

Il ciclo di lavorazione

Si definisce *ciclo di lavorazione* la sequenza ordinata di tutte le lavorazioