}{1000}$$

Velocità di rotazione mandrino – n (giri/min)

Numero di giri che l'utensile di fresatura compie in un minuto sul mandrino. È un valore che riguarda maggiormente la macchina, ed è calcolato in base alla velocità di taglio consigliata per un'operazione.

Avanzamento per giro – f_z (mm/dente)

Valore base per il calcolo dei dati di taglio, come l'avanzamento tavola. Per il calcolo, si prendono in considerazione anche lo spessore massimo del truciolo (h_{ex}) e l'angolo di registrazione.



Avanzamento per giro – f_n (mm/giro)

Valore ausiliario che indica l'entità del movimento dell'utensile nel corso di una rotazione completa.

È utilizzato principalmente per i calcoli relativi all'avanzamento e spesso anche per determinare la capacità di una fresa di eseguire operazioni di finitura.

Avanzamento al minuto – v_f (mm/min)

Avanzamento tavola, avanzamento macchina o velocità di avanzamento in mm/min. Rappresenta il movimento dell'utensile in relazione al pezzo, e dipende dall'avanzamento per dente (f_z) e dal numero di denti della fresa (z_n).

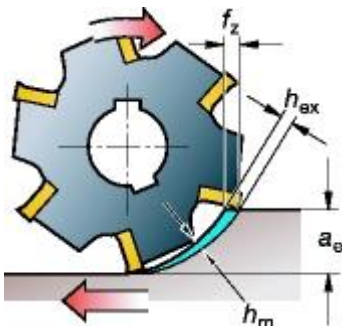
Spessore massimo del truciolo – h_{ex} (mm)

Questo valore è il risultato dell'impegno della fresa ed è correlato a (f_z), (a_e) e (κ_r).

Lo spessore del truciolo è un fattore importante da considerare nella scelta dell'avanzamento per dente, per essere certi di utilizzare l'avanzamento tavola più produttivo.

Spessore medio del truciolo – h_m (mm)

Valore utile per determinare la forza di taglio specifica, utilizzato per il calcolo della potenza netta.



Volume di truciolo asportato – Q (cm³/min)

Volume di truciolo asportato in millimetri cubi all'ora. Viene determinato utilizzando i valori di profondità di taglio, fascia da fresare ed avanzamento.

Forza di taglio specifica – k_{ct} (N/mm²)

Fattore utilizzato per il calcolo della potenza. La forza di taglio specifica è correlata alla resistenza del materiale asportato ad uno specifico valore di spessore del truciolo.

Potenza P_c e rendimento η_{mt}

Valori riguardanti la macchina utensile, utili per calcolare la potenza netta necessaria per assicurare che la macchina possa gestire la fresa e la lavorazione.

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{\eta_{mt} \times 60 \times 10^6}$$

Tempo di lavorazione – T_c (min)

Lunghezza di lavorazione (l_m) divisa per l'avanzamento tavola (v_f).

La produttività nella fresatura



La produttività nella fresatura, definita come volume di truciolo asportato, $Q \text{ cm}^3/\text{min}$, può essere ottimizzata in vari modi. È importante scegliere l'utensile giusto per l'applicazione, ma la scelta dei parametri di taglio è altrettanto critica.

Nei sette esempi sotto riportati sono illustrati i metodi per aumentare i dati di taglio oltre i valori normalmente consigliati, contribuendo così ad aumentare la produttività:

		1	2	3	4	5	6	7
Applicazione		Spianatura	Fresatura periferica	Profilatura	Spianatura	Spianatura	Spianatura	Spianatura
		Alluminio	Piccolo a_p/D_c	Finitura	Angolo di reg. piccolo	Lavorazione pesante	Raschiante	Ghisa
Parametri di taglio	v_c	Alta	Alta	Alta				
	n		Elevato	Elevato				
	f_z		Elevato		Elevato	Elevato	Elevato	
	z							Elevati
	v_f	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	a_p			Piccola	Piccola		Piccola	
	a_e		Piccola	Piccola		Alta		

$Q = v_f \times a_p \times a_e / 1000 \text{ (cm}^3/\text{min)}$, dove $v_f = f_z \times n \times z_p \text{ (mm/min)}$

1. Spianatura – Alta velocità di taglio, v_c

Nella lavorazione dell'alluminio, e talvolta nella lavorazione della ghisa con inserti in CBN o ceramica, è possibile utilizzare velocità di taglio superiori a 1000 m/min, che determinano un avanzamento tavola molto elevato, v_f . Questo tipo di lavorazione è anche detta Lavorazione ad Alta Velocità (High Speed Machining, HSM).

2. Fresatura periferica – Alta velocità di taglio, v_c , ed avanzamento elevato, f_z

Quando la fresa ha una piccola profondità di taglio radiale, a_e , il tempo per giro nel taglio è breve, pertanto la temperatura del tagliente sarà bassa. Ciò significa che è possibile aumentare la velocità di taglio oltre i valori normalmente consigliati. Inoltre, è possibile aumentare l'avanzamento, f_z , poiché lo spessore massimo del truciolo, h_{ex} , sarà piccolo. L'avanzamento sarà limitato dalla finitura superficiale richiesta.

3. Profilatura – Alta velocità di rotazione del mandrino, n

Questo metodo di fresatura è spesso detto Lavorazione ad Alta Velocità (High Speed Machining, HSM) ed è tipicamente impiegato per operazioni di profilatura (finitura o superfinitura con una fresa a candela con testa sferica).

4. Spianatura con angolo di registrazione piccolo ed avanzamento elevato, f_z

Le frese con angoli di registrazione molto piccoli consentono di aumentare notevolmente l'avanzamento, f_z , grazie all'affetto di assottigliamento dei trucioli con a_p piccola.

5. Fresatura pesante – elevata profondità di taglio – lavorazione pesante

Nelle lavorazioni pesanti, si utilizzano frese con inserti di grandi dimensioni e grandi diametri. La velocità di

taglio è normale, ma con valori di a_p ed f_z elevati, abbinati ad un valore di a_e elevato, si ottiene una maggiore produttività.

6. Finitura con inserti raschianti

Nelle operazioni di finitura con una fresa per spianatura di grosse dimensioni, l'avanzamento, f_z , di norma deve essere mantenuto basso. Tuttavia, utilizzando inserti raschianti sulla fresa, è possibile aumentare di due o tre volte l'avanzamento, senza compromessi in termini di qualità superficiale.

7. Spianatura – fresa a passo stretto

Durante la fresatura di materiali che producono trucioli corti, come la ghisa grigia, è possibile utilizzare una fresa per spianatura con passo stretto, ottenendo così un avanzamento tavola elevato. La lavorazione con passo stretto determina un avanzamento tavola elevato anche nel caso delle superleghe HRSA, con cui le velocità di taglio sono normalmente basse.

Metodo "leggero e veloce": I metodi 2, 3 e 4 prevedono una profondità di taglio ridotta, a_e , e/o a_p , che genera basse forze di taglio e poco calore, pertanto è possibile aumentare la velocità e/o l'avanzamento.

Espressioni utilizzate nella guida

I termini riportati in questa guida sono utilizzati nell'accezione più comune del settore. Se esistono più termini per descrivere la stessa funzione, è stata utilizzata la nomenclatura Sandvik Coromant.

Lavorazione ad alta velocità

Il termine HSM (High Speed Machining) non è utilizzato in questa guida. HSM si riferisce ad argomenti trattati separatamente nelle varie sezioni.

Lavorazione in rampa lineare

Movimento rettilineo eseguito contemporaneamente nella direzione di avanzamento assiale e radiale.

Fresatura circolare

Percorso utensile circolare ad un'altezza costante lungo l'asse z (interpolazione circolare).

Lavorazione in rampa circolare

Percorso utensile in rampa circolare (interpolazione elicoidale).

Fresatura "Waterline"

Fresatura ad un livello costante lungo l'asse z.

Fresatura con percorso punto a punto

Taglio radiale poco profondo con frese con inserti rotondi o a testa sferica in cui la zona di taglio è lontana dal centro dell'utensile.

"Smerlatura" o fresatura di "smerli"

Configurazione a cuspidi che si incontra durante la lavorazione di superfici sculturate.