



Pensa **all'efficienza**, Pensa **HSS**

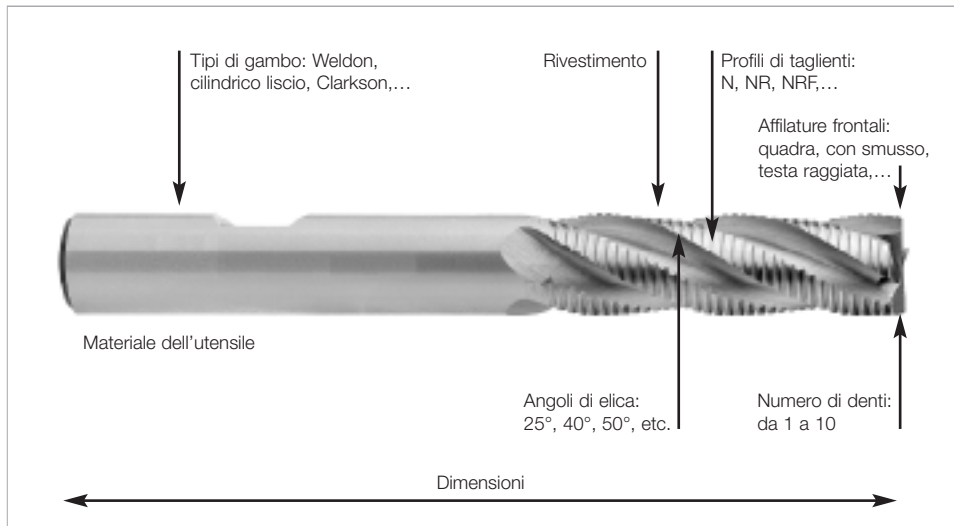
FRESATURA

UTENSILI PER FRESARE

- 2 Zoom su una fresa
- 3 Quale HSS per la massima efficienza?
- 4 Rivestimenti PVD per prestazioni migliori
- 5 Vocabolario
- 6 Scegliere il design corretto
- 7 Scelta del profilo dello spigolo tagliente
- 8 Profili speciali dello spigolo tagliente
- 9 Il giusto numero di denti
- 10 Diversi angoli di elica
- 11 Geometrie dei principali frontali
- 12 Dimensioni e tolleranze
- 13 Serraggio di frese a gambo
- 14 Serraggio di frese con foro

PROCESSO DI FRESATURA

- 15 Le basi della fresatura
- 16 Metodi operativi delle frese
- 17 Modalità operative di altre frese
- 18 Fresatura convenzionale contro fresatura concorde
- 19 Tipiche velocità di taglio
- 20 Come ottenere alte velocità di rimozione del metallo
- 21 Refrigerazione e rimozione del truciolo
- 22 Soluzione del problema
- 23 Come monitorare l'usura
- 24 Cos'hanno da dire I trucioli
- 25 Formule utili per la fresatura



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Ottenere
I migliori risultati
con HSS-PM*

HSS	HSS-E 5% cobalto	HSS-E 8% cobalto	HSS-PM (metallurgia delle polveri)	HSS-E-PM (metallurgia delle polveri)
<ul style="list-style-type: none">• Utilizzato raramente per le frese	<ul style="list-style-type: none">• Scelta base	<ul style="list-style-type: none">• Il grado più comune• Per velocità di taglio ancora più elevate• Per una produttività elevata	<ul style="list-style-type: none">• Prestazione elevata nella sgrossatura• Lunga vita dell'utensile• Adatta per le leghe di nickel o di titanio• Adatta per la fresatura a secco	<ul style="list-style-type: none">• Prestazione elevata nella finitura, ma anche nella sgrossatura• Elevata velocità di taglio• Lunga vita dell'utensile• Adatta per lavorazione a secco



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Per la massima
efficienza di taglio,
preferire
un substrato
HSS-PM*

TiN
Oro

- Convenzionale, rivestimento per scopi generici
- Riduce l'attrito
- Buona resistenza all'usura di abrasione

TiCN
Grigio-viola

- Rivestimento multi-funzionale, soprattutto per frese a sgrossare
- Elevata resistenza all'usura abrasiva
- Disponibile come mono o multi strato
- Consigliato per acciai da costruzione ($R_m < 1000$ Mpa)

TiAlN
o **TiAlCN**
Nero-viola

- Rivestimento a prestazione elevata per un'ampia gamma di parametri di taglio
- Vita dell'utensile più lunga da 2x a 6x rispetto ai rivestimenti convenzionali
- Ridotto riscaldamento dell'utensile
- Le versioni multistrato, nanostrutturate o legate offrono prestazioni anche migliori
- Adatto per lavorazione a secco

MoS₂
o **WC-C**
Grigio-nero

- Riduce l'attrito
- Resistenza limitata alla temperatura
- Raccomandato per leghe di alluminio, rame e materiali non metallici



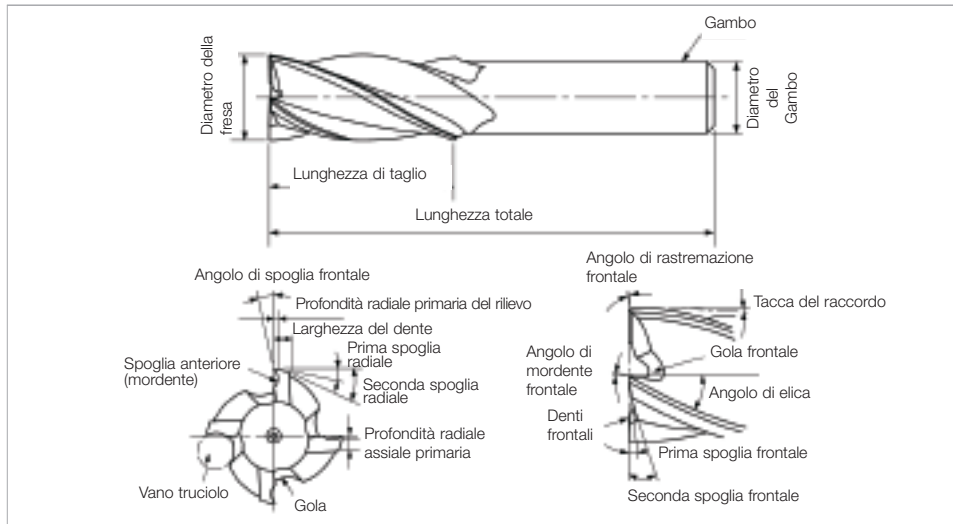
**UNA FRESA
NEL MONDO**

*Francese:
une fraise*

*Tedesco:
ein Fräser*

*Inglese:
a milling cutter*

*Spagnolo:
una fresa*



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Gli inserti Hss
sono raccomandati
quando falliscono
gli inserti
in metallo duro*



Frese integrali

Per utensili con diametri piccoli (da 1 a 32 mm o fino a 63 mm)

- + Per geometrie complesse (superfici 3D) : tasca, raggio, avanzamento assiale
- + Per centri di lavorazione moderni
- + Per le operazioni di sgrossatura e di finitura



Frese con inserti HSS

Per utensili di grande diametro (da 10 a 160 mm)

- + Per profilo più affilato e angolo di taglio più positivo rispetto agli inserti in metallo duro
- + Adatte quando sono inefficaci gli inserti in metallo duro, soprattutto negli lavorazione degli acciai inossidabili
- + Non serve alcuna riaffilatura (inserti da gettare)



Frese a manicotto

Montata su un mandrino

- Per utensili con diametri larghi (da 32 a 100 mm)
- + Molto produttiva nelle operazioni di sgrossatura
- Corpo fragile (dovuto al foro di bloccaggio largo)
- Solo per le operazioni senza taglio al centro



Frese a disco

Montate su un mandrino

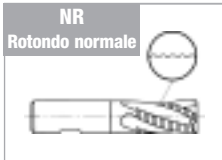
- + Possibilità di impilare parecchie frese per scanalature larghe e precise
- + Buona trasmissione in coppia
- Necessaria tolleranza precisa del foro di bloccaggio



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

I rompitruciolo sono fondamentali per aumentare la profondità del taglio e diminuire la potenza e le forze di taglio

PROFILI DI SGROSSATURA



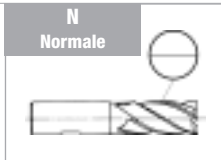
- Rompitrucioli rotondi
- Passo normale
- Per sgrossatura e cave profonde
- Superficie di qualità inferiore Ra > 6,3
- Per acciai, ghisa



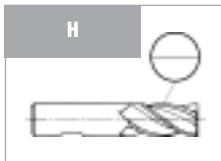
- Rompitrucioli rotondi
- Passo fine
- Per sgrossatura – semi finitura



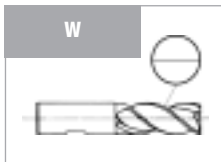
FINISHING PROFILES



- Per tutti i materiali
- Profilo universale
- Profilo più impiegato



- Per materiali duri
- Truciolo corto
- Eccellente qualità di superficie



- Per materiali non ferrosi
- Eccellente qualità di superficie

**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Grazie alle proprietà
dell'HSS,
il produttore
dell'utensile può
disegnare dei profili
speciali dello spigolo
tagliente per risolvere
specifici problemi di
lavorazione*

PROFILI DI SGROSSATURA - FINITURA

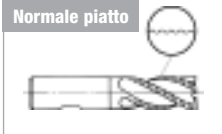
WR



- Per materiali non ferrosi
- Per sgrossare – semi finire

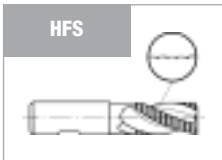
NF

Normale piatto



- Passo normale
- Per sgrossare – semi finire
- Rompitruccioli piatti

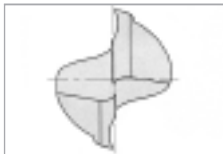
HFS



- Rompitruccioli piatti
- Passo normale
- Per sgrossare – semi finire

**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Preferire le frese
a 2 denti per
materiali morbidi.
Quelle a 4 denti per
i materiali difficili
da lavorare*



2 denti

- Vano grande per il truciolo e piccolo diametro del nucleo
- Buoni risultati nella sgrossatura e nella fresatura di cave
- Usato anche per foratura assiale nelle leghe di alluminio e in materiali con trucioli lunghi



3 denti

- La fresa universale
- Ottima scelta per fresatura di cave e lavorazioni in rampa nei materiali ferrosi e nelle leghe resistenti al calore



4 denti

- Geometria universale, impiegata per fresatura laterale e frontale e fresatura periferica
- Elevata rigidità dell'utensile dovuta al grande diametro del nucleo
- Bassa capacità di evacuazione trucioli nella fresatura di cave rispetto alla fresa a 3 denti



5 denti

- Principalmente per finitura – buona finitura di superficie
- Permette un'elevata velocità di avanzamento
- Taglio morbido perché un dente è sempre impegnato nel materiale lavorato
- Anche per sgrossatura con utensili diametro > 20 mm



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Selezionare l'angolo
di elica a seconda
del materiale
del pezzo e del tipo
di operazione
(sgrossatura/finitura)*

**SOTTO
25°**

**Per sgrossatura e finitura
nei diametri grandi**

- + Impiegato nell'acciaio e nella ghisa e per tutti i materiali quando sono richiesti utensili dai diametri grandi
- + Forza di taglio assiale inferiore (interessante negli utensili dai diametri grandi)
- Non adatto a fresatura di cave profonde a causa della difficile evacuazione radiale del truciolo
- Scosse dovute al contatto discontinuo tra l'utensile e il pezzo

**DA 25
A 35°**

**Scelta base per la
sgrossatura e la finitura
in tutti i materiali**

- + Utilizzo universale, con un buon bilanciamento delle forze di taglio
- Non sempre è il più produttivo

**DA 40
A 50°**

**Per sgrossatura e
finitura di leghe non
ferrose**

- + Elevata profondità di taglio nelle leghe ferrose quando combinata con un piccolo numero di denti
- + Costante contatto del dente con il pezzo
- Spigoli fragili
- Elevate forze di taglio assiali nelle operazioni di sgrossatura con utensili dai diametri grandi

**OLTRE
50°**

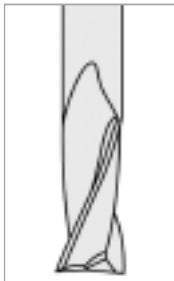
**Per finitura dei
materiali temprati**

- + Ottima qualità della superficie ed elevata produttività, quando combinata con un grande numero di denti
- Spigoli fragili se non esiste uno smusso o un raggio



LO SAPEVATE?

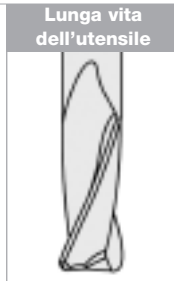
La tenacità dell'HSS prolunga la vita dell'utensile delle frese a testa piana



Spigoli vivi

Meccanica generica

- Spigolo vivo a 90°
- Spigolo fragile

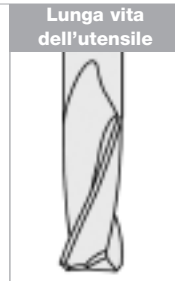


Lunga vita dell'utensile

Smusso frontale

Meccanica generica

- Angoli resistenti
- Buon taglio nelle operazioni di sgrossatura
- Adatto per utensili rivestiti

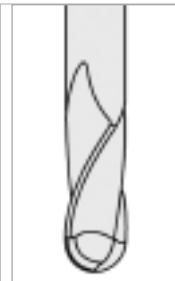


Lunga vita dell'utensile

Raggio di raccordo

Aeronautica

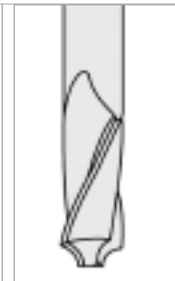
- Utilizzo tipico: sgrossatura di parti 3D
- Elevata resistenza dello spigolo
- Adatto per utensili rivestiti



Testa raggiata sferica

Stampi e matrici

- Finitura di parti 3D
- Velocità di taglio nulla al centro: scarsa qualità della superficie nei materiali morbidi



Per spigoli arrotondati

Meccanica generica

- Impiegati per spigoli arrotondati
- Spigolo fragile

LO SAPEVATE?

*Le tolleranze delle
fresse HSS sono
identiche alle
tolleranze delle fresse
in metallo duro*



Extra corta



Corta (standard)



Lunga



Extra lunga

Quattro tipiche lunghezze di utensile (ISO 1641/1)

La lunghezza di taglio definisce la profondità che può essere lavorata in una passata.

Per una prestazione elevata, soprattutto nella sgrossatura, usate le fresse più corte e lavorate il più possibile vicino al mandrino.

Diametro

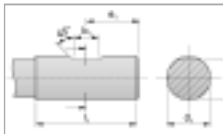
Le tolleranze sul diametro del gambo (h6) sono molto strette (necessità di precisione nelle operazioni di fresatura).

Le tolleranze sul diametro della fresa dipendono dal tipo di operazione (sgrossatura, finitura, cava), e dagli standard internazionali o del produttore di utensili.



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Per una lunga vita
dell'utensile e per il
miglioramento delle
tolleranze, le frese
HSS possono essere
calettate a caldo*



Gambo cilindrico Weldon

Scelta base

- + Scelta di uno o due piani di fissaggio
- + Fissaggio semplice, senza messa a punto della lunghezza di taglio
- + Buona capacità di trasmissione di coppia nella sgrossatura
- Mandrino grande
- Problemi di sbilanciamento ad alte velocità dovute alla vite di serraggio



Gambo cilindrico liscio

Buona scelta per utensili con piccoli diametri

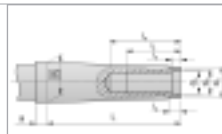
- + Lunghezza dell'utensile regolabile
- + Adatto per fissaggio di precisione o calettamento a caldo
- + Non c'è sbilanciamento ad elevate velocità di rotazione (non ci sono il piano e la vite)
- Bassa trasmissione di torsione quando fissato tramite pinza elastica
- Non adatto a sgrossatura se i diametri dell'utensile sono >12 mm



Gambo cilindrico filettato

Precedente scelta base

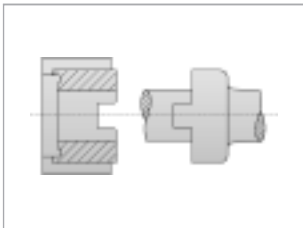
- Bassa rigidità torsionale
- Impossibile regolare la lunghezza della sporgenza del mandrino



Gambo conico Morse

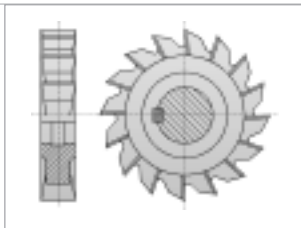
Precedente scelta base

- + Buona coassialità (accoppiamento conico)
- + Mandrino di modeste dimensioni che permette l'impiego nei casi di difficile accesso
- Limitata trasmissione di torsione
- Lunghezza dell'utensile troppo lunga per la sgrossatura



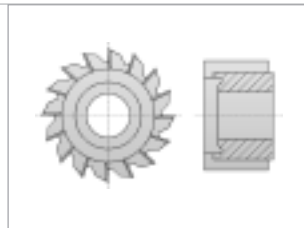
Con tenone

Per frese sia frontali che a disco
+ Buona trasmissione di torsione



Con chiavetta

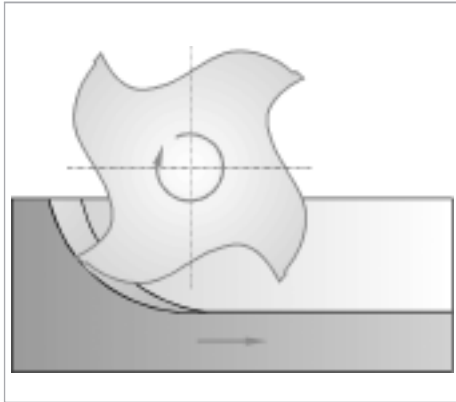
Per frese a disco
+ Buona trasmissione di torsione
+ Permette il montaggio contemporaneo di parecchi utensili



Liscio

La scelta economica
+ Adattato a utensili sottili
+ Un serraggio accurato previene lo scivolamento dell'utensile dalla pinza

La fresatura è caratterizzata da un taglio interrotto e da uno spessore di truciolo variabile

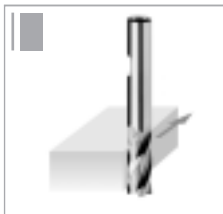


La fresatura è un'operazione di lavorazione con taglio interrotto.

Il tagliente si muove in modo circolare, producendo un truciolo di spessore variabile.

Ad ogni giro, il dente va dentro e fuori il pezzo.

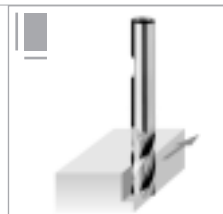
In combinazione con uno spessore variabile del truciolo, questo movimento alternato porta ad una continua variazione delle forze di taglio e produce delle scosse.



Fresatura laterale



Fresatura frontale



Fresatura laterale e frontale



Fresatura di cava



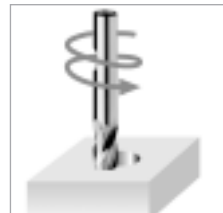
Penetrazione assiale



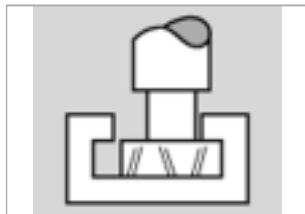
Penetrazione diagonale (Rampa)



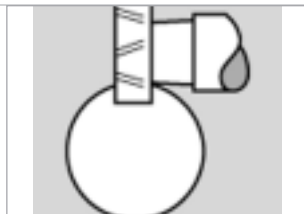
Fresatura di tasche



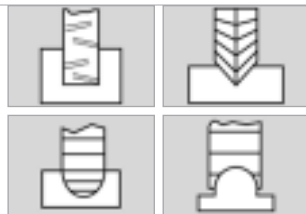
Interpolazione elicoidale



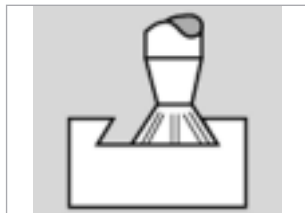
Fresa a T



Fresa Woodroff



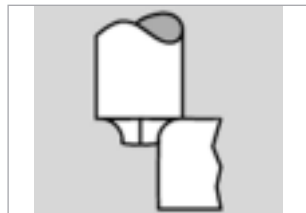
Frese a disco



Fresa ad angolo



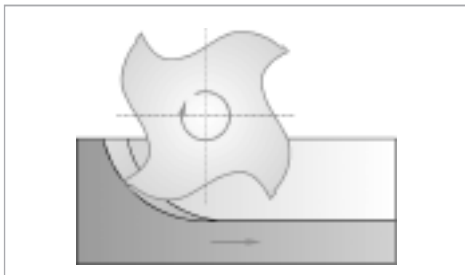
Fresa ad angolo



Fresa a disco angolare con raggio di raccordo

**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

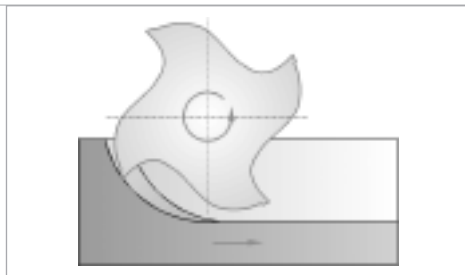
Grazie ad un tagliente estremamente affilato, le frese HSS possono fresare avanti e indietro in modo efficiente. Non ci sono tempi morti!



Fresatura convenzionale (disconcorde)

Lo spessore del truciolo comincia da zero e raggiunge il massimo alla fine del taglio.

- + Utilizzare solo quando la macchina utensile manca di rigidità o lavora a basse velocità (vecchie macchine utensili, macchine di bassa qualità, macchine usurate)
- Tendenza a respingere il pezzo
- Il tagliente scivola invece di tagliare, provocando un forte attrito tra il fianco del dente dell'utensile e il materiale

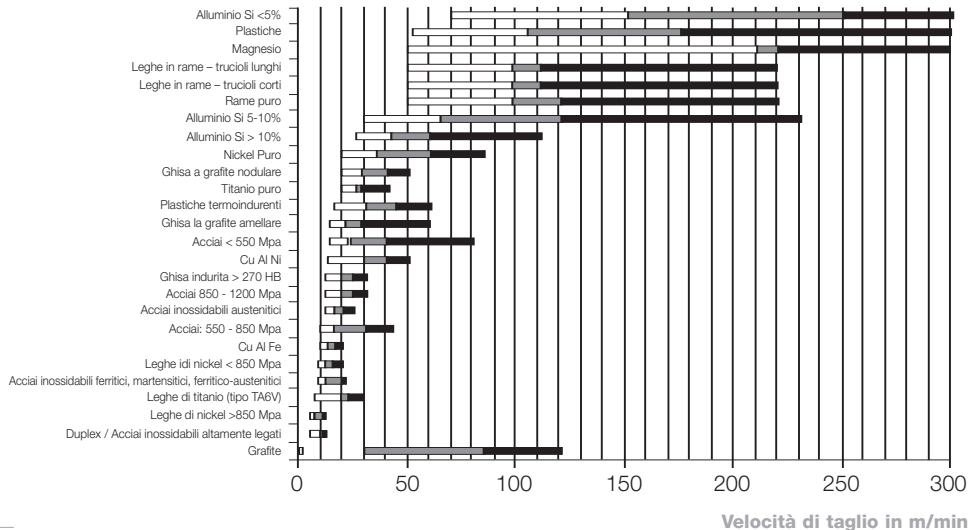


Fresatura concorde

Lo spessore del truciolo comincia al massimo e scende verso lo zero alla fine del taglio.

- + Taglio efficiente
- + Lunga e sicura vita dell'utensile
- + Miglior superficie di finitura, soprattutto con gli acciai inossidabili, le leghe in alluminio o in titanio
- Rischio di rottura dell'utensile, dovuto all'improvviso contraccolpo quando la macchina manca di rigidità.

- Frese HSS non rivestite
- Frese HSS rivestite
- Frese PM-HSS rivestite



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Aumentare sempre
l'avanzamento prima
della
Velocità*

- La velocità di rimozione del metallo dipende da due parametri, avanzamento (f_z) e velocità di taglio: $Q = a_p \times a_e \times N \times z_u \times f_z / 1000$
- Per un'elevata produttività nella fresatura, aumentare l'avanzamento prima di aumentare la velocità, soprattutto nelle operazioni di sgrossatura.
- Un avanzamento minimo è comunque necessario. Quando l'avanzamento è troppo basso, la fresa non taglia più ma strappa il materiale.

STORIE DI SUCCESSO Quote elevate di rimozione metallo in...

Acciaio da costruzione ($R_m 700 \text{ N/mm}^2$)	Operazione	• Sgrossatura con un utensile rivestito a 4 denti $\varnothing 16 \text{ mm}$, $a_p 24 \text{ mm}$, $a_e 8 \text{ mm}$
	Dati di taglio	• $N 1350 \text{ giri/min}$, $v_c 68 \text{ m/min}$, $f_z 0,1 \text{ mm}$ (100% maggiore che con utensile in metallo duro)
	Quota di rimozione metallo	• $Q 103,7 \text{ cm}^3/\text{min}$
Alluminio ($<6\% \text{ Si}$)	Operazione	• Fresatura di cave con un utensile rivestito a 3 denti $\varnothing 6 \text{ mm}$, $a_p 6 \text{ mm}$, $a_e 6 \text{ mm}$
	Dati di taglio	• $N 15650 \text{ giri/min}$, $v_c 295 \text{ m/min}$, $f_z 0,3 \text{ mm}$
	Quota di rimozione metallo	• $Q 50,8 \text{ cm}^3/\text{min}$ (30% superiore che con un utensile in metallo duro)
Inconel 718	Operazione	• Sgrossatura con un 6 denti HSS-PM 8%Co + TiCN tool $\varnothing 32 \text{ mm}$, $a_p 30 \text{ mm}$, $a_e 8 \text{ mm}$
	Dati di taglio	• $v_c 5 \text{ m/min}$, $f_z 0,16 \text{ mm}$ (doppio che con un utensile in metallo duro)
	Benefici	• $Q 11,5 \text{ cm}^3/\text{min}$ (come il metallo duro) e più lunga vita dell'utensile: 2,1 m vs. 0,45 m per il metallo duro

LO SAPEVATE?

Shock termici causati da problemi di refrigerazione?

Solo HSS resiste!

Fluidi da taglio nella fresatura

- Fluidi da taglio comuni: olio solubile, o olio intero. Olii solubili con additivi aumentano significativamente la vita della fresa HSS
- I fluidi da taglio sono essenziali quando si usano utensili non rivestiti, soprattutto nella fresatura di cave dove è importante il tempo di contatto tra l'utensile e il materiale

Il refrigerante deve essere attentamente indirizzato

- Quando l'utensile lavora il pezzo, per un'efficiente refrigerazione durante l'operazione di fresatura
- Quando l'utensile esce dal pezzo, per eliminare in maniera corretta i trucioli e il calore

**Acciaio
per utensili**
($R_m 1040 N/mm^2$)

UNA STORIA DI SUCCESSO Fresatura a secco con una fresa HSS!

Operazione

- Sgrossatura con utensile HSS-PM 8% Co + Ti_2CN tool a_p 12 mm, a_e 8 mm in acciaio da utensili 40CrMnMo7

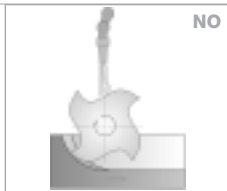
Dati di taglio

- v_c 45 m/min, f_z 0,03 mm

Benefici

Paragonati con lavorazione lubrificata

- Riduzione della forza di taglio specifica (56,8 vs. 46,6 W/cm³/min)
- Vita dell'utensile solo leggermente modificata
- Potenziale per un aumento dell'avanzamento e produttività



NO



SI

Fresatura a secco

- Le frese HSS possono essere usate con una minima quantità di lubrificante o a secco
- I rivestimenti TiAlN, una vera barriera termica, consentono anche una elevata produttività a secco con frese HSS

Problema	Soluzioni
Non c'è perpendicolarità della parete	Diminuire la velocità. Diminuire profondità e larghezza di taglio. Diminuire la lunghezza totale. Impiegare una fresa con più denti.
Non presenta precisione dimensionale	Diminuire profondità e larghezza di taglio. Migliorare la rigidità del mandrino e della pinza di fissaggio. Impiegare una fresa con più denti.
Vibrazioni	Ridurre avanzamento o velocità. Impiegare una fresa con più denti. Diminuire l'angolo di spoglia. Diminuire la profondità di taglio. Impiegare una fresa più corta.
Truciolo che forma gomito	Ridurre avanzamento o velocità. Utilizzare una fresa con meno denti. Aumentare il flusso refrigerante.
Sbavature	Anticipare la Riaffilatura. Correggere i parametri di fresatura e l'angolo di taglio.
Finitura sgrossata della superficie	Ridurre avanzamento ed aumentare velocità. Anticipare la Riaffilatura.
Rottura della fresa	Ridurre velocità e avanzamento per dente. Impiegare una fresa più corta. Anticipare la Riaffilatura.
Breve vita dell'utensile	Anticipare la Riaffilatura. Utilizzare una fresa HSS-PM. Correggere i parametri di taglio e l'angolo di taglio.



**SUGGERIMENTI
AI PRODUTTORI
DI UTENSILI**

*Nella fresatura,
un attento controllo
dell'usura dello
spigolo prolunga la
vita dell'utensile*

Usura del fianco	Craterizzazione	Scheggiatura	Deformazione	Materiale di riporto
<ul style="list-style-type: none">• Normale modalità di usura• Se troppo elevata, diminuire prima la velocità di taglio (v_c) poi la larghezza di taglio (a_e)• Aumentare il flusso refrigerante• Utilizzare HSS-PM e rivestimento	<ul style="list-style-type: none">• Da limitare• Diminuire la velocità di taglio (v_c)• Usare un utensile in HSS Co 8% e rivestito.• Controllare il flusso refrigerante	<ul style="list-style-type: none">• Da evitare• Diminuire prima l'avanzamento (f_z) poi la profondità di taglio (a_p)• Utilizzare un materiale più duro (HSS-PM)	<ul style="list-style-type: none">• Da evitare• Diminuire prima la velocità di taglio (v_c), poi l'avanzamento (f_z) e infine a_e• Usare un utensile rivestito e in HSS Co 8% o HSS-PM• Aumentare il flusso refrigerante	<ul style="list-style-type: none">• Da limitare• Aumentare la velocità di taglio (v_c) e/o l'avanzamento (f_z)• Aumentare l'effettivo angolo di taglio• Aumentare il flusso refrigerante• Utilizzare un rivestimento a basso coefficiente di attrito

LO SAPEVATE?

L'attenta osservazione dei trucioli fresati può fornire importanti informazioni!

Forma dei trucioli

Un truciolo fresato ha una forma a spirale.

L'estremità che si trova dentro la spirale si forma quando il tagliente entra nel pezzo.

Nella fresatura concorde, questa estremità sarà la più spessa.

A causa del taglio interrotto, la lunghezza del truciolo è limitata alla lunghezza dell'arco di taglio nel materiale.

Controllo del truciolo

Controllare le operazioni di fresatura misurando ed osservando il truciolo:

- Lo spessore dipende dalla profondità del taglio: il truciolo più lungo si ottiene nelle operazioni di fresatura di cava.
- La lunghezza dipende dalla profondità del taglio e dal diametro dell'utensile, più largo è il diametro dell'utensile, più lungo è il truciolo

- Lo spessore è proporzionale all'avanzamento per dente combinato con la profondità di taglio.
- I trucioli fresati dovrebbero essere regolari.
- I trucioli fresati dovrebbero presentare un colore omogeneo.
- Quando si usa un refrigerante, non dovrebbero esserci tracce di effetti termici sul truciolo.

Come evitare i problemi?

E' importante che i trucioli non rimangano nell'area di taglio.

Se i trucioli sono irregolari, se ci sono trucioli ad ago, o se i trucioli hanno colori diversi, ciò significa che i parametri di taglio non sono stati scelti bene, che la refrigerazione non è efficiente, che ci sono delle vibrazioni o che i taglienti dell'utensile sono usurati.

Simbolo	Unità	Nome
D	mm	Diametro dell'utensile
T	mm	Tempo di lavorazione
Z		Numero di denti
a_p	mm	Profondità di taglio
a_e	mm	Larghezza di taglio

Simbolo	Unità	Nome	Formula
v_c	m/min	Velocità di taglio	$v_c = \frac{\pi DN}{1000}$
N	giro/min	Giri al minuto	$N = \frac{1000 v_c}{\pi D}$
v_f	mm/min	Avanzamento al minuto	$v_f = NZ f_z$
f_z	mm/dente	Avanzamento per dente	$f_z = \frac{v_f}{NZ}$
Q	cm ³ /min	Volume rimosso al minuto	$Q = \frac{a_p a_e NZ f_z}{1000}$
h_m	mm	Spessore medio del truciolo	$\frac{\sqrt{a_e}}{D} f_z$
h_{max}	mm	Spessore massimo del truciolo	