

1 Parametri di taglio nella fresatura

Tabella 3.33 Terminologia e simboli nella lavorazione di fresatura

Diametro utensile	D	mm
Velocità del mandrino	n	giri/min
Velocità di taglio	V_c	m/min
Tempo di lavorazione	t	min
Lunghezza di lavorazione	l	mm
Potenza utile	P_u	kW
Potenza effettiva	P_e	kW
Forza di taglio specifica	K_s	N/mm ²
Spessore del truciolo	s	mm
Numero denti	Z	
Avanzamento per dente	f_z	mm
Velocità di avanzamento	V_f	mm/min
Profondità di taglio	p	mm

1.1 Velocità di taglio

Si intende per *velocità di taglio* di una lavorazione di fresatura, la velocità dei punti P periferici dei denti della fresa a contatto con il pezzo in lavorazione (figura 3.130).

Si ha la formula:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n$$

dove:

V_c = velocità di taglio in metri al minuto (m/min);
 D = diametro della fresa in metri;
 n = numero dei giri compiuti dalla fresa per ogni minuto.

Per introdurre il valore del diametro della fresa espresso in millimetri, come è di regola in officina, la formula precedente viene trasformata nella seguente:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/min).}$$

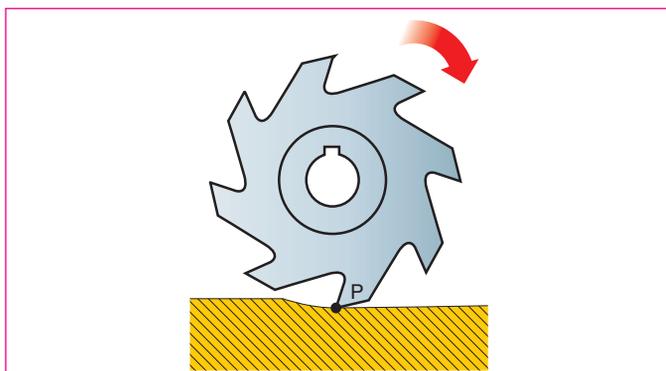


Figura 3.130 Velocità di taglio.

1.2 Avanzamento

La velocità di avanzamento V_f nella fresatura è la velocità con cui la tavola portapezzo, e quindi il pezzo stesso, si sposta nella sua corsa di lavoro nella direzione di avanzamento; si esprime per consuetudine in mm/min (figura 3.131).

Si intende per *avanzamento per giro* f_g lo spazio di avanzamento della tavola per ogni giro della fresa e si misura in mm/giro.

Si intende per *avanzamento per dente* f_z lo spazio di avanzamento della tavola mentre la fresa ruota di un angolo corrispondente a un solo dente; si misura in mm.

Ne derivano le relazioni:

$$f_g = \frac{V_f}{n} \quad f_z = \frac{V_f}{n \cdot Z} \quad V_f = f_z \cdot n \cdot Z$$

Di solito le tabelle forniscono i valori consigliati di f_z ; in questa trattazione il simbolo f sta per f_z .

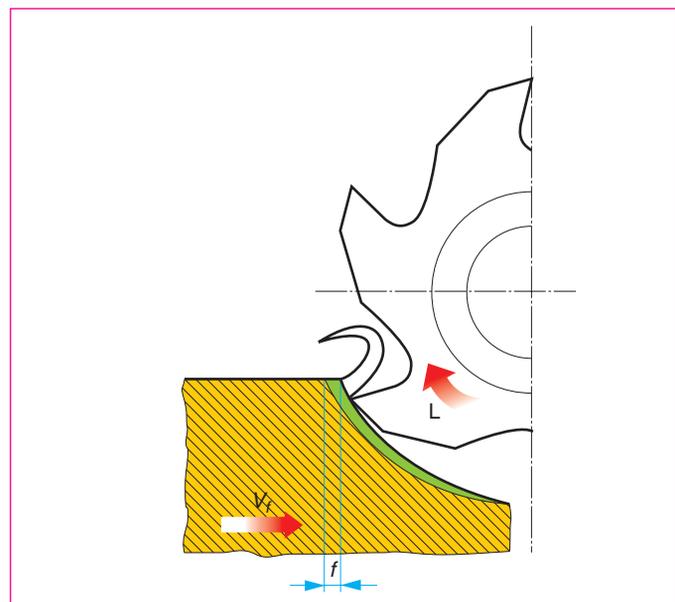


Figura 3.131 Avanzamento e velocità di avanzamento.

Nella tabella 3.34, a pagina seguente sono riportati alcuni valori degli avanzamenti per dente a seconda della fresa adoperata e del materiale in lavorazione per una profondità di passata media di 3 mm (per la sgrossatura) e di 0,5 mm (per la finitura).

Si può notare dalla tabella 3.34 che gli avanzamenti per dente per i lavori di finitura, eseguiti con frese cilindrico-frontali a disco e a profilo costante vengono ridotti dalla metà a un terzo rispetto a quelli per lavori di sgrossatura.

Gli avanzamenti per dente per le frese a codolo possono essere più elevati o addirittura raddoppiati.

Quando si vuole ricavare il valore dell'avanzamento per

Lavorazioni meccaniche

profondità di passata maggiore o minore di quello medio di 3 mm, assunto per la sgrossatura nella tabella, occorre rispettivamente diminuire o aumentare in modo proporzionale il valore dell'avanzamento letto nelle tabelle stesse.

Se per esempio si usa una profondità di passata doppia (6 mm), si manterrà un avanzamento dimezzato.



ESEMPIO

Con una fresa cilindrica frontale di acciaio rapido si deve spianare per sgrossatura un pezzo di ghisa dura asportando un soprametallo di 6 mm.

La fresa ha il diametro di 120 mm e 22 denti.

Dalla tabella delle velocità di taglio si ha $V = 12-18$ m/min, per profondità di passata di 5 mm.

Per 6 mm di profondità si terrà la velocità più bassa di 12 m/min.

Il numero di giri è:

$$n = \frac{1000 \times 12}{3,14 \times 120} = 32 \text{ giri/min.}$$

Per calcolare l'avanzamento si legge il valore di f_z nella tabella 3.31 degli avanzamenti per dente: 0,1 mm per la profondità di passata di 3 mm.

Nel nostro caso la profondità di passata è doppia e perciò possiamo dimezzare il valore letto e assumere $f_z = 0,05$ mm. Quindi:

$$V_f = f_z \cdot Z \cdot n = 0,05 \times 22 \times 32 = 35 \text{ mm/min.}$$

Tabella 3.34 Valori degli avanzamenti per dente

Materiale	Frese cilindriche a spianare e cilindrico-frontali		Frese a lame riportate		Frese a disco in acciaio rapido		Frese di forma in acciaio rapido		Frese a codolo in acciaio rapido	
	Sgrossatura	Finitura	Sgrossatura	Finitura	Sgrossatura	Finitura	Sgrossatura	Finitura	Sgrossatura	Finitura
Acciaio legato extraduro	0,1	0,04	0,1	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Acciaio duro	0,15	0,05	0,2	0,1	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
Acciaio dolce	0,2	0,08	0,25	0,1	0,07	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Ghisa normale	0,2	0,08	0,3	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,03	0,06
Ghisa dura	0,1	0,04	0,2	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,03	0,05
Bronzo	0,15	0,06	0,5	0,15	0,06	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Ottone	0,2	0,1	0,5	0,15	0,06	0,03	0,04	0,02	0,04	0,08
Leghe di alluminio	0,1	0,05	0,5	0,15	0,07	0,03	0,03	0,01	0,04	0,08

1.3 Velocità medie di taglio

Nella tabella 3.35 sono riportate le velocità medie di taglio, a seconda del materiale in lavorazione, del tipo di fresa impiegata e a seconda che si tratti di un'operazione di sgrossatura o di finitura.

Per le operazioni di sgrossatura e di finitura è dato il valore medio delle profondità di passata.

Poiché la velocità di taglio potrà essere tanto più elevata quanto minore è la profondità di passata con cui si compie la lavorazione, sono indicati nelle tabelle 3.35 e 3.36 due valori limite per le velocità, intendendo che si dovrà usare, a parità delle altre condizioni, la velocità minima con la profondità di passata massima e viceversa.

I valori delle velocità assunti di volta in volta a seconda delle necessità di lavorazione, vanno sostituiti nella formula:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

che dà il numero di giri che la fresa deve compiere perché il lavoro venga eseguito a quella velocità.

Nel caso che per la fresatrice a disposizione non sia previsto l'esatto numero di giri richiesto dall'operazione, si sceglierà tra i numeri di giri a disposizione quello immediatamente inferiore a quello calcolato.

1 Parametri di taglio nella fresatura

Tabella 3.35 Valori delle velocità medie di taglio

Materiale da lavorare	Frese cilindriche a spianare in acciaio rapido		Frese cilindriche frontali in acciaio rapido		Frese a T in acciaio rapido
	Sgrossatura passata 5 mm	Finitura passata 0,5 mm	Sgrossatura passata 5 mm	Finitura passata 0,5 mm	
Acciaio legato extraduro	8-12	13-18	8-12	13-18	8-10
Acciaio duro	10-16	16-18	12-16	16-25	10-12
Acciaio dolce	15-20	20-35	16-22	25-35	12-18
Ghisa dura e ghisa malleabile	12-18	18-25	12-16	18-25	8-10
Ghisa semidura	20-25	25-30	16-22	25-30	18-22
Bronzo	30-40	40-50	30-40	40-50	25-30
Ottone	35-50	50-70	35-50	50-70	40-45
Rame	30-50	45-80	30-50	45-80	22-25
Alluminio e sue leghe	150-200	250-300	200-250	300-350	150-200

Tabella 3.36 Valori delle velocità medie di taglio

Materiale da lavorare	Frese a disco in acciaio rapido		Frese frontali a lame riportate in lega dura		Frese a profilo costante in acciaio rapido		Frese a codolo inferiore a 10 mm in acciaio rapido	Frese a codolo con diametro superiore a 10 mm in acciaio rapido	
	Sgrossatura passata 5 mm	Finitura passata 0,5 mm	Sgrossatura passata 5 mm	Finitura passata 0,5 mm	Sgrossatura	Finitura	Sgrossatura e finitura passata pari \varnothing fresa	Sgrossatura passata metà \varnothing fresa	Finitura
Acciaio legato extraduro	9-12	13-16	45-60	55-65	6-10	8-12	8-10	10-14	14-16
Acciaio duro	12-18	16-25	62-80	80-90	8-12	14-16	10-12	14-20	20-26
Acciaio dolce	18-25	20-30	100-125	125-140	15-18	18-22	12-18	18-24	20-28
Ghisa dura e ghisa malleabile	12-18	18-25	45-55	50-90	10-15	14-18	8-10	12-14	18-25
Ghisa semidura	20-25	25-30	55-65	60-100	16-20	18-22	15-20	22-25	25-28
Bronzo	30-40	40-50	70-120	80-200	20-30	30-40	20-24	35-45	40-50
Ottone	35-50	50-70	80-120	80-200	40-50	50-60	22-28	36-60	60-70
Rame	30-50	45-80	100-180	180-300	30-40	35-45	20-24	30-50	50-80
Alluminio e sue leghe	150-220	300-350	500-600	800-1000	120-150	150-200	120-160	120-150	150-200

Le tabelle che seguono sono tratte da un catalogo di un noto fabbricante di utensili (*Fonte: Sandvik Coromant*).

Le tabelle 3.37 e 3.38, a pagina seguente descrivono i materiali di cui sono costituiti gli utensili, unitamente ai consigli per il loro impiego.

Lavorazioni meccaniche

Tabella 3.37 Materiali dei quali sono costituiti gli utensili per frese. Qualità base Coromant per fresatura (Fonte: Sandvik Coromant)

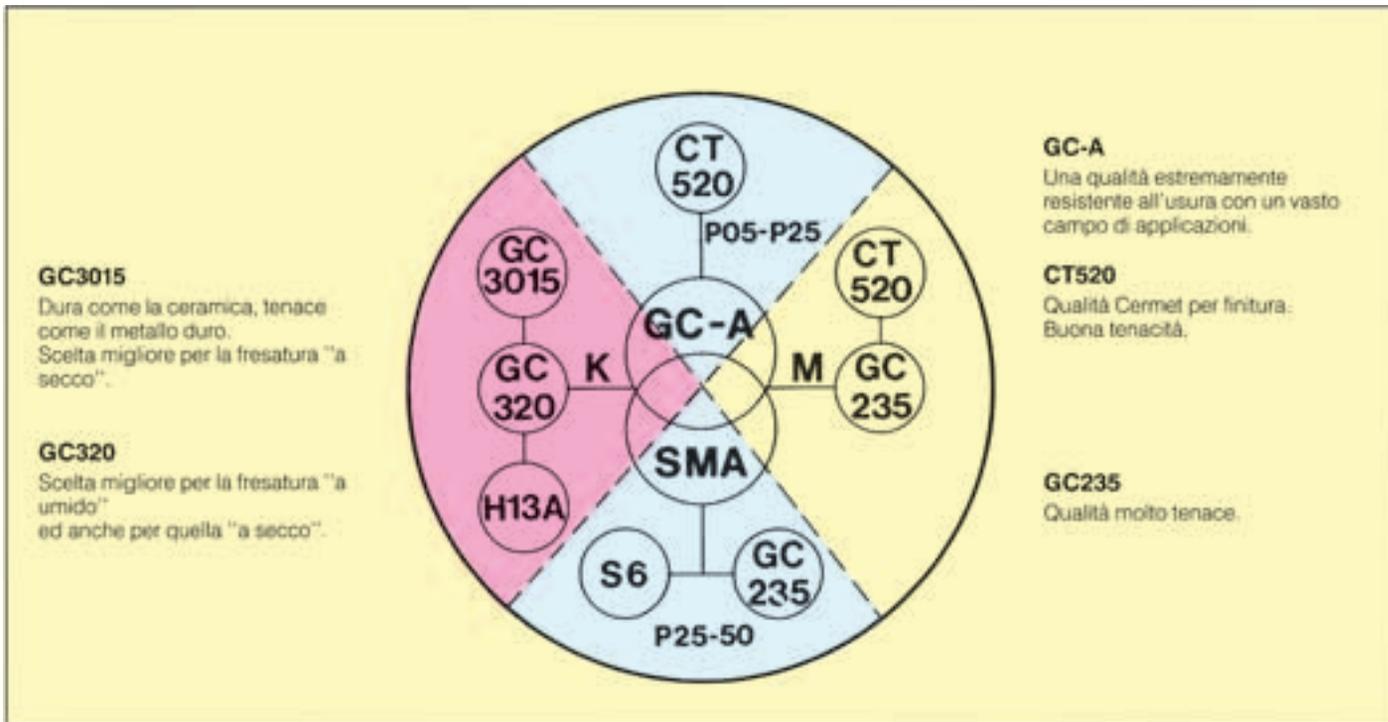


Tabella 3.38 Impieghi consigliati per i vari materiali (Fonte: Sandvik Coromant)

ISO	Materiale	HB	Qualità prioritarie Condizione		
			Esigenze di tenacità	Normale	Finitura
P	Acciaio non legato	90-300	GC235	GC-A	CT520
	Acciaio basso legato	125-300	GC235	GC-A	CT520
	Acciaio basso legato	> 300	S6	GC-A/SMA	CT520/SMA
	Acciaio alto legato	150-250	S6	GC-A	SMA
	Acciaio inossidabile Ferritico, martensitico	150-270	GC235	GC-A	CT520
	Acciaio fuso	150-250	GC235	GC-A	CT520
M	Acciaio inossidabile Austenitico	150-275	R4/GC235	GC235	CT520
	Leghe resistenti al calore	130-300	R4	H13A	H13A
	Leghe a base di titanio	300-400	H10F	H10F	H10F
K	Ghisa malleabile e ghisa grigia	"a secco" 110-330	H13A/GC320	GC3015	HM/H1P
		"a umido" 110-330	H13A	GC320	GC320/H13A
	Ghisa nodulare	160-250	H13A	GC320	HM
	Leghe di alluminio	30-185	H13A	H10	H10

1 Parametri di taglio nella fresatura



Figura 3.132 Frese per spianatura.



Figura 3.133 Frese a candela integrali di metallo duro.

Tabella 3.39 Dati di taglio per frese a candela integrali di metallo duro (Fonte: Sandvik Coromant)

Applicazione	Velocità di taglio, $v_c = \text{m/min}$							Avanzamento tavola, $v_f = \text{mm/min}$											
	No. CMC		HB Max	10	30	50	70	90	110	130	Fresatura laterale $a_e < 0,5D$		Esecuzione di cave $a_p = a_o = D$ $a_p = a_o = D/2$		Spianatura		Foratura		
	Materiale	No. CMC	HB Max																
Acciaio non legato	01.1	150								400	300	900	450	370	300	750	600	125	160
Acciaio non legato Acciaio basso legato	01.2 02.1	225 250								320	240	650	360	300	240	560	450	100	130
Acciaio basso legato Ghisa grigia	02.2 08	350 250								230	170	460	250	210	170	400	320	70	90
Acciaio alto legato Leghe a base di titanio Acciaio inossidabile	03.11 23.4 05.2	450 350 250								130 130 130	100 100 100	260 260 260	150 150 150	120 120 -	100 100 100	250 250 250	200 200 200	25 25 25	35 35 35
Leghe a base di Ni	20.2	300								30	20	60	30	25	20	50	40	10	15
Alluminio	30	150	$v_c \geq 90 \text{ m/min}$							>900	>450	>1100	>550	-	>450	>900	>700	>150	>200

