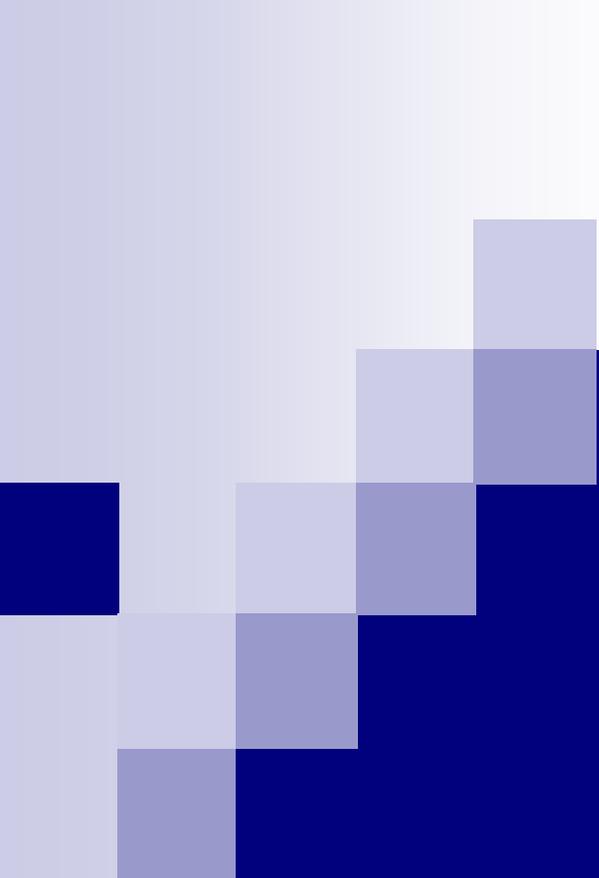


Corso di Tecnologia Meccanica

Modulo 4.3

Lavorazioni per asportazione di truciolo



Fresatura

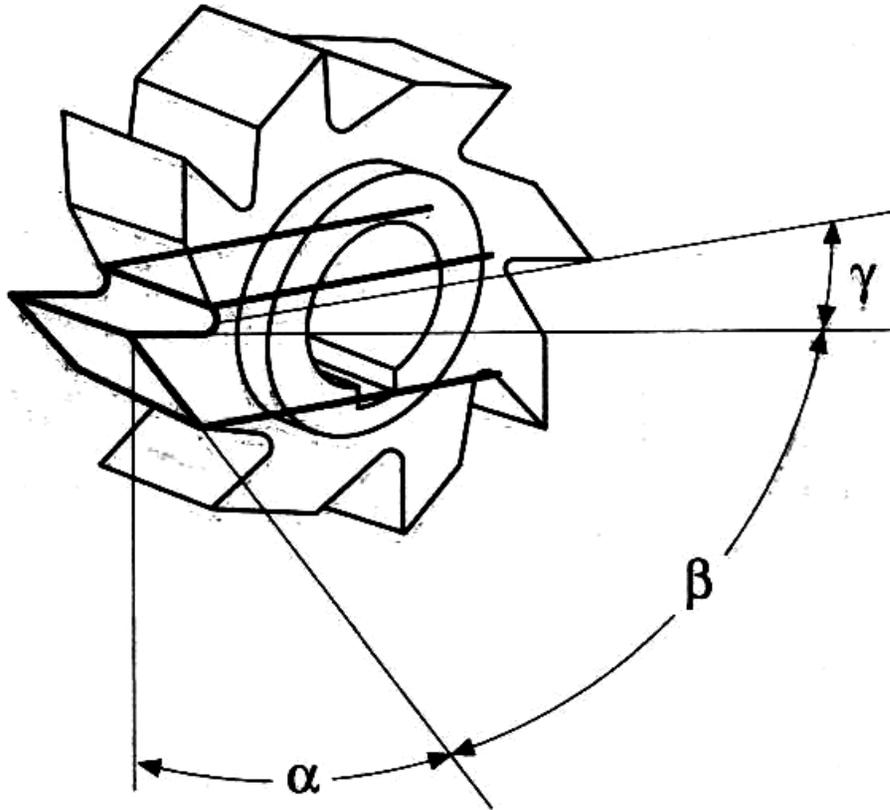
Operazioni di fresatura

- È un'operazione che consente di realizzare in generale delle superfici lavorate:
 - Superfici piane
 - Scanalature di forma semplice e complessa
 - Smussi e sedi di linguette e chiavette
 - Taglio di ruote dentate
- Utilizza utensili pluritaglienti detti “frese” con taglienti posti su diverse superfici (cilindriche, piane, coniche, ...) muniti di denti elicoidali di diverso tipo
- Materiali utilizzati.
 - Acciaio superrapido
 - Taglienti riportati in carburi sinterizzati

Modalità di fresatura

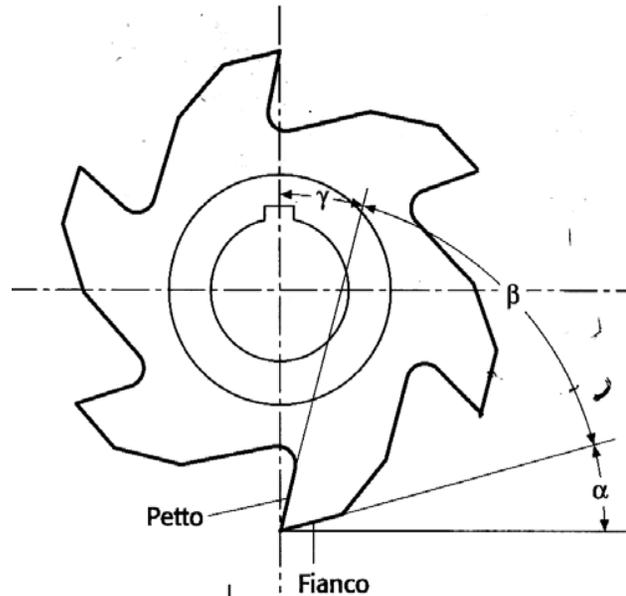
- Le modalità di taglio in fresatura sono più complesse rispetto a quelle di tornitura o foratura per la concomitanza di componenti diverse
- Tali componenti sono comunque riducibili a due fondamentali:
 - Taglio periferico
 - Taglio frontale

Dente di fresatura



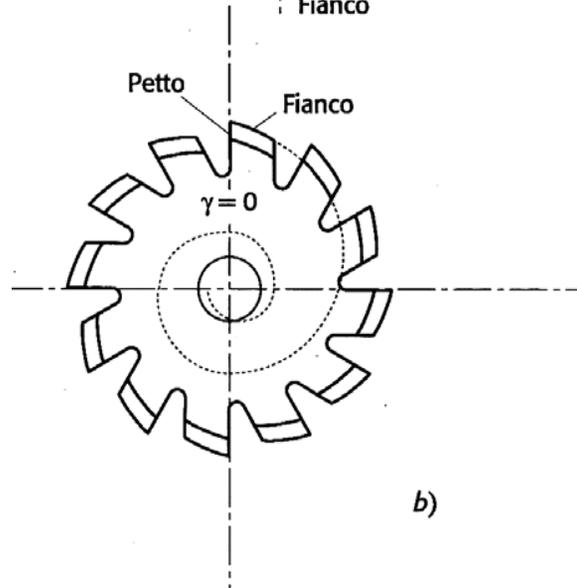
Ogni dente di una fresa può essere assimilato a un utensile monotagliante.

Geometria del dente di fresatura

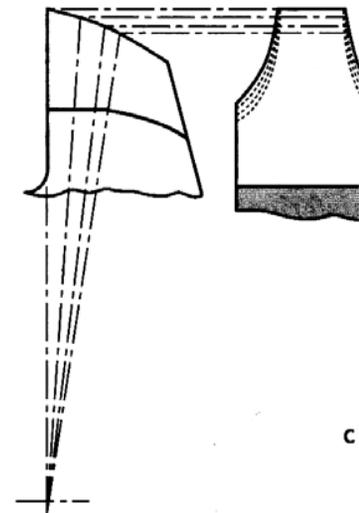


Geometria dei denti della fresa: a) a denti fresati; b) a denti spogliati; c) invariabilità del profilo del dente in successive affilature sul petto.

a)

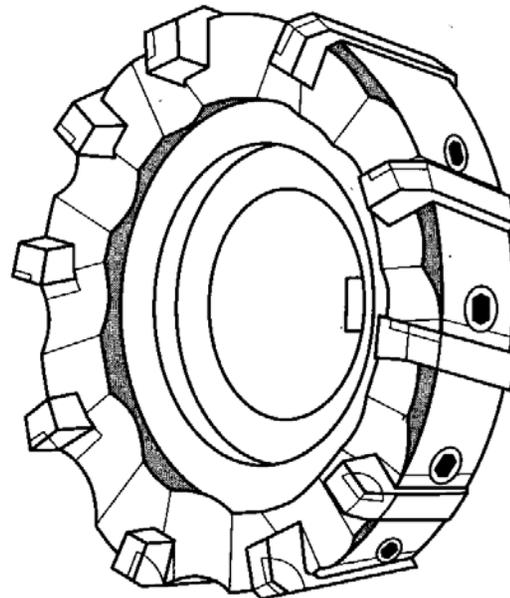
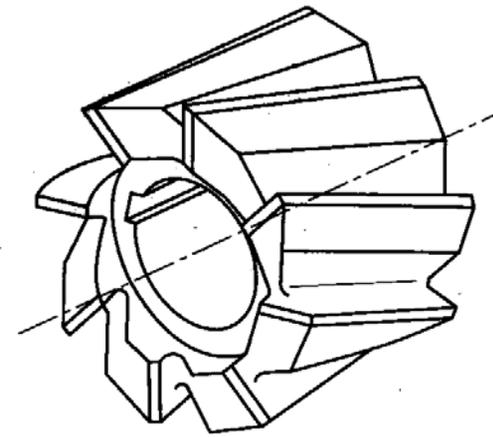
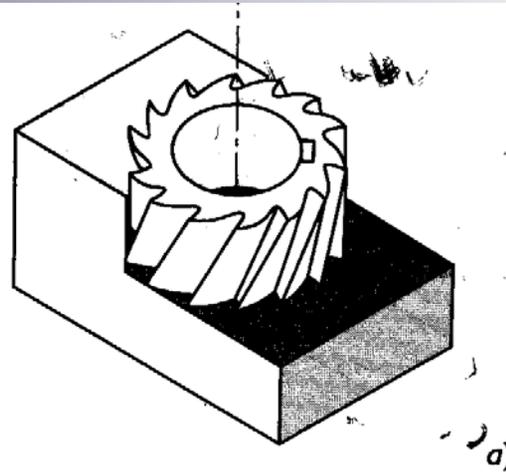


b)



c)

Tipi di frese



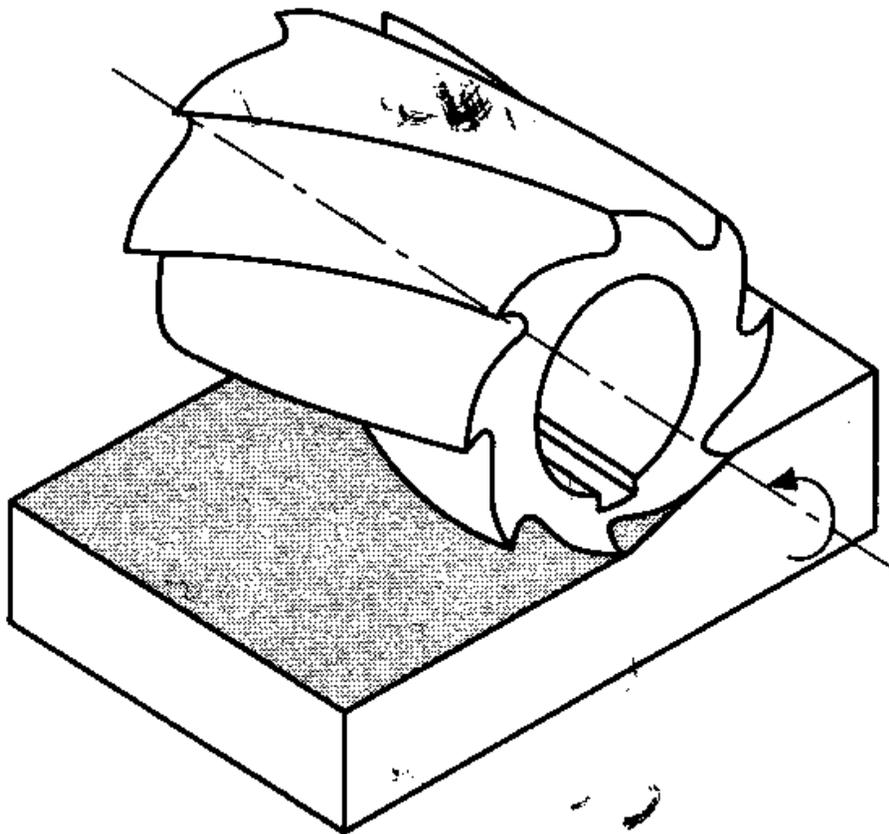
Vari tipi di frese cilindrico-frontali.
a) a manicotto; *b)* a denti riportati in carburo sinterizzato per spianatura;

b)

Frese cilindriche

- Sono utilizzate per lavorare delle superfici piane
- Presentano i taglienti su una superficie circolare
- Hanno l'asse di rotazione parallelo alla superficie da spianare
- Vengono fissate su un albero detto “porta frese”

Fresatura cilindrica o periferica



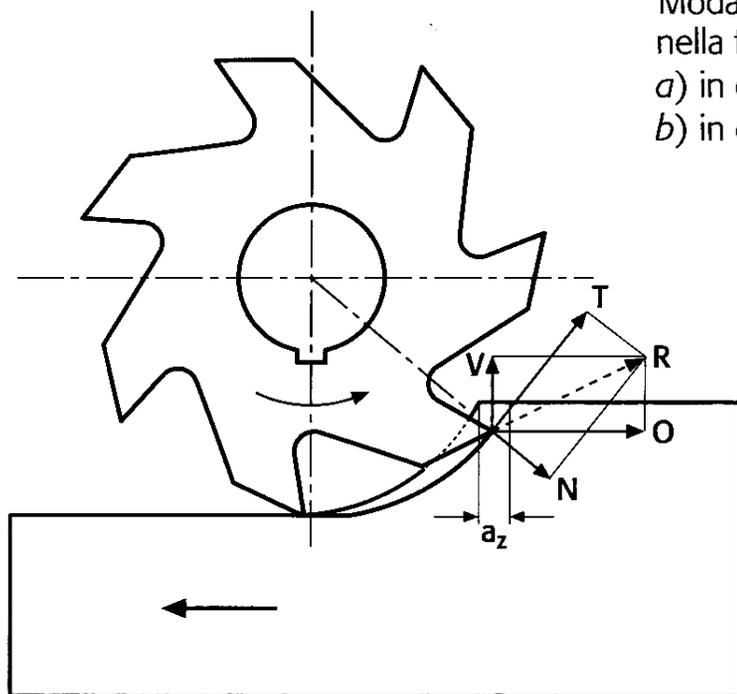
Fresa cilindrica a
denti elicoidali.

Movimenti di fresatura periferica

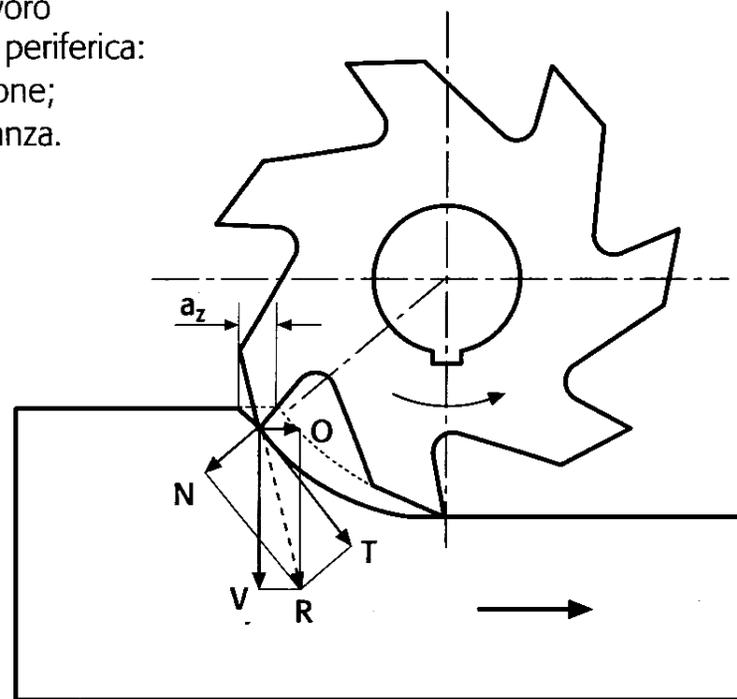
- Moto di taglio:
 - Rotatorio e continuo, posseduto dall'utensile
 - Misurato dalla velocità di taglio (v) in m/min
- Moto di alimentazione
 - Rettilineo/curvilineo continuo, posseduto dal pezzo o dall'utensile
 - Misurato dall'avanzamento (a) in mm/min o in mm/giro dente
- Moto di appostamento
 - Posseduto dal pezzo o dall'utensile è necessario per regolare la profondità del materiale da asportare misurata dalla profondità di passata (p) in mm
- Altri parametri di taglio fondamentali sono:
 - il diametro della fresa (D)
 - il numero di denti (z)

Fresatura periferica

Modalità di lavoro
nella fresatura periferica:
a) in opposizione;
b) in concordanza.



a)



b)

Parametri di taglio derivati

- Numero di giri da applicare alla fresa per ottenere la velocità di taglio desiderata

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad \text{giri/min}$$

- Velocità di avanzamento dell'utensile

$$v_a = a \cdot n = a_z \cdot z \cdot n \quad \text{mm/min}$$

Parametri di taglio derivati

- Spessore del truciolo

$$h = AC \sin \varphi = a_z \sin \varphi \quad \text{mm}^2$$

- Avanzamento al giro

$$a = a_z \cdot z \quad \text{mm/giro}$$

- Sezione di truciolo

$$s = h \cdot B \quad \text{mm}^2$$

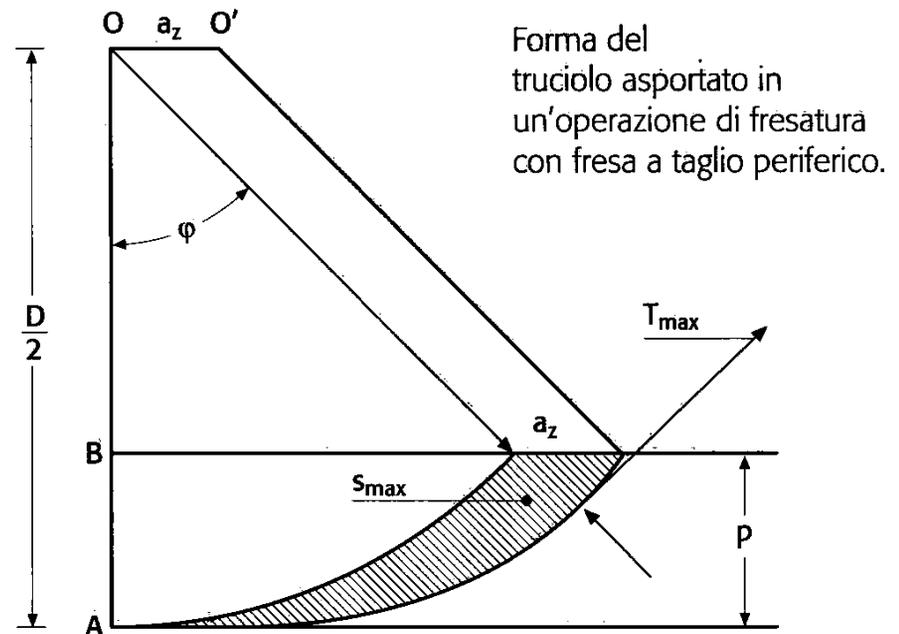
Denti di fresatura

- Denti fresati o “denti di sega”
 - In numero ed angolo di affilatura variabili in funzione dell'esecuzione
 - Esecuzione N:
 - Materiali di durezza normale
 - Molti denti
 - Angoli $\alpha = 4-5^\circ$ e $\gamma = 5-10^\circ$
 - Esecuzione D:
 - Materiali molto duri
 - Pochi denti robusti
 - Angoli $\alpha = 3-4^\circ$ e $\gamma = 3-8^\circ$
 - Esecuzione N:
 - Materiali teneri
 - Pochissimi denti
 - Angoli $\alpha = 6-8^\circ$ e $\gamma = 15-25^\circ$
- Denti spogliati o “a profilo costante”
 - Nelle frese utilizzate per creare scanalature a profilo variabile e generatrice complessa.
 - L'usura del dente non muta la funzionalità della fresa

Fresatura periferica

■ Caratteristiche:

- L'asse di rotazione è parallelo alla superficie da lavorare
- Il moto di alimentazione può essere concorde o discorde con il senso di rotazione della fresa
 - Fresatura in opposizione
 - Fresatura in concordanza



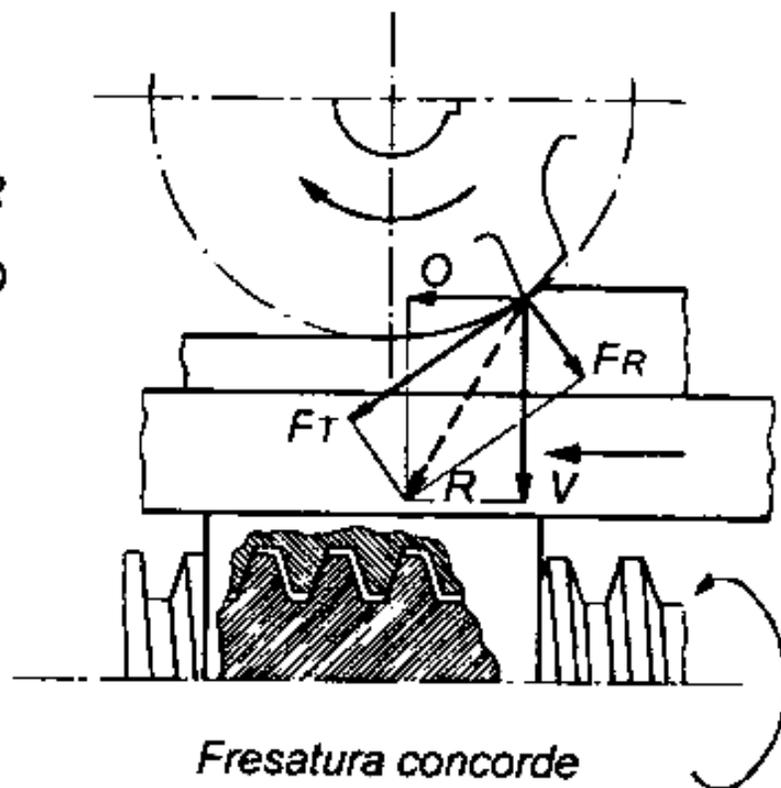
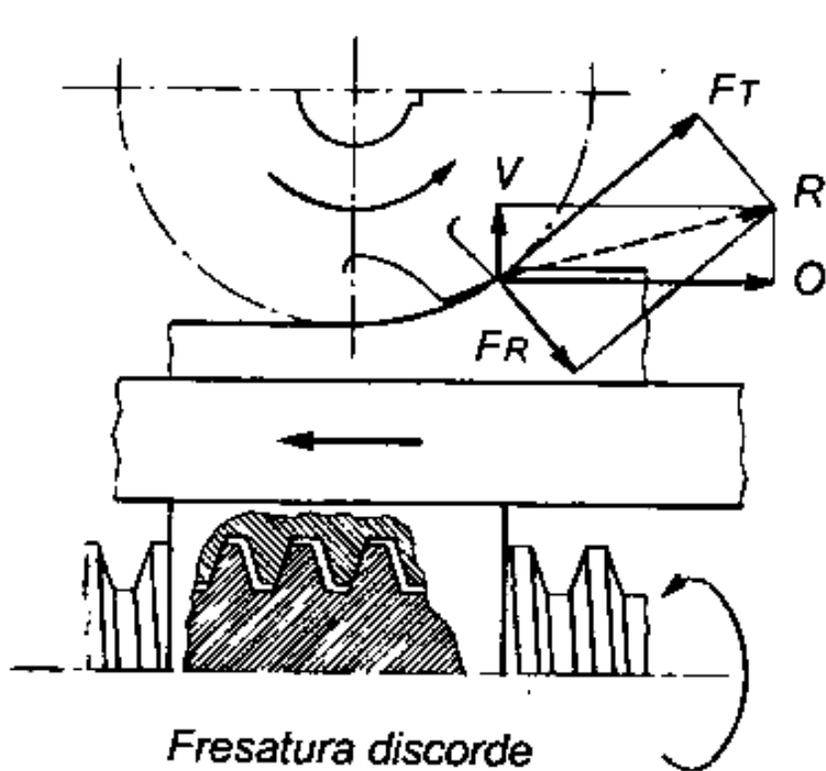


Fig. 7.4 - *Fresatura periferica: componenti della forza di taglio agenti sul pezzo. Si noti il sistema vite-madrevite per conferire alla tavola il moto di avanzamento: la vite, posta in rotazione, obbliga la madrevite (e la tavola ad essa solidale) a traslare.*

Fresatura discorde

- Il truciolo è una virgola con sezione variabile da zero in corrispondenza della circonferenza di contatto fino alla dimensione dell'avanzamento della fresa
- Vi è un fenomeno di incrudimento con lo strisciamento della “virgola” all’inizio del contatto
- La forza di taglio è scomponibile in due componenti:
 - Orizzontale che tende ad opporsi al moto di avanzamento
 - Verticale che tende a staccare la fresa dal piano di lavoro

Fresatura concorde

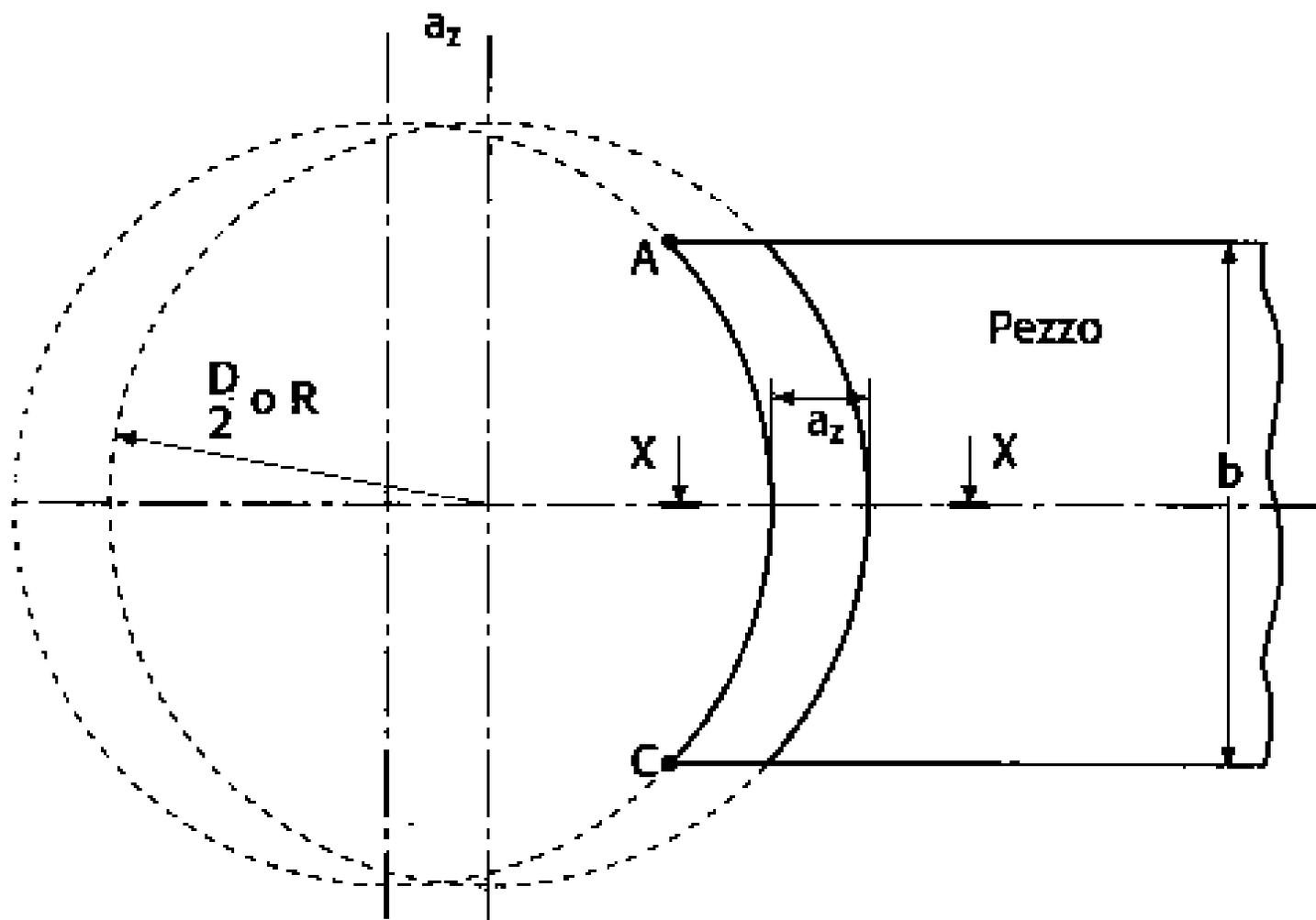
- Il truciolo è una “virgola” con sezione variabile dallo spessore maggiore dove il dente urta sulla superficie da asportare per un tratto pari all’avanzamento della fresa fino a zero in corrispondenza della circonferenza di contatto
- Vi è un fenomeno di urto all’attacco del dente
- La forza di taglio è sempre scomponibile in due componenti:
 - Orizzontale che favorisce il moto di avanzamento
 - Verticale che tende a spingere la fresa verso il piano di lavoro
- La componente orizzontale (concorde) rischia di creare il distacco dei denti dalla presa creando giochi

Scelta della modalità di fresatura

- La fresatura in concordanza è preferibile se si dispone di una macchina a recupero dei giochi che tendono a crearsi durante il processo in quanto:
 - Consente una minore usura dei taglienti
 - Evita lo strisciamento dei denti e la dissipazione di energia
 - Permette una maggiore stabilità durante la lavorazione
- Esistono tuttavia dei fenomeni di variabilità dello spessore del truciolo e dunque anche della forza di taglio
- Tale variabilità può essere notevolmente ridotta mediante l'utilizzo di frese a denti elicoidali

Fresatura a taglio frontale

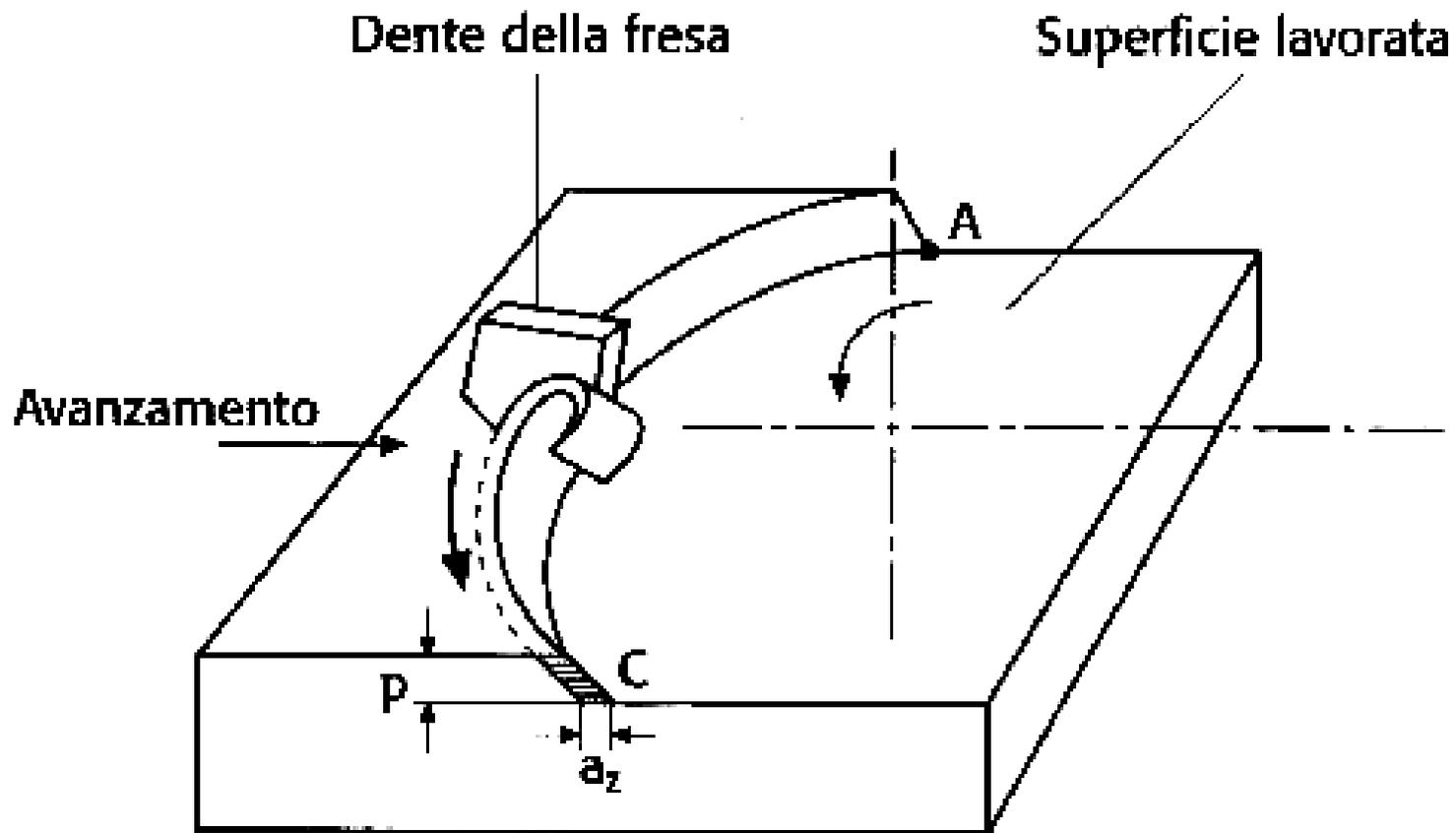
- Consente di asportare un truciolo con spessore poco variabile tra il punto ingresso e quello di uscita della fresa
- La rugosità superficiale dipende degli angoli di profilo dei denti in combinazione con il valore di avanzamento della fresa
- La forza di taglio è scomponibile in due componenti:
 - Parallela rispetto al moto di avanzamento
 - Perpendicolare rispetto al moto di avanzamento



a)

Fresatura a taglio frontale

- È preferibile che la componente parallela al moto di avanzamento sia opposta a questo per evitare possibili distacchi dei denti in presa
- Per fare ciò si distinguono 2 casi:
 - Pezzo di larghezza inferiore alla fresa:
 - Scegliere frese di diametro 1,3-1,7 volte la larghezza del pezzo
 - Asse della fresa spostato rispetto all'asse del pezzo così da lasciare 0,1D in ingresso e 0,3D in uscita
 - Pezzo di larghezza superiore alla fresa
 - Occorre necessariamente effettuare più passate con la condizione $l < 3L$ con l ed L indicati in figura
 - In tal modo si hanno le stesse condizioni della fresatura periferica



Movimenti di fresatura frontale

- Moto di taglio:
 - Rotatorio e continuo, posseduto dall'utensile
 - Misurato dalla velocità di taglio (v) in m/min
- Moto di alimentazione
 - Rettilineo/curvilineo continuo, posseduto dal pezzo
 - Misurato dall'avanzamento (a) in mm/min o in mm/giro dente
- Moto di appostamento
 - Posseduto dal pezzo o dall'utensile è necessario per regolare la profondità del materiale da asportare misurata dalla profondità di passata (p) in mm
- Altri parametri di taglio fondamentali sono:
 - il diametro della fresa (D)
 - il numero di denti (z)

$e \approx 0,1 \cdot D$ (acciai)

$e \approx 0,07 \cdot D$ (ghise e mat. non ferrosi)

Fig. 7.6

Posizione di una fresa
frontale rispetto al
pezzo.

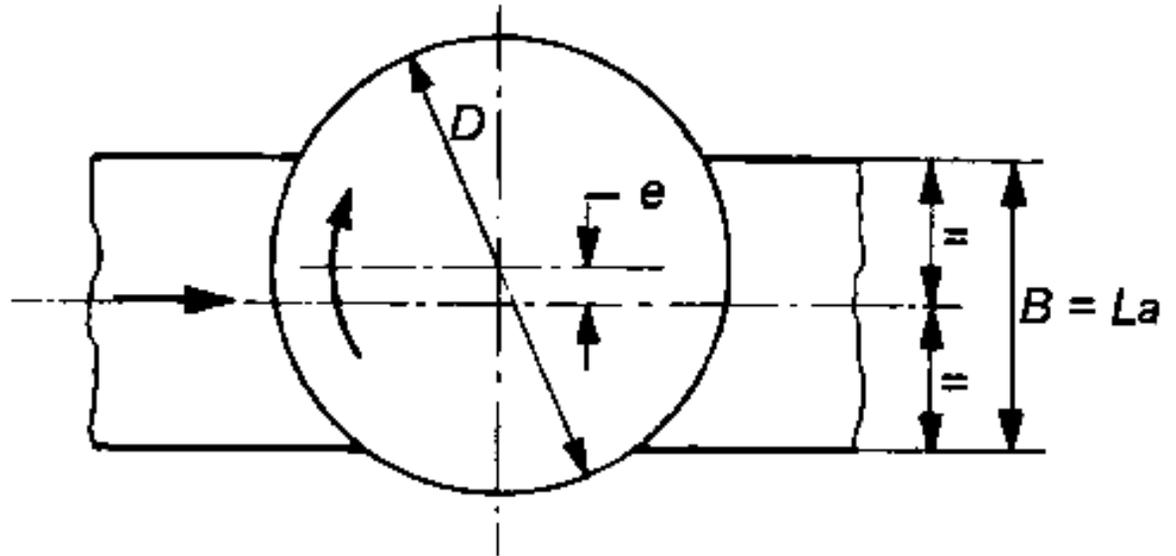
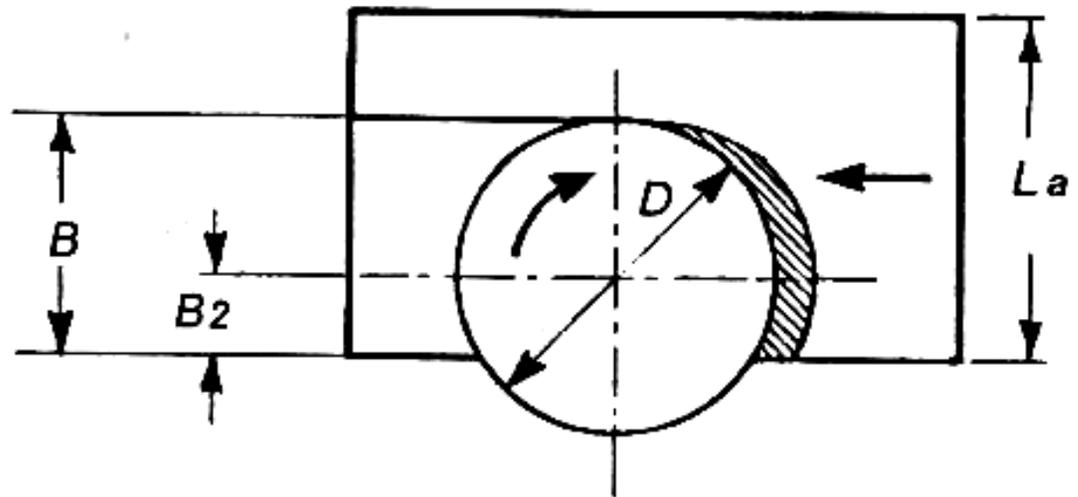


Fig. 7.7

Fresatura frontale con prevalenza del tratto "in discorde".