Lavorazioni meccaniche

Tabella 3.40 Dati di taglio per frese per spianatura (Fonte: Sandvik Coromant)

ISO	Materiale				GC-A	GC235	CT520	SMA
	Descrizione	No. CMC	Condizione	HB	Avanzamento mm/dente			
					0,3-0,2-0,1	0,3-0,2-0,1	0,2-0,1-0,05	0,4-0,2-0,1
					Velocità di taglio m/min			
P	Acciaio non legato	01.1 01.3 01.5	C < 0,25% C < 0,8% C < 1,4%	110 150 310	250-300-390 155-180-255 135-165-210	150-200-250 100-120-165 75-110-135	250-350-450 250-350-450 -	180-250-310 120-145-205 95-130-170
	Acciaio basso legato	02.1 02.2	Ricotto Bonificato	125-225 220-450	170-200-250 110-130-150	100-120-165 55- 75- 95	200-300-400 150 ¹⁾ -200 ¹⁾ -250 ¹⁾	120-160-200 70-100-125
	Acciaio alto legato	03.11 03.22	Ricotto Bonificato	150-250 250-300	140-170-225 90-110-150	90-115-150 60- 75- 90	150-200-250 -	110-140-180 65- 90-120
	Acciaio alto legato	03.13 03.21	HSS, ricotto Acciaio per utensili bonificato	150-250 250-350	130-160-195 -	75-105-130 -	- -	90-125-155 70- 95-120
	Acciaio inossidabile	05.1	Ferritico, Martensitico	150-270	155-180-250	110-150-190	200-300-400	120-165-210
	Getti di acciaio	06.1 06.2 06.3	Non legato Basso legato Alto legato	150 150-250 160-200	140-180-225 125-150-190 90-110-130	80-120-150 70-100-120 55- 70- 80	- - -	100-145-180 90-120-150 65- 90-100
	Getti di acciaio	06.31	Inossidabile, ferritico, martensitico	150-250	-	50- 80	-	50- 70- 80
	M	Materiale				GC235	CT520	H13A
Descrizione		No. CMC	Condizione	HB	Avanzamento mm/dente			
					0,3-0,2-0,1	0,2-0,1-0,05	0,2-0,1	0,2-0,1
					Velocità di taglio m/min			
Acciaio inossidabile, ricotto		05.2	Austenitico	150-220	80-150-220	200-300-400	-	-
Getti di acciaio		06.32	Inossidabile austenitico	200	40- 70	-	-	-
Leghe a base di Fe		20.1		180-300	40-100	-	25- 50	20- 40
Leghe a base di Ni		20.2		220-300	-	-	20- 50	70- 40
Leghe a base di Co	20.3		220-300	-	-	10- 20	10- 20	
Leghe a base di Ti	23.4		300-400	-	-	20- 80	20- 80	
K	Materiale				GC3015	GC320	HM	H13A
	Descrizione	No. CMC	Condizione	HB	Avanzamento mm/dente			
					0,3-0,2	0,4-0,2	0,4-0,2-0,1	0,4-0,2-0,1
					Velocità di taglio m/min			
	Acciaio temprato ¹⁾	04.1		HRC 50-65	-	-	-	-
	Getti di acciaio inossidabile	06.33	Acciaio al manganese Mn 12-14%	250	-	-	15- 20- 30	12- 18- 20
	Ghisa malleabile	07.1 07.2	Truciolo corto Truciolo lungo	110-145 200-230	200-300 150-200	115-145 105-130	100-125-150 90-115-135	65- 80- 95 50- 65- 80
	Ghisa griglia	08.1 08.2	Bassa resistenza, Alta resistenza, legata	180 260	200-400 150-350	95-140 80-105	85-120-155 70- 90-115	70- 95-120 50- 70- 90
	Ghisa nodulare	09.1 09.2	Ferr. Perl.	160 250	100-250 100-180	80-105 75-100	70- 90-115 65- 85-100	50- 65- 80 45- 60- 70
	Ghisa fusa in conchiglia ²⁾	10.1		HRC 40-60	-	-	-	-
	Leghe di alluminio	30.1 30.2	Non fuse Fuse	60-100 75-110	- -	- -	- -	500-2100 400-2000
	Alluminio, ad alto tenore di Si	30.4	Si 10-14% Si 14-16% Si 16-18%		- - -	- - -	- - -	200-1000 110- 200 -

¹⁾ < 300 HB.

²⁾ In caso di tagliante di ripeto, aumentare la velocità di taglio fino a 180-200 m/min.

³⁾ $f_p = 0,4$ mm/dente, valido solo quando la qualità viene usata come inserto raschiante nelle operazioni di finitura.

⁴⁾ Usare spoglia superiore negativa.

1 Parametri di taglio nella fresatura

SM30	S6	S1P	R4		
0,4-0,2-0,1	0,4-0,2-0,1	0,4 ⁷ -0,2-0,1	0,4-0,2-0,1		
135-185-235 90-110-150 70-100-125	100-130-160 65- 85-100 50- 75- 85	170-235-300 105-150-200 90-125-165	- - -		
90-120-150 55- 75- 95	65- 85-105 40- 55- 65	115-155-190 95-120	- -		
80-105-135 50- 65- 90	60- 80- 90 40- 50- 60	135-160 90-110	- -		
70- 95-120 55- 75- 90	50- 60- 75 30- 40- 50	95-120 70- 90	30- 45- 60 -		
110-150-190	80-105-130 ⁷	190-245	-		
75-110-135 65- 90-110 50- 65- 75	60- 75- 95 50- 65- 80 35- 45- 55	140-175 115-145 80-100	- - 25- 35- 40		
45- 60- 70	30- 40- 50	70- 95	20- 30- 35		
R4	GC-A	SMA	S6		
0,4-0,2-0,1	0,3-0,2-0,1	0,4-0,2-0,1	0,4-0,2-0,1		
-	180-220-280	150-240-300	65- 95-100 ⁷		
15- 18- 25	-	50- 60	18- 25- 35		
-	-	-	-		
-	-	-	-		
-	-	-	-		
H1P	H10	GC-A	SMA	CC690	CD10
0,4 ⁷ -0,2-0,1	0,2-0,1	0,2-0,1	0,4-0,2-0,1	0,25-0,1	0,2-0,05
10- 15	-	-	-	-	-
20- 30- 40	-	-	15- 20- 30	-	-
125-150-175 100-125-150	- -	- -	100-125-150 90-115-135	400-700 300-600	- -
90-130-170 75-100-125	- -	- -	85-120-155 70- 90-115	600-800 450-600	- -
90-110-125 80-100-115	- -	100-130 90-110	70- 90-115 65- 85-100	350-500 200-400	- -
10- 25	-	-	-	-	-
-	600-3000 500-2800	-	-	-	800-4000 600-3600
-	300-1300 150- 300	-	-	-	500-2000 200- 800 100- 500

 = Qualità base
 = Qualità complementari

Consigli

Nella tabella, i valori di avanzamento forniti si riferiscono agli angoli di registrazione di 90° e 75°. Con angoli più bassi, l'avanzamento per dente deve essere aumentato come segue:
 Angolo di registrazione 60°:
 Moltiplicare il valore dell'avanzamento indicato per il fattore 1,1.
 Angolo di registrazione 45°:
 Moltiplicare il valore dell'avanzamento indicato per il fattore 1,4.

L'avanzamento deve essere scelto in modo che lo spessore medio del truciolo sia uguale o superiore a 0,1 mm per dente.

Come regola generale, adottare la fresatura concorde con i trucioli il più sottile possibile sul lato di uscita. Questa regola è molto importante nella lavorazione di acciaio inossidabile austenitico, leghe a base di titanio e leghe resistenti al calore.

La maggior parte delle operazioni si eseguono meglio senza refrigerante. Fanno eccezione le operazioni relative alle leghe a base di titanio ed alle leghe resistenti al calore, nonché quelle relative alla finitura di acciaio inossidabile per evitare la formazione di tagliente di riporto.

Lavorazioni meccaniche

1.4 Diagramma polare

La relazione $n = 1000 V_c / \pi \cdot D$ può essere rappresentata graficamente con una retta su un piano cartesiano, che ha per ascissa il diametro D e per ordinata la velocità di taglio V_c .
 Come abbiamo già visto, un diagramma di questo genere è detto *diagramma polare* (figura 3.134).

Questo diagramma permette di leggere immediatamente la soluzione della relazione suddetta.

Il diagramma deve essere costruito per ogni singola fresatrice perché è tracciato secondo la gamma dei suoi numeri di giri e secondo il massimo diametro della fresa che si può montare.

Il diagramma polare è quello di una fresatrice che ha i numeri di giri:

16 - 22,4 - 31,5 - 45 - 63 - 90 - 125 - 180 - 250 - 355 - 500 - 710

e può ricevere una fresa del diametro massimo di 400 mm.

Si segnano in una scala qualunque su un asse orizzontale i diametri della fresa e su un asse verticale le velocità di taglio. Per tracciare la retta del numero di giri $n = 16$, si sceglie qualsiasi diametro, per esempio $D = 200$, e si determina il valore corrispondente di V :

$$V_c = \frac{3,14 \times 200 \times 16}{1000} \text{ m/min.}$$

Si segna il punto di ascissa 200 e di ordinata 10. La linea che congiunge tale punto con l'origine degli assi è la linea dei 16 giri.

Allo stesso modo si tracciano tutte le altre semirette dei numeri di giri.

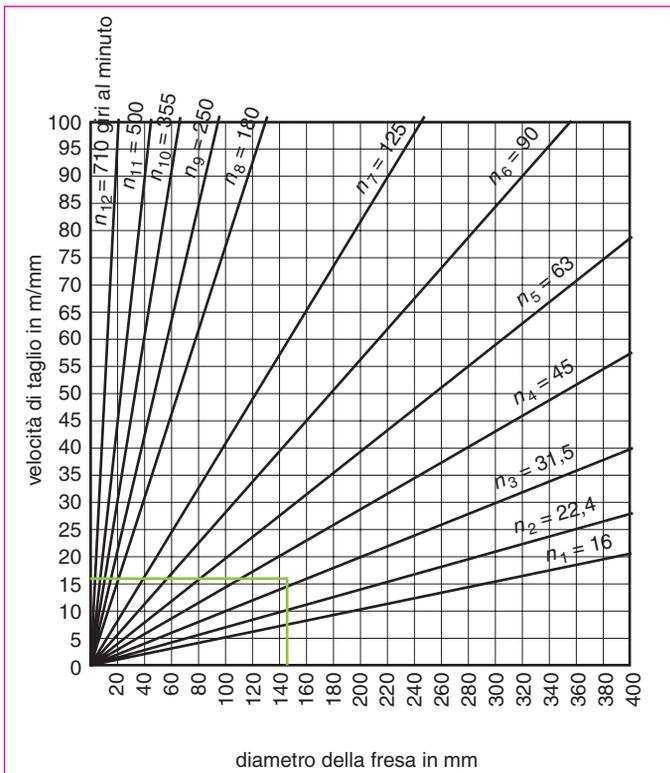


Figura 3.134 Diagramma polare.

ESEMPIO

Si deve sgrossare con una fresa a disco in acciaio rapido e di diametro 150 mm un pezzo di acciaio duro (esempio C40).
 Quale è il numero di giri della fresa?
 Dalla tabella delle velocità di taglio si ha $V = 15$ (assumiamo il valore medio tra 12 e 18 m/min).
 Il punto d'incontro della ascissa 150 con la ordinata 15 cade molto vicino alla retta $n_2 = 31,5$ giri/min.
 Si sceglie perciò questo numero di giri.

1.5 Diagramma logaritmico

I *diagrammi logaritmici* sono diagrammi sugli assi dei quali le grandezze che interessano (nel nostro caso sono la velocità di taglio sulle ascisse e il diametro della fresa sulle ordinate) sono riportate secondo una scala logaritmica. In questi diagrammi le rette rappresentanti i numeri dei giri sono tra loro parallele.

Si procede alla lettura della grandezza cercata come nel diagramma polare.

In figura 3.135 è rappresentato il diagramma logaritmico della stessa fresatrice per la quale è stato tracciato il diagramma polare precedentemente descritto.

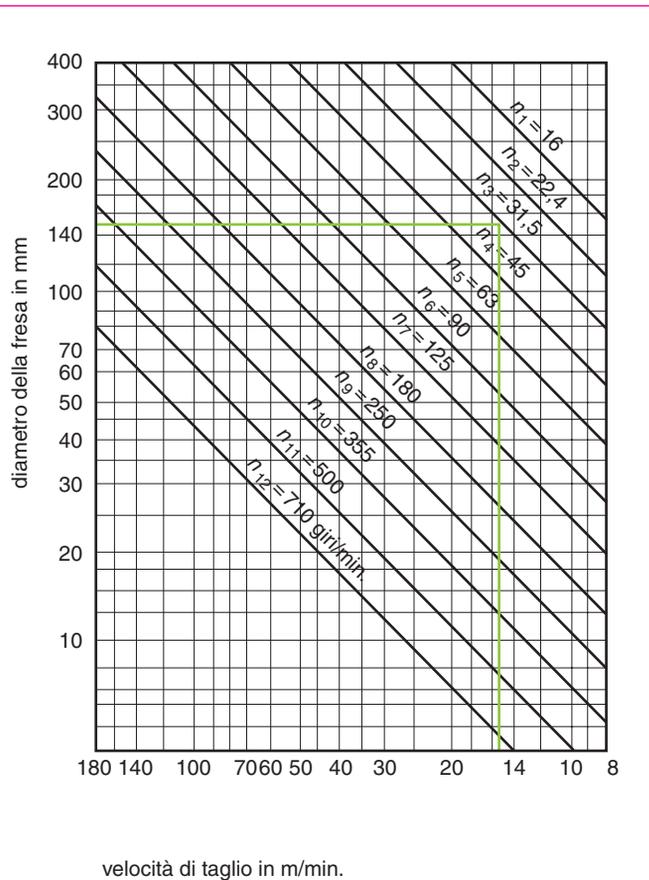


Figura 3.135 Diagramma logaritmico.

1 Parametri di taglio nella fresatura

1.6 Forza di taglio

Ciascun dente dell'utensile agisce sul pezzo con una *forza* che dipende dalle sue caratteristiche e dalle modalità esecutive. Fissata quindi la profondità di passata e l'avanzamento corrispondente allo spostamento assiale per ogni dente al giro, si calcola la sezione media del truciolo e si deduce la forza di taglio. Dalla figura 3.136 si può vedere che il truciolo non presenta sezione costante, ma ha spessore massimo in GA; si tratta di una fresa periferica.

Ricorrendo alla trigonometria, nel caso del triangolo FGA si ha:

$$GA = FA \cdot \sin \alpha.$$

Per risoluzione del triangolo rettangolo AOB si ha anche, essendo gli angoli GFA e AOB uguali per costruzione:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= OB/OA; \\ \sin \alpha &= \sqrt{1 - \left(\frac{OB}{OA}\right)^2}. \end{aligned} \quad (a)$$

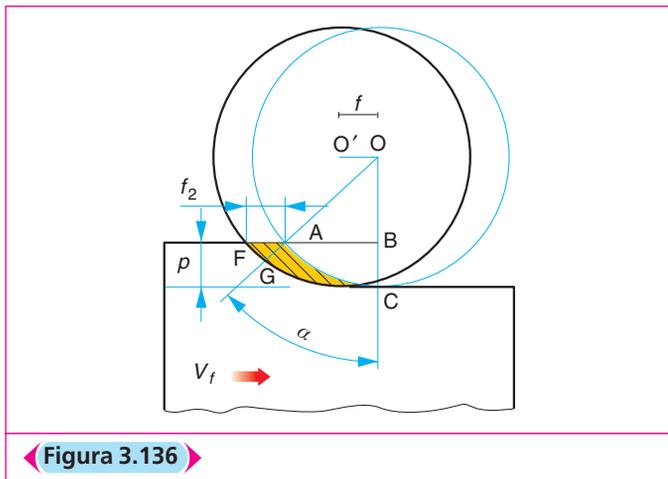
Con le indicazioni del disegno si ha:

FA = f = avanzamento per dente;

AO = D/2 raggio fresa (diametro D);

$$OB = OC - BC = \frac{D}{2} - p$$

in cui OC è il raggio della fresa e BC la profondità di passata.



◀ Figura 3.136 ▶

Sostituendo in (a) gli elementi noti si trova lo spessore massimo S_{max} :

$$S_{max} = f \cdot \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{D}{2} - p\right)^2}{\frac{D^2}{4}}} =$$

$$\begin{aligned} &= f \cdot \frac{\frac{D^2}{4} - \frac{D^2}{4} + p \cdot D - p^2}{\frac{D^2}{4}} = \\ &= 2f \cdot \sqrt{\frac{p \cdot D - p^2}{D^2}}. \end{aligned}$$

Essendo trascurabile il secondo termine della radice, si considera:

$$S_{max} = 2 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p}{D}}.$$

Se b è la larghezza di fresatura, la sezione massima q_{max} del truciolo è:

$$q_{max} = 2 \cdot b \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p}{D}}.$$

La forza di taglio relativa a un dente in presa assume valori variabili nell'arco di contatto.

Il valore massimo che si ottiene in corrispondenza dell'angolo alpha è:

$$F_{max} = K_s \cdot q_{max} = 2 \cdot K_s \cdot b \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p}{D}}.$$

Qualora la fresa abbia più denti in presa contemporaneamente, dovremmo calcolare il contributo dato alla forza di taglio da tutti i singoli denti; di solito questo nella fresatura periferica non è necessario, in quanto l'errore che si commette è piccolo se consideriamo l'apporto di un singolo dente nella posizione di massimo spessore del truciolo.

1.7 Potenza utile

In conseguenza di quanto detto, le *potenze utili* corrispondenti nella fresatura periferica possono essere valutate con la formula seguente:

$$P_{U \max} = F_{max} \cdot V_T = \frac{2 \cdot K_s \cdot b \cdot f \cdot \sqrt{\frac{p}{D}} \cdot V_c}{60} \quad [W]$$

dove:

- K_s è la pressione di taglio specifica [N/mm²];
- b è la larghezza di fresatura [mm];
- f è l'avanzamento [mm/giro];
- p è la passata [mm];
- D è il diametro fresa [mm];
- V_c è la velocità di taglio [m/min].

Lavorazioni meccaniche



ESEMPIO

Calcolare la potenza utile necessaria in watt in una fresatura periferica con i seguenti dati: diametro fresa 50 mm, passata 4 mm, avanzamento per dente 0,2 mm, larghezza di fresatura 30 mm, $K_s = 3000 \text{ N/mm}^2$, velocità di taglio 80 m/min.

$$P_u = \frac{2 \cdot 3000 \cdot 30 \cdot 0,2 \sqrt{4/50 \cdot 80}}{60} = 13\,576 \text{ W.}$$

1.8 Potenza utile nella fresatura frontale

Nella fresatura frontale (figura 3.137) la sezione del truciolo q dipende anche dal numero di denti in presa Z_p , che si determina con la formula seguente:

$$Z_p = \frac{Z \cdot B}{2 \cdot D}$$

Essendo la sezione del truciolo staccato dal singolo dente $q = f \cdot p$, la sezione del truciolo totale sarà:

$$q_{\text{tot}} = Z_p \cdot f \cdot p$$

e la potenza utile necessaria:

$$P_u = \frac{K_s \cdot Q_{\text{tot}} \cdot V_c}{60} = \frac{K_s \cdot Z_p \cdot f \cdot p \cdot V_c}{60} \quad [\text{W}]$$

e anche

$$P_u = \frac{K_s \cdot Q_{\text{tot}} \cdot V_c}{60 \cdot 75} = \frac{K_s \cdot Z_p \cdot f \cdot p \cdot V_c}{4500} \quad [\text{CV}]$$



ESEMPIO

Calcolare la potenza utile necessaria in watt in una fresatura frontale con i seguenti dati: diametro fresa 60 mm, passata 3 mm, avanzamento per dente 0,1 mm, larghezza di fresatura 30 mm, $K_s = 3000 \text{ N/mm}^2$, velocità di taglio 80 m/min, numero di denti 16; dove:

$$Z_p = \frac{16 \cdot 30}{2 \cdot 60} = 4,$$

$$Q_{\text{tot}} = 4 \cdot 0,1 \cdot 3 = 1,2 \text{ mm}^2,$$

$$P_u = \frac{3000 \cdot 1,2 \cdot 80}{60} = 4800 \text{ W.}$$

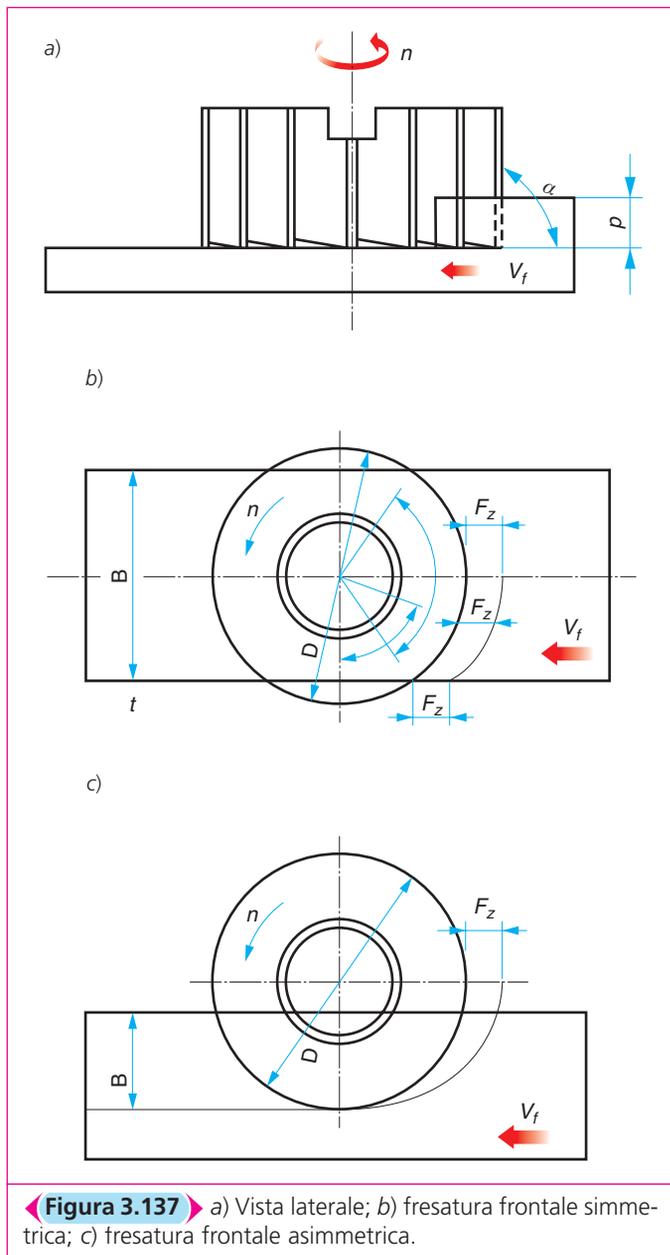


Figura 3.137 a) Vista laterale; b) fresatura frontale simmetrica; c) fresatura frontale asimmetrica.

1.9 Tempi di lavorazione nella fresatura

La relazione generale che permette di calcolare il tempo principale di lavorazione nella fresatura è la seguente:

$$T = \frac{l + \Delta + e}{V_f}$$

dove:

- l lunghezza di lavorazione;
- D accostamento;
- e extracorsa.

Il termine Δ è detto **accostamento della fresa** e rappresenta lo spazio che l'utensile deve percorrere oltre la lunghezza di lavorazione l per uscire completamente dal contatto con il pezzo.

Δ è diverso per la fresatura periferica e frontale.

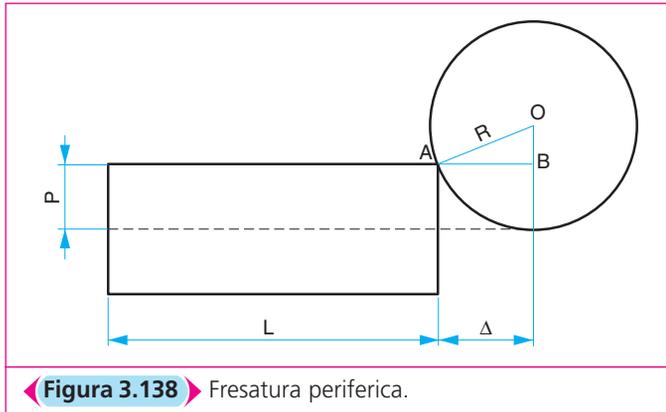
Fresatura periferica (figura 3.138)

$$AO = D/2$$

$$OB = D/2 - p$$

ne risulta:

$$\Delta = \sqrt{AO^2 - OB^2} = \sqrt{p(D - p)}$$



◀ **Figura 3.138** ▶ Fresatura periferica.

Fresatura frontale (figura 3.139)

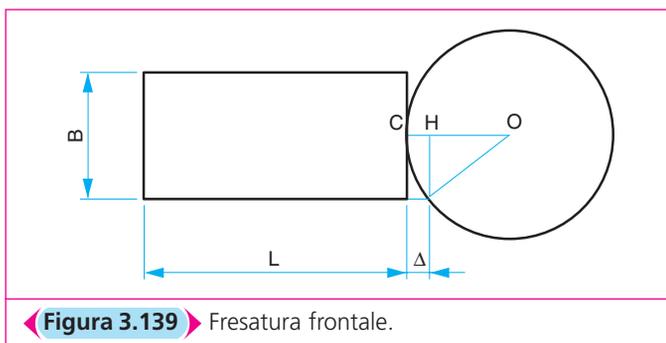
$$\Delta = CH = CO - HO$$

$$CO = D/2 - AH = B/2$$

$$HO = \sqrt{AO^2 - AH^2}$$

ne risulta:

$$\Delta = \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - B^2})$$



◀ **Figura 3.139** ▶ Fresatura frontale.

▶ 1.10 Forze agenti in una fresa a denti elicoidali

Le fresse a denti elicoidali si usano per rendere più regolare lo sforzo di taglio e ridurre le vibrazioni.

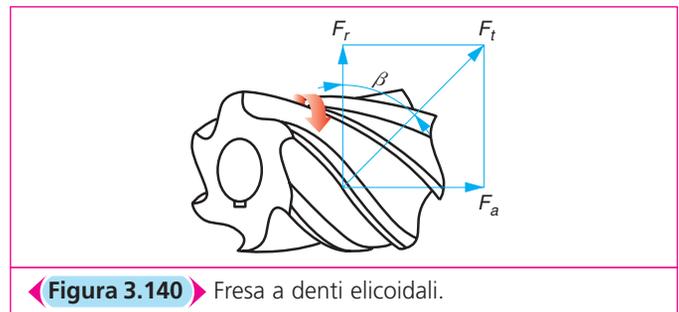
La componente assiale deve essere diretta in modo da forzare sempre l'albero della fresa contro il mandrino, evitando così che si abbiano spostamenti non desiderati.

Affinché la componente assiale eserciti un'azione di spinta verso il mandrino è necessario che la fresa sia a taglio destro con denti a elica sinistra, o, viceversa, a taglio sinistro con denti a elica destra.

Come si può vedere dalla figura 3.140, la forza di taglio F_t che la fresa esercita sul pezzo in questo caso è perpendicolare all'elica, le cui componenti nella direzione dell'asse e della velocità periferica sono, rispettivamente:

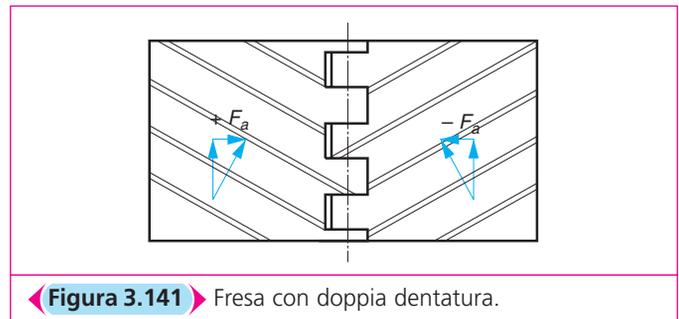
$$F_a = F_t \sin \beta \quad F_r = F_t \cos \beta$$

essendo α l'angolo di inclinazione dell'elica.



◀ **Figura 3.140** ▶ Fresa a denti elicoidali.

Vi è quindi una componente della forza di taglio F_a che spinge la fresa lungo il suo asse. Per eliminare questa componente le fresse cilindriche a denti elicoidali possono essere costituite da due metà con verso della dentatura opposta, in modo da annullare la spinta totale risultante (figura 3.141).



◀ **Figura 3.141** ▶ Fresa con doppia dentatura.