Parametri di taglio derivati

- Numero di giri da applicare alla fresa per ottenere la velocità di taglio desiderata

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad \text{giri/min}$$

- Velocità di avanzamento dell'utensile

$$v_a = a \cdot n = a_z \cdot z \cdot n \quad \text{mm/min}$$

Parametri di taglio derivati

- Spessore del truciolo

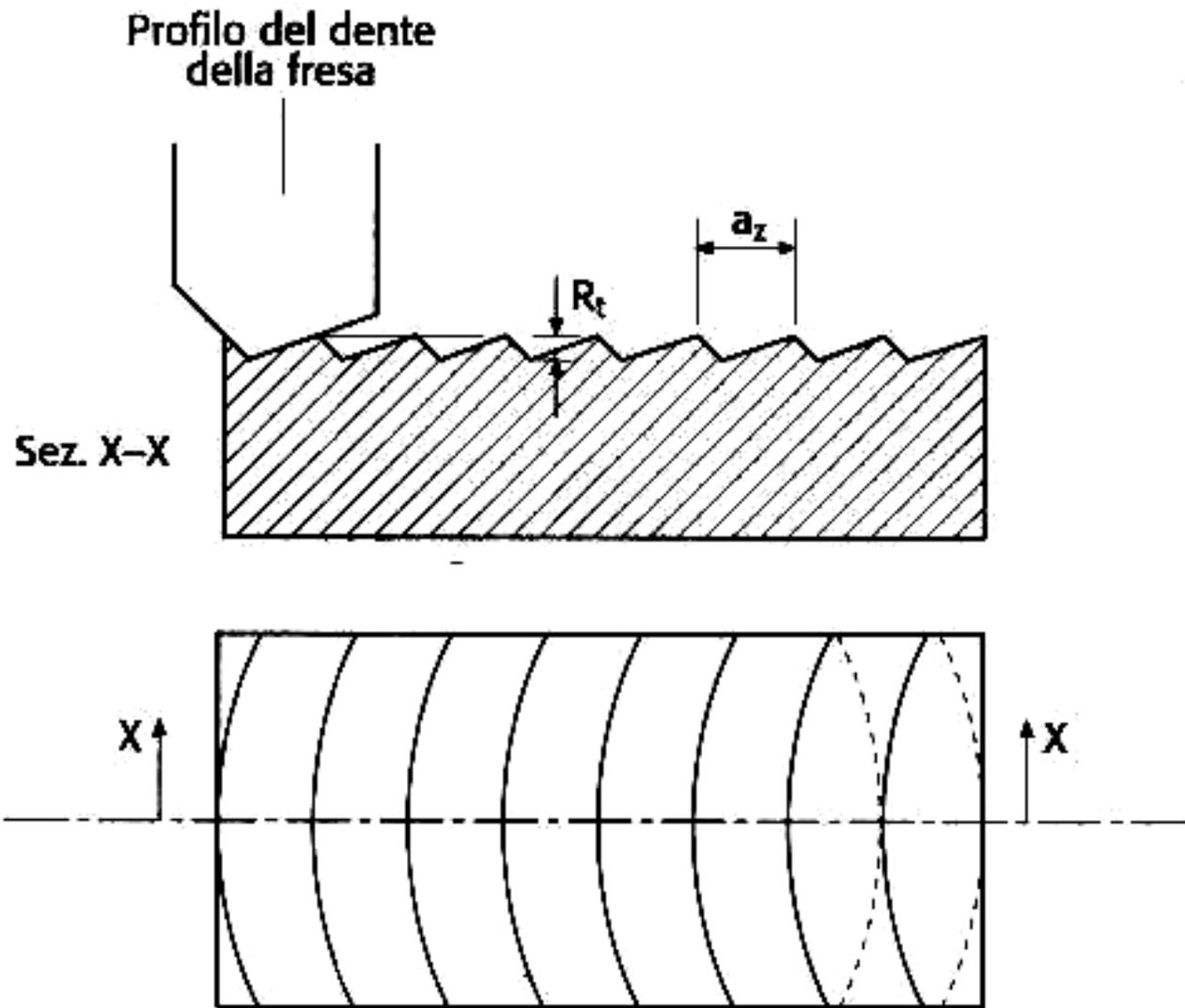
$$h = AC \sin \varphi = a_z \sin \varphi \quad (\text{mm}^2)$$

- Avanzamento al giro

$$a = a_z \cdot z \quad (\text{mm/giro})$$

- Sezione di truciolo

$$s = h \cdot p \quad (\text{mm}^2)$$



b)

Fig. 3.36

Fresa ad inserti triangolari per operazioni di spianatura.

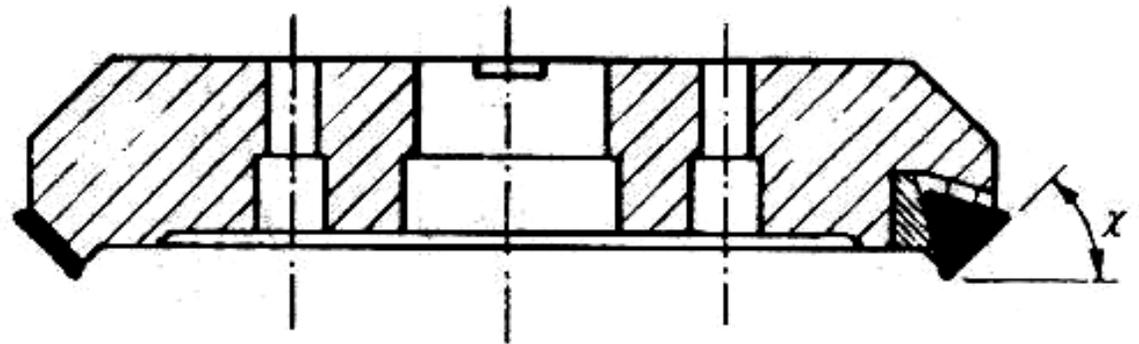
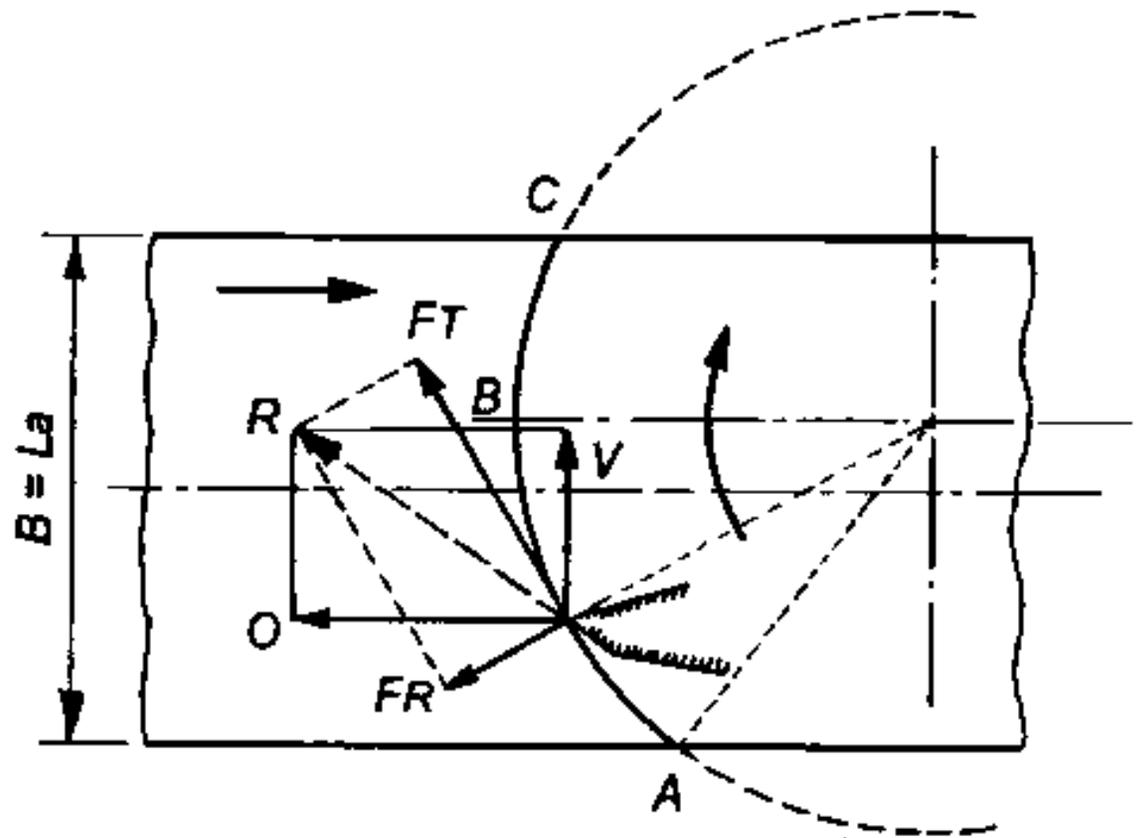


Fig. 7.5

Fresatura frontale: componenti della forza di taglio agenti sul pezzo.



Frese frontali

- Taglienti disposti su una superficie cilindrica ed una piana perpendicolare all'asse della precedente
- Asse di rotazione generalmente perpendicolare al piano da spianare
- Tipi:
 - A manicotto per operazioni di spianatura
 - Frese a spianare con taglienti riportati in carburi sinterizzati
 - Frese a codolo con testa di diverse sagome per operazioni di scanalatura a generatrice anche complessa, sedi di chiavette, incisioni su stampi

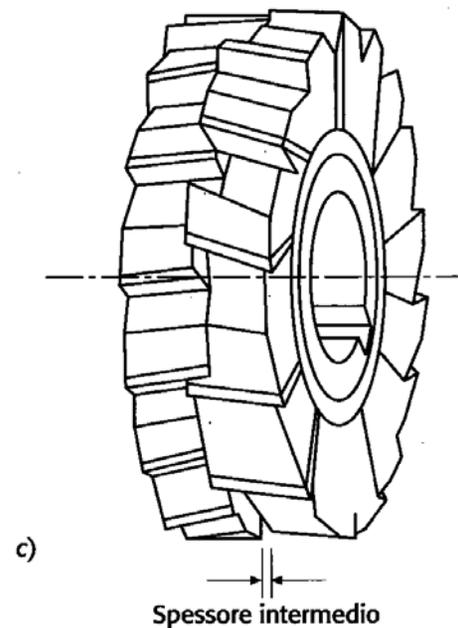
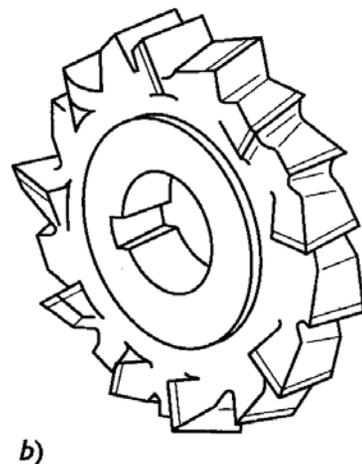
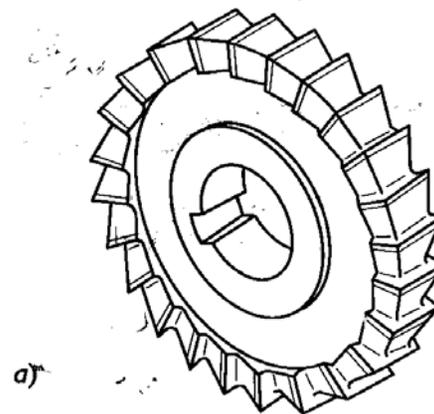
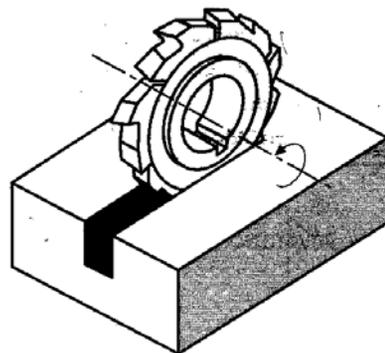
Denti di fresatura

- Denti fresati o “denti di sega”
 - In numero ed angolo di affilatura variabili in funzione dell'esecuzione
 - Esecuzione N:
 - Materiali di durezza normale
 - Molti denti
 - Angoli $\alpha = 4-5^\circ$ e $\gamma = 5-10^\circ$
 - Esecuzione D:
 - Materiali molto duri
 - Pochi denti robusti
 - Angoli $\alpha = 3-4^\circ$ e $\gamma = 3-8^\circ$
 - Esecuzione N:
 - Materiali teneri
 - Pochissimi denti
 - Angoli $\alpha = 6-8^\circ$ e $\gamma = 15-25^\circ$
- Denti spogliati o “a profilo costante”
 - Nelle frese utilizzate per creare scanalature a profilo variabile e generatrice complessa.
 - L'usura del dente non muta la funzionalità della fresa

Frese a disco a tre tagli

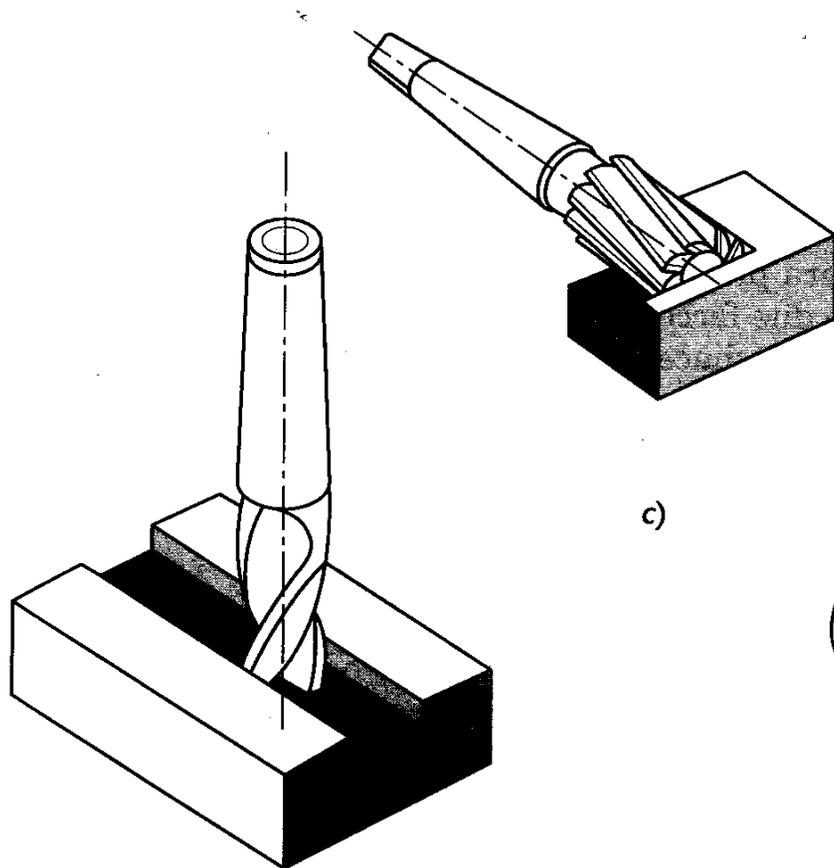
- Presentano taglienti sulla superficie cilindrica esterna e sulle due facce ad essa ortogonali
- Asse di rotazione parallelo al piano di lavoro
- Generalmente di elevato rapporto diametro/spessore
- Utilizzate per realizzare scanalature rettilinee con alta produttività
- Esistono anche versioni registrabili con l'interposizione di anelli fresanti a spessore variabile

Frese a disco



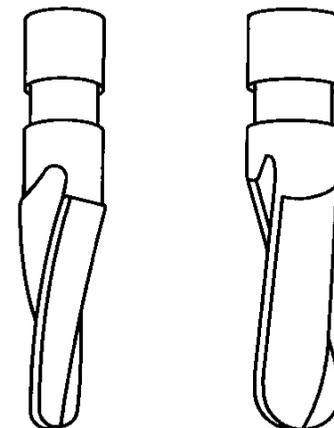
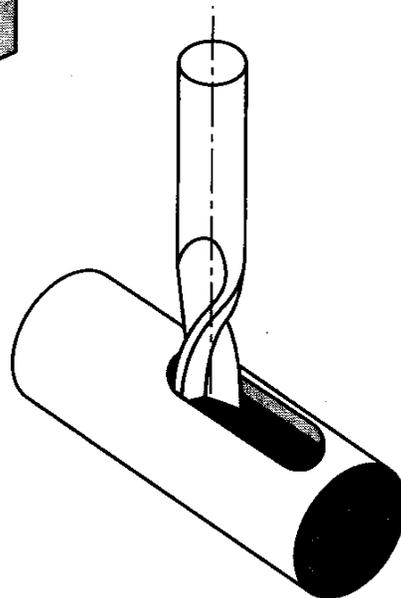
Vari tipi di frese a disco a tre tagli: a) a denti dritti; b) a denti elicoidali; c) registrabile con spessore intermedio.

Utensili per fresatura



c)

c) a codolo per esecuzione di cave; d) a codolo per lavorazione di stampi.



d)

Altri tipi di frese

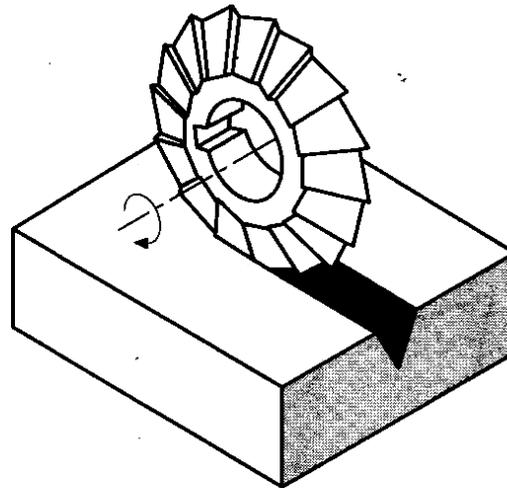
■ Frese per scanalature a “T”

- Consentono in passaggi successivi la realizzazione di una scanalatura a T
- Presentano un asse di rotazione perpendicolare
- Sono dotate di taglienti su una superficie cilindrica e due superfici ortogonali

■ Frese ad angolo

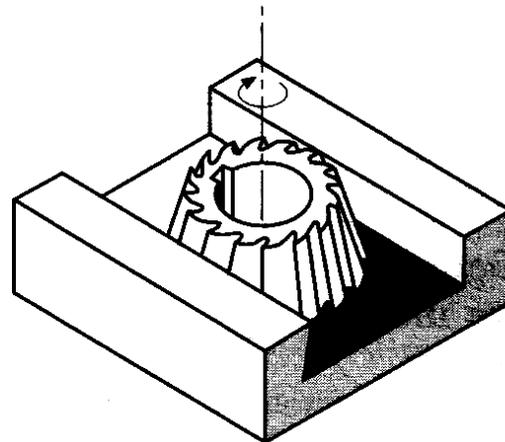
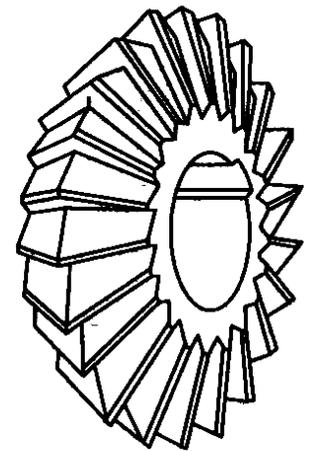
- Presentano denti disposti su superfici coniche ed asse orizzontale per scanalature a “V”
- Hanno denti su superficie conica ed una superficie piana ad asse verticale per scanalature a coda di rondine

Frese a angolo

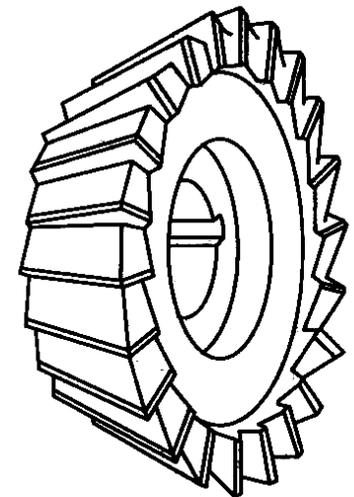


Frese ad angolo:
a) biconica;
b) piano-conica.

a)

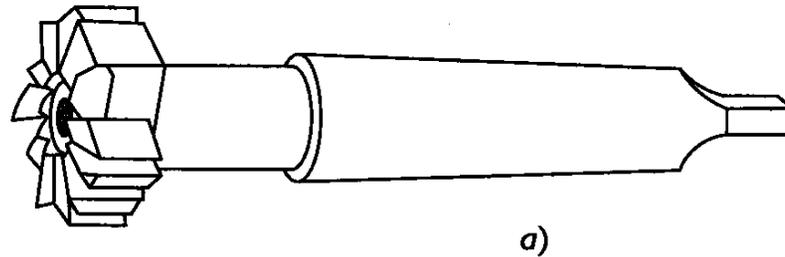
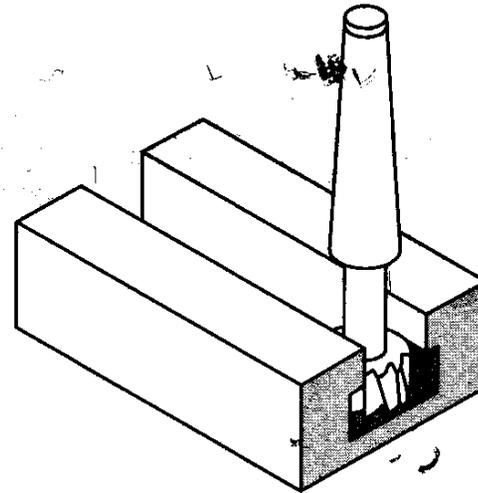


b)

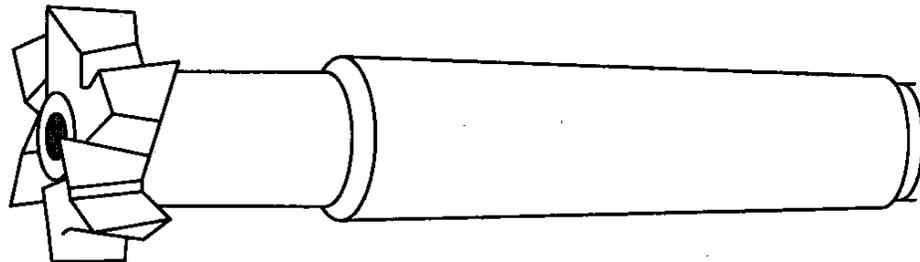


Frese per scanalature

Frese per scanalature a T: a) a denti dritti; b) a denti elicoidali.



a)



b)

Altri tipi di frese

- Frese con profilo costante:

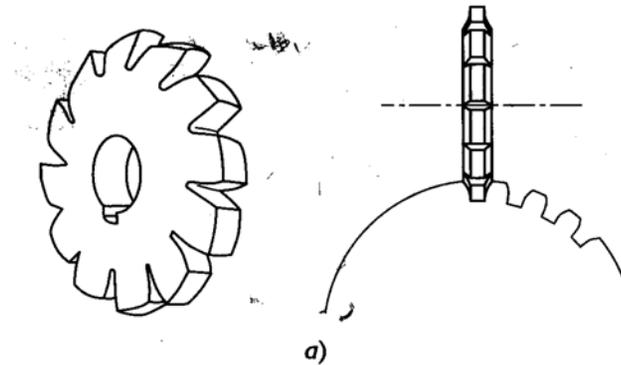
- A denti spogliati per la realizzazione di scanalature particolari:

- Profilo modulare per ruote dentate
 - Profilo semicircolare concavo
 - Profilo semicircolare convesso

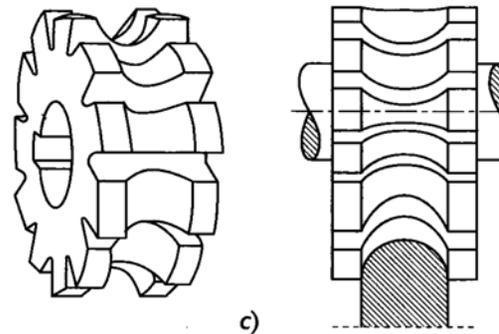
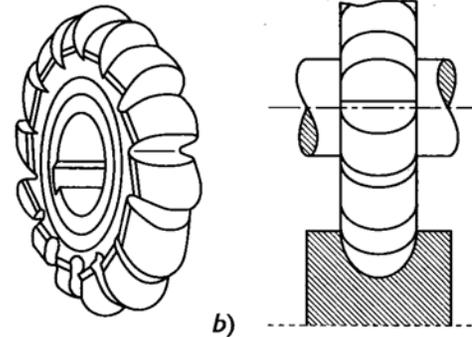
- Seghe circolari:

- Spessore minimo 0,4 mm
 - Superfici concave per non strisciare sulle superfici

Frese per profili speciali

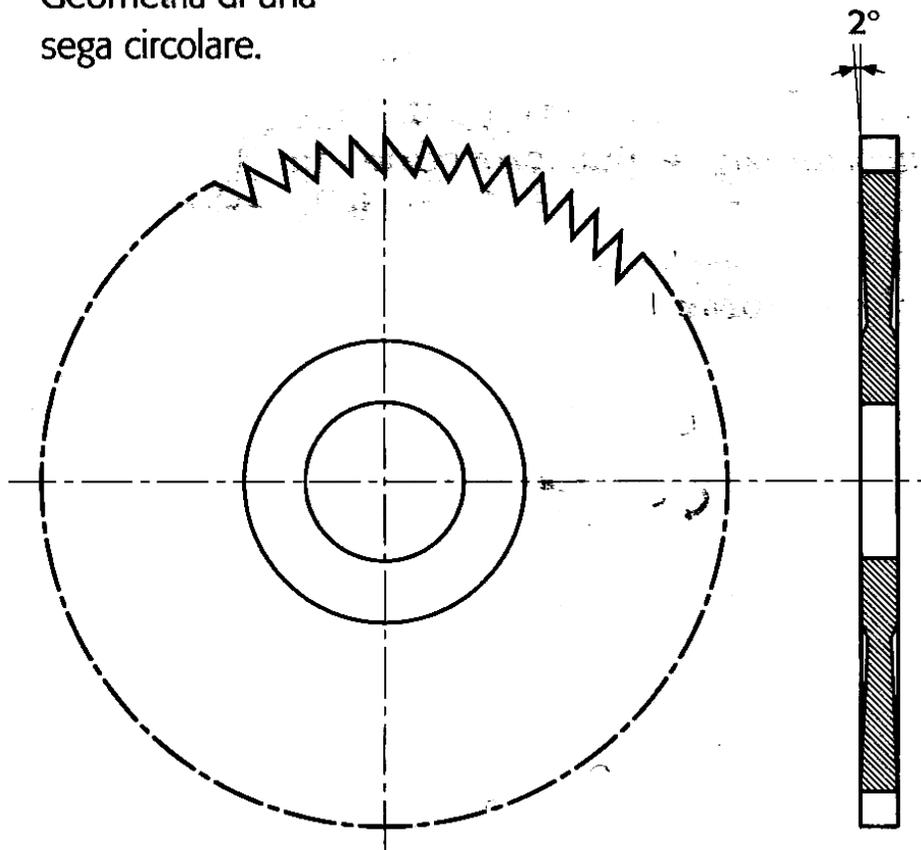


Alcuni tipi di frese
a profilo costante:
a) modulare per taglio di
ingranaggi; b) per profili
semicircolari convessi;
c) per profili semicircolari
concavi.



Sega circolare

Geometria di una
sega circolare.



Scelta dei parametri di fresatura

- Velocità di taglio in m/min:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

ove

- D è il diametro della fresa in mm
 - n è la velocità angolare in giri/min
- Nella finitura l'utilizzo di una velocità superiore porta a migliori caratteristiche di rugosità superficiale

Materiale del pezzo	Materiale dell'inserto	Velocità di taglio (m/min)	Avanzamento per dente (mm)
Acciaio $R_m = 600 \div 850$ MPa	P25-P40	120	0,3
Acciaio $R_m = 850 \div 1200$ MPa	P20-P30	80	0,2
Ghisa grigia HB < 1800 MPa	K10-K20	100	0,3
Ghisa grigia HB > 1800 MPa	K10-K20	80	0,2
Ottone-bronzo	K10-K30	180	0,5
Leghe leggere	K10-K20	500	0,3

Valori indicativi della velocità di taglio e dell'avanzamento per dente per frese cilindrico frontali a denti riportati in carburi sinterizzati (sgrossatura).

Scelta dei parametri di fresatura

- Avanzamento in m/min:

$$V_a = a_z n Z$$

ove

- a_z è l'avanzamento per dente in mm
- Z è il numero dei denti della fresa
- n è la velocità angolare della fresa in giri/minuto
- L'avanzamento influenza quindi lo spessore del truciolo, le forze di taglio, la potenza e la finitura superficiale
- La scelta dell'avanzamento e della velocità di taglio avviene fondamentalmente mediante la consultazione delle tabelle di riferimento fornite dal costruttore di utensili in funzione del materiale in lavorazione e dell'utensile prescelto

Materiale del pezzo	Frese cilindriche e frontali	Frese a disco	Frese a profilo costante	Frese a codolo
Acciai non legati con $R_m = 600$ MPa	0,20	0,06	0,04	0,05
Acciai non legati con $R_m = 600-900$ MPa	0,16	0,06	0,03	0,04
Acciai bonificati con $R_m = 1100$ MPa	0,10	0,05	0,02	0,02
Acciai bonificati con $R_m = 1300$ MPa	0,08	0,04	0,01	0,01
Ghisa grigia HB = 1800 MPa	0,25	0,08	0,05	0,08
Ghisa grigia HB > 1800 MPa	0,16	0,06	0,04	0,06
Rame	0,25	0,10	0,05	0,08
Ottone duro	0,20	0,08	0,04	0,05
Bronzo	0,16	0,06	0,05	0,04
Leghe leggere di alluminio	0,10	0,08	0,04	0,05

Valori indicativi dell'avanzamento per dente (mm) in operazioni di fresatura con frese in acciaio superrapido (sgrossatura).

Tabella 7.1 - Velocità di taglio per frese ad inserti per spianatura e spallamenti retti.

Materiale: acciaio.

Materiale	Durezza HBS	Qualità dell'inserto			
		P10	P20	P30	P40
		avanzamento a_z (mm/giro,dente)			
		0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1
		velocità di taglio (m/min)			
Acciaio al C non legato	110	170-230-300	150-200-260	130-180-230	100-130-160
	150	110-150-200	100-120-170	90-110-150	60- 80-100
	300	90-120-160	80-110-140	70-100-120	50- 70- 80
Acciaio poco legato	< 220	110-150-190	100-130-160	90-120-150	60- 80-100
	> 220	90-120	60- 80-100	50- 70- 90	40- 50- 60
Acciaio molto legato	<250	130-180	90-110-150	80-100-130	60- 80- 90
	>250	90-110	50- 70-100	50- 60- 90	40- 50- 60
Acciai inoss. ferr. e mart.	150÷270	190-240	120-160-210	110-150-190	80-100-130
Acciaio. inoss. austenitico	150÷220	150-180	95-130-160	85-110-150	65- 85-100
Getti acciaio non legato	150	140-170	80-120-150	70-110-130	60- 70- 90
Getti acciaio poco legato	150÷250	110-140	70-100-120	60- 90-110	50- 60- 80
Getti acciaio molto legato	160÷200	80-100	55- 75- 85	50- 65- 75	35- 45- 55

Tabella 7.2 - Velocità di taglio per frese ad inserti per spianatura e spallamenti retti.

Materiale: ghise e leghe di alluminio.

Materiale	Durezza <i>HBS</i>	Qualità dell'inserto			
		K10	K15	K20	K05 - K15
		avanzamento <i>az</i> (mm/giro,dente)			
		0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	0,4 - 0,2 - 0,1	> 0,1
		velocità di taglio (m/min)			
Ghisa malleabile	< 150	170 - 190	100-125-150	65 - 80 - 95	-
	> 150	140 - 170	90-110-130	50 - 65 - 80	-
Ghisa grigia	160	170 - 230	180-120-150	75 - 95 - 120	-
	260	130 - 170	70- 90-110	50 - 70 - 90	-
Ghisa sferoidale	160	120 - 150	70- 90-110	50 - 65 - 80	-
	250	110 - 130	65- 85 100	45 - 60 - 70	-
Leghe Al	30	-	-	-	200 ÷ 450
Leghe Al	40 ÷ 100	-	-	-	250 + 400

*Tabella 7.3 - Velocità di taglio per frese a disco ad inserti.
Materiale: acciaio.*

Materiale	Durezza <i>HBS</i>	Qualità dell'inserto		
		P20	P30	P40
		avanzamento a_z (mm/giro, dente)		
		0,6 - 0,3 - 0,1	0,6 - 0,3 - 0,1	0,6 - 0,3 - 0,1
		velocità di taglio (m/min)		
Acciaio al C non legato	110 ÷ 300	140 - 190 - 240	80 - 120 - 180	70 - 90 - 130
Acciaio poco legato	130 ÷ 400	130 - 160 - 210	60 - 80 - 130	45 - 65 - 80
Acciaio molto legato	150 ÷ 500	120 - 150 - 180	40 - 60 - 90	30 - 45 - 65
acciaio inoss.	150 ÷ 220		55 - 80 - 125	40 - 60 - 90
getti acciaio	150 ÷ 200	130 - 160 - 210	35 - 55 - 85	25 - 40 - 60

Finitura del pezzo in fresatura frontale

- Il grado di finitura del pezzo in fresatura frontale è influenzato:
 - Dall'avanzamento del dente a_z
 - Dal raggio di punta dell'inserto
- Per migliorare la finitura spesso l'inserto presenta, in luogo del raggio di raccordo, due brevi tratti rettilinei uno dei quali quasi parallelo alla superficie del pezzo

Finitura del pezzo in fresatura periferica

- Il grado di finitura è influenzato anche qui:
 - Dalla velocità di avanzamento della fresa
 - Dal raggio della fresa
- Di fatto il moto del dente è una cicloide frutto di:
 - Un moto di rotazione della fresa
 - Un moto di avanzamento del pezzo

Fresatura discorde

- Il singolo dente lavora in corrispondenza del raggio massimo di curvatura della cicloide
- Lo spessore del truciolo è massimo in uscita
- La superficie è meno rugosa ma “opaca” per lo slittamento

Fresatura concorde

- Il singolo dente lavora in corrispondenza del raggio minimo della cicloide
- Dunque l'altezza delle creste e dunque la rugosità del pezzo risulterà maggiore
- In compenso non vi sono fenomeni iniziali di slittamento e dunque vi sarà minore usura di taglienti e minore potenza assorbita

Forza di taglio

- Le forze in gioco tra fresa e pezzo possono scomporsi in 3 componenti:
 - Componente tangenziale F_t
 - Componente radiale F_r
 - Componente assiale F_a
- La componente principale risulta quella nella direzione della velocità di taglio, ovvero la F_t

Forza e potenza di taglio

- La valutazione della forza e della potenza di taglio, data la complessità del moto, non è semplice.
- Ai fini della determinazione del ciclo di lavorazione è però necessario stimare, della forza e della potenza di taglio:
 - I valori massimi per l'individuazione delle caratteristiche della macchina idonea
 - I valori medi per una stima dei costi della lavorazione
- A tale scopo è usuale riferirsi a formule di calcolo approssimate

Fresatura periferica

definita con $s = h \cdot B$ la sezione di truciolo

ove

h è la quota di materiale impegnata dal singolo dente

con $h = a_z \cdot \sin \varphi$ e dunque variabile con φ

B è la larghezza del materiale in fresatura

sono da fare alcune considerazioni su h_{\max} e h_{med}

$$\cos \varphi = \frac{OB}{OA} = \frac{R - p}{R}$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{p}{R}\right)^2} = \sqrt{2 \cdot \frac{p}{R}}$$

si può quindi determinare :

il valore massimo dello spessore

$$h_{\max} = az \cdot \sin \varphi = 2 \cdot az \cdot \sqrt{\frac{p}{D}}$$

il valore medio dello spessore

$$h_{\text{med}} = \frac{1}{\varphi} \cdot \int_0^{\varphi} h \cdot d\varphi = \frac{az}{\varphi} \cdot (1 - \cos \varphi) = \frac{2 \cdot az \cdot p}{\varphi \cdot D} \quad (\text{mm})$$

oppure, supponendo un andamento lineare di h per valori piccoli di φ , si ha :

$$h_{\text{med}} = \frac{h_{\max}}{2} = az \cdot \sqrt{\frac{p}{D}} \quad (\text{mm})$$

Forza di taglio

- Così come già visto in tornitura si può esprimere la componente tangenziale della forza di taglio in funzione della pressione di taglio k_s e dello spessore del truciolo s :

$$F_t = k_s \cdot s = k_s \cdot a_z \cdot B \cdot \sin \varphi \quad (\text{N})$$

poichè tale valore è variabile, è utile definire un valore medio :

$$F_{tm} = k_{sm} \cdot h_m \cdot B = k_{sm} \cdot a_z \cdot \sqrt{\frac{p}{D}} \cdot B \quad (\text{N})$$

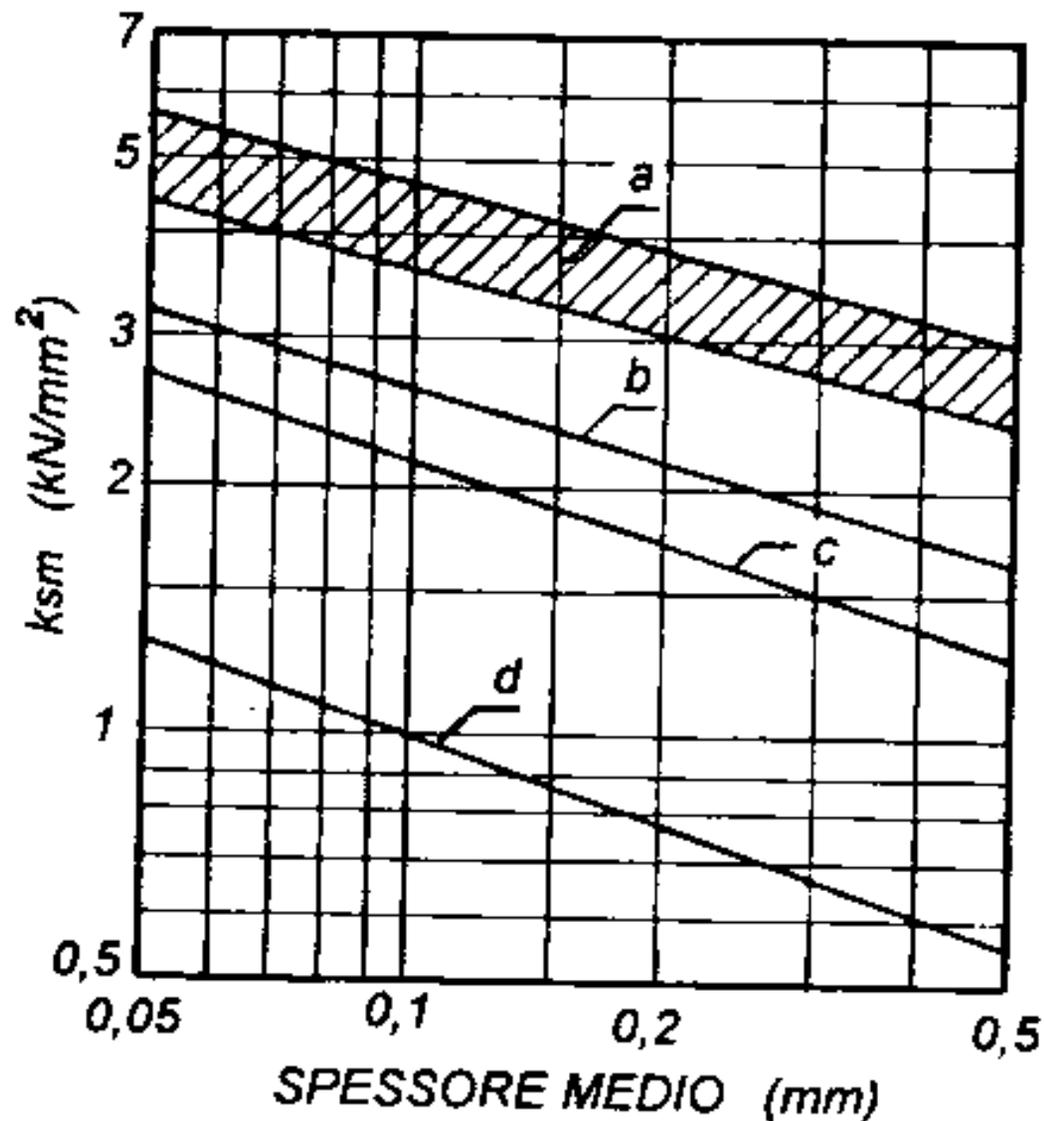
Pressione di taglio media

- La pressione di taglio media varia in funzione:
 - del tipo di materiale
 - dello spessore medio del truciolo
- In particolare, si verifica sperimentalmente che la pressione di taglio aumenta al diminuire dello spessore del truciolo come dal grafico seguente

Fig. 9.11

Pressione di taglio media k_{sm}
in funzione dello spessore me-
dio h_m .

- a) acciai ($R_m = 500 \div 700$
 N/mm^2),
- b) ghisa sferoidale,
- c) ghisa grigia,
- d) ottone.



Potenza media

- La potenza di taglio media assorbita per il singolo dente vale allora:

$$W_m = \frac{F_{tm} \cdot v}{60 \cdot 1000} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (\text{kW})$$

essendo :

v la velocità di taglio

η il rendimento della macchina (circa 0,8)

Casi specifici

- Caso di 1 solo dente in presa:

- In tal caso la potenza massima, supponendo la F_{tm} pari a metà della forza massima, diventa:

$$W_{\max} = 2 \cdot W_m$$

- Caso di più dente in presa contemporaneamente:

- In tal caso la potenza massima sarà pari alla potenza media assorbita da ciascun dente per il numero dei denti z_c :

$$W_{\text{tot}} = W_m \cdot z_c$$

- Considerando allora che:

$$AB = \sqrt{OA^2 - OB^2} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - p\right)^2} = \sqrt{D \cdot p - p^2}$$

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{D \cdot p}$$

se z è il numero di denti della fresa,

il passo sarà dato da $\pi \cdot \frac{D}{z}$

da cui, il numero dei denti in presa z_c , assumendo uguali la corda e l'arco AC, sarà :

$$z_c = \frac{AC}{\text{passo}} = \frac{\sqrt{D \cdot p}}{\pi \cdot D} \cdot z$$

- La forza tangenziale media totale sarà allora:

$$Ft_{Tot} = Ft_m \cdot z_c = k_{sm} \cdot a_z \cdot \sqrt{\frac{p}{D}} \cdot B \cdot \frac{\sqrt{D \cdot p}}{\pi \cdot D} \cdot z$$

considerando che

$$a_z = \frac{V_a}{n \cdot z} \quad (\text{mm/giro, dente})$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (\text{giri/min})$$

si può scrivere:

$$Ft_{Tot} = k_{sm} \cdot \frac{v_a \cdot B \cdot p}{1000 \cdot v} \quad (\text{N})$$

- Nell'espressione precedente sono state introdotte:

la velocità di avanzamento v_a (mm/min)

la sezione media totale riferita al numero di denti in presa

$$S_{\text{tot}} = \frac{v_a \cdot B \cdot p}{1000 \cdot v} \quad (\text{mm}^2)$$

da cui è possibile determinare la potenza totale

$$W_{\text{tot}} = \frac{F_{t\text{Tot}} \cdot v}{60 \cdot 1000} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (\text{kW})$$

Fresatura frontale

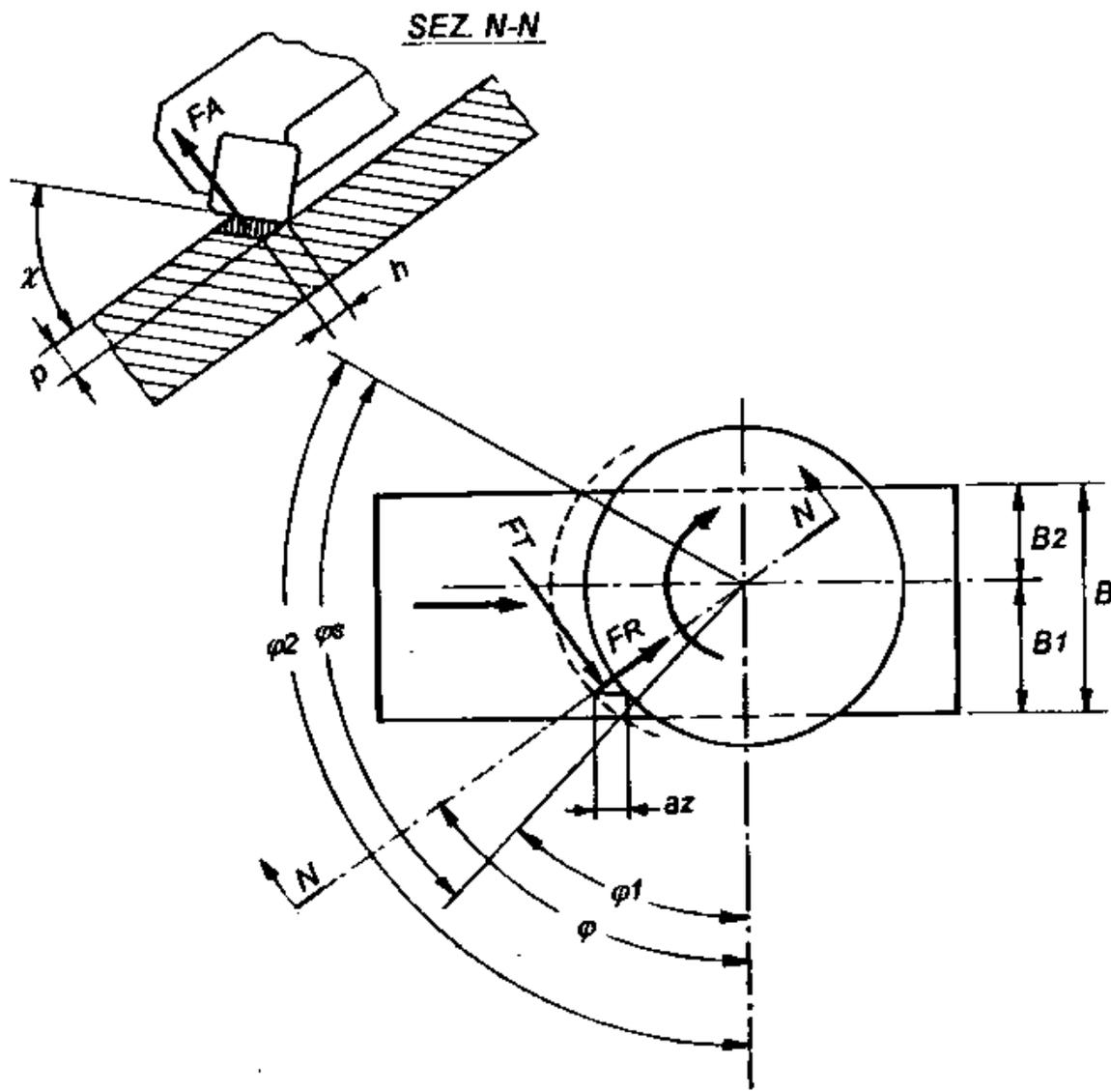
- Supponendo l'avanzamento per singolo dente molto piccolo rispetto al diametro della fresa si può ritenere che la traiettoria del dente sia assimilabile ad una circonferenza da cui la sezione s risulta essere:

$$S = h \cdot p \quad (\text{mm}^2)$$

Ove:

p è la profondità di passata in mm

h è lo spessore del truciolo in mm misurato radialmente



ig. 9.12 - *Fresatura frontale: sezione di truciolo e componenti della forza di taglio.*

$$h = a_z \cdot \sin \varphi \quad (\text{mm})$$

ovvero la sezione del truciolo varia con legge sinusoidale
ai fini dei calcolo per una fresatura con più denti in presa
conviene definire una sezione media che, dato $\varphi_s = \varphi_2 - \varphi_1$
diventa :

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} a_z \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi$$

da cui, dato

$$\cos \varphi_1 = \frac{2 \cdot B_1}{D} \quad \text{e} \quad \cos \varphi_2 = \frac{-2 \cdot B_2}{D} \quad \text{e} \quad B_1 + B_2 = B$$

$$\text{si ha } h_m = a_z \cdot \frac{2 \cdot B}{D \cdot \varphi_s} \quad (\text{mm})$$

da cui la sezione per singolo dente sarà :

$$S_m = h_m \cdot p \quad (\text{mm}^2)$$

Forza di taglio

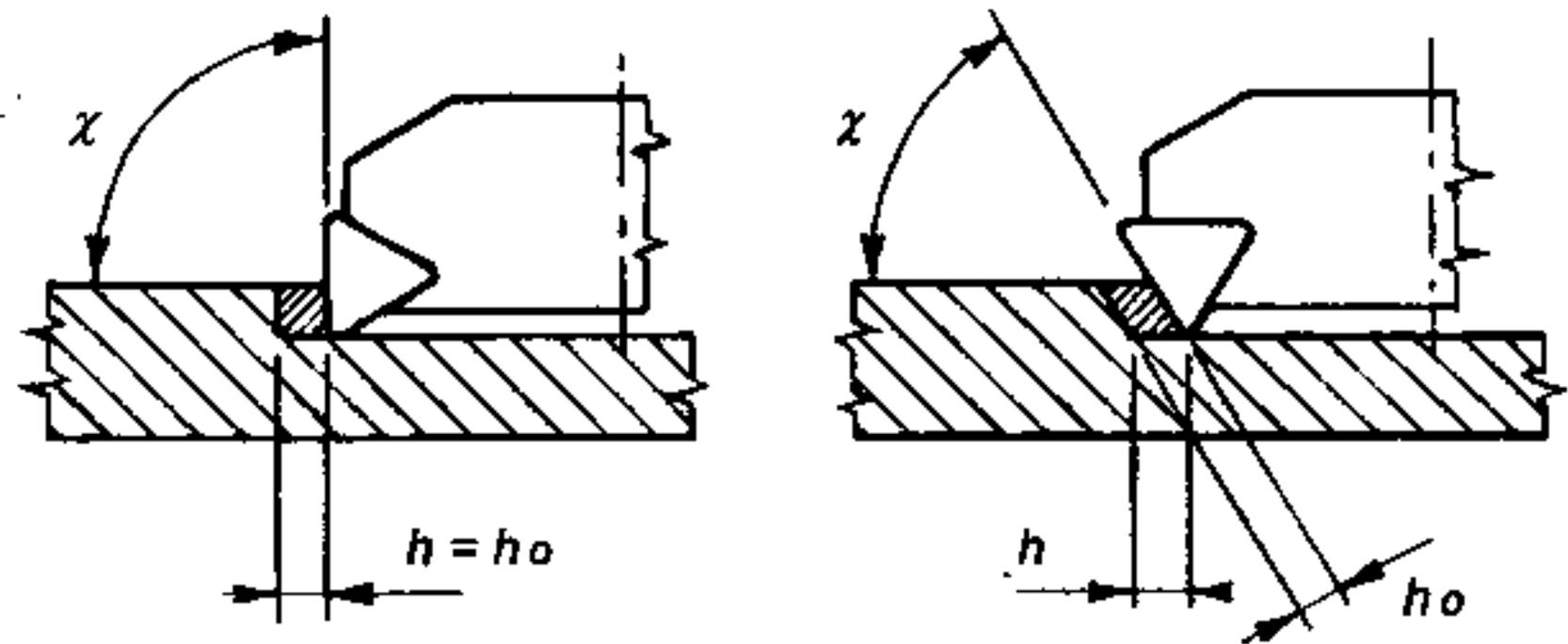
- Facendo sempre riferimento alla componente tangenziale ed alla pressione media di taglio k_{sm} si ha per la forza media:

$$F_{tm} = k_{sm} \cdot S_m$$

con la pressione media deducibile dal grafico in funzione dello spessore medio effettivo che tiene conto anche dell'angolo di registrazione che influenza la lunghezza su cui avviene il taglio

$$h_{om} = h_m \cdot \text{sen} \chi$$

si può verificare che al diminuire di χ la pressione di taglio aumenta



Influenza dell'angolo di registrazione χ sulla lunghezza di taglio e sullo spessore effettivo di truciolo (per $h = h_m$, $h_0 = h_{om}$).

Potenza di taglio

- La potenza media W_m assorbita dal singolo dente vale allora:

$$W_m = \frac{F_{tm} \cdot v}{60 \cdot 1000} \cdot \frac{1}{\eta}$$

ove

v è la velocità di taglio

η è il rendimento della macchina

- Dato che in fresatura frontale sono contemporaneamente in presa z_c denti, si avrà:

$$W_{tot} = z_c \cdot W_m$$

con

$$z_c = \frac{z \cdot \varphi S}{2 \cdot \pi}$$

ove

z è il numero totale dei denti della fresa

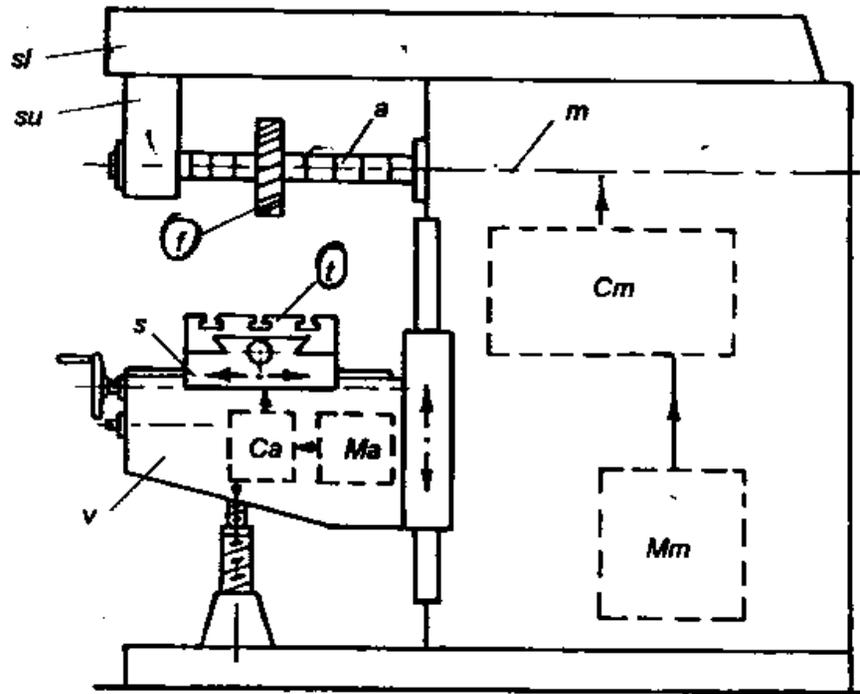


Fig. 13.1 - Schema di una fresatrice orizzontale.

- m* = mandrino,
- sl* = slittone,
- su* = supporto,
- a* = albero portafresa,
- f* = fresa,
- v* = mensola mobile verticalmente,
- s* = slitta mobile parallelamente all'asse della fresa,
- t* = tavola portapezzo mobile perpendicolarmente all'asse della fresa,
- Mm* = motore per rotazione mandrino,
- Cm* = cambio per mandrino,
- Ma* = motore per moti di avanzamento,
- Ca* = cambio per avanzamenti.

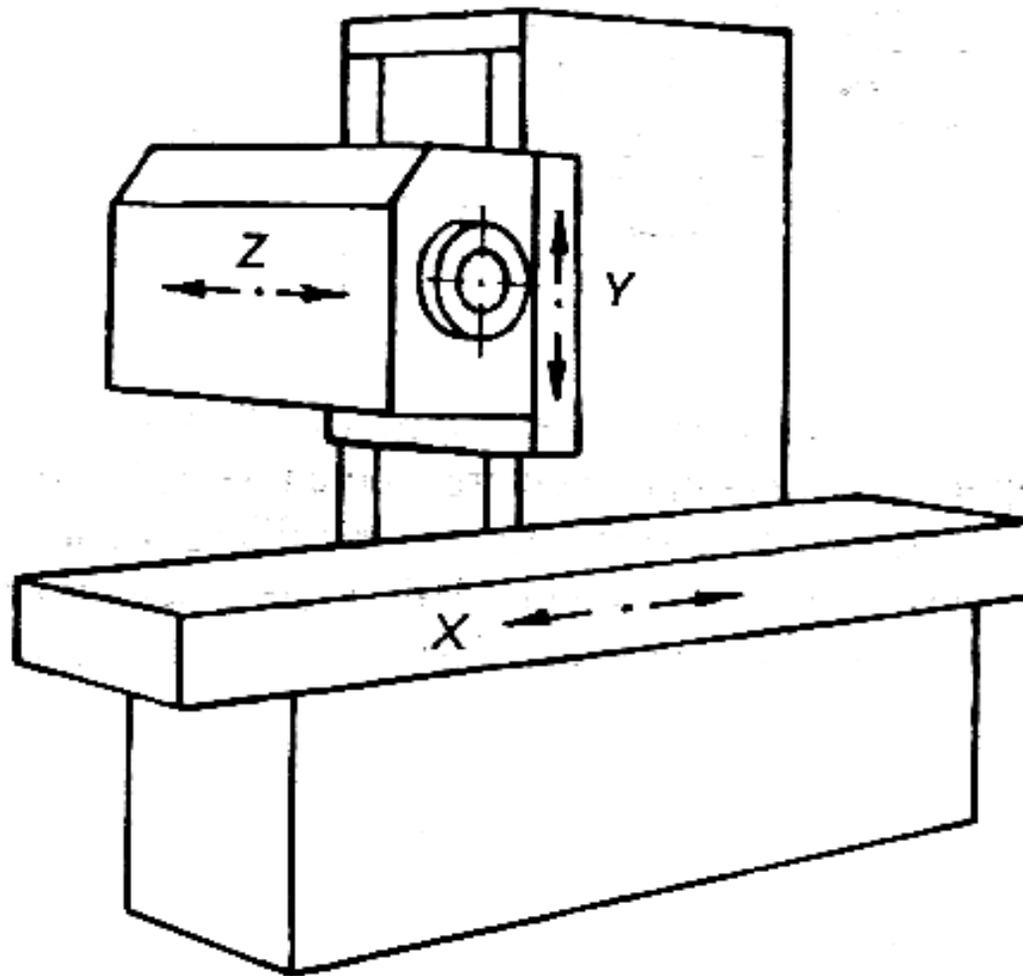
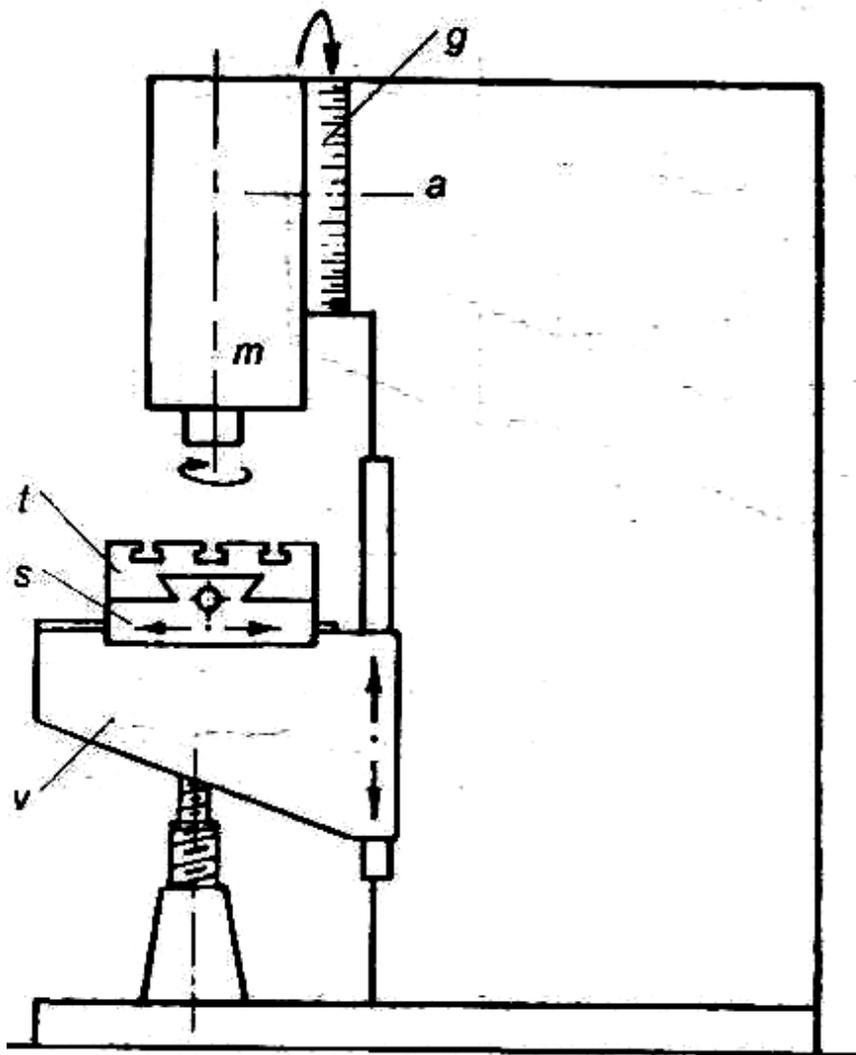


Fig. 13.10 - Schema di una fresatrice orizzontale a banco fisso.



m = mandrino,
g = piastra girevole,
t = tavola portapezzo,
v = mensola,
s = slitta trasversale.

Fig. 13.13 - Schema di una fresatrice verticale a mensola.

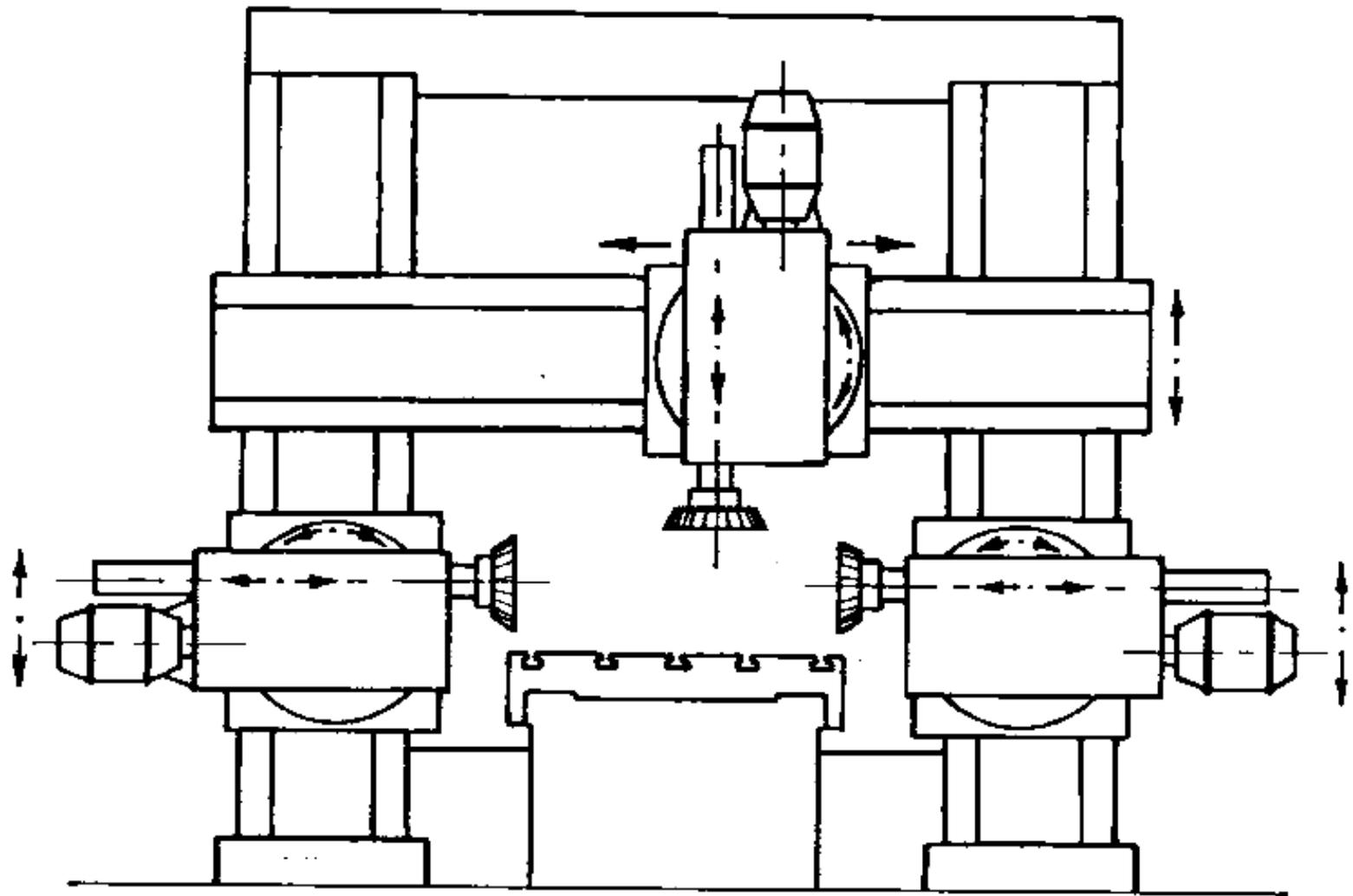


Fig. 13.15 - Schema di una fresatrice piallatrice a portale.

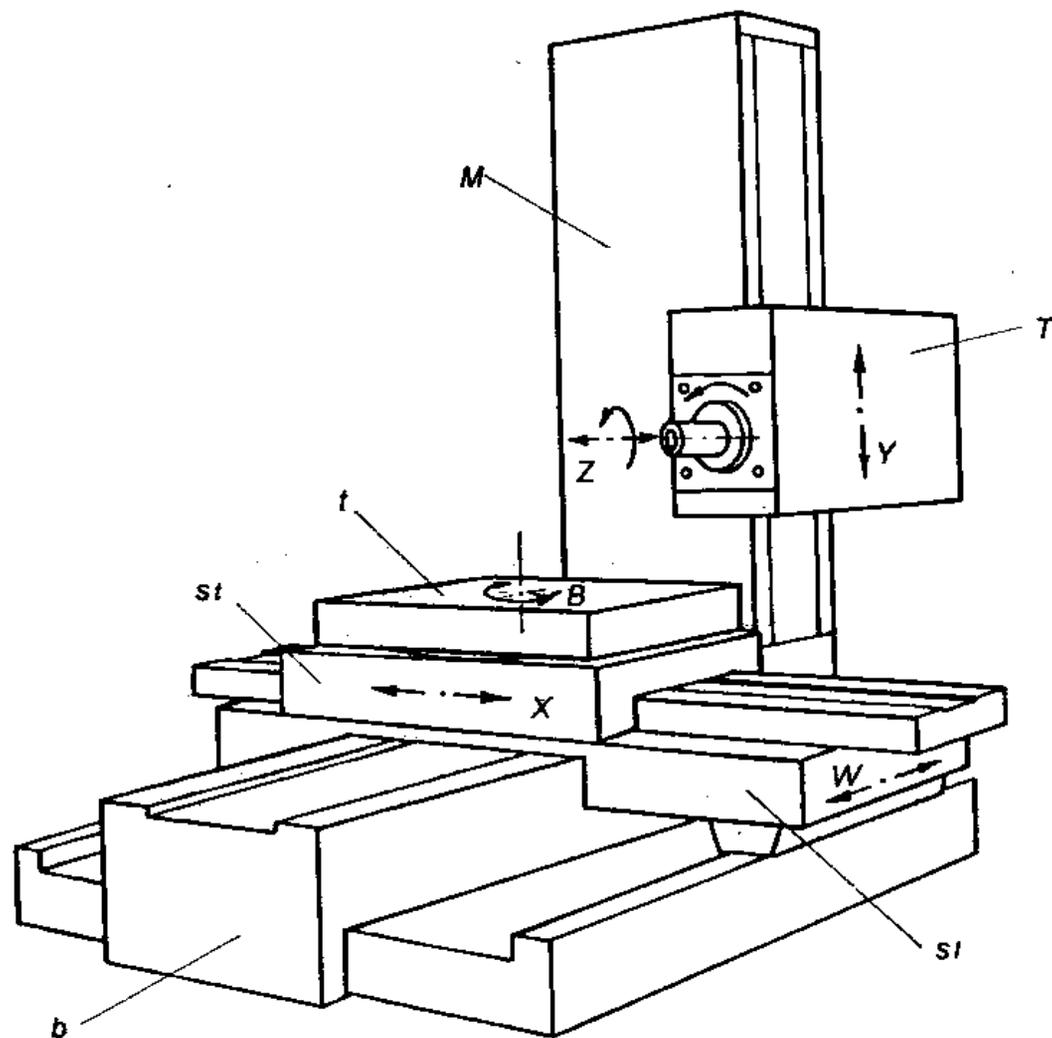


Fig. 14.1 - Alesatrice orizzontale a montante fisso.

<i>b</i> - basamento,	<i>t</i> - tavola portapezzo,
<i>sl</i> - slitta longitudinale,	<i>M</i> - montante,
<i>st</i> - slitta trasversale,	<i>T</i> - testa.

X, Y, Z, W, B - assi controllati se la macchina è a controllo numerico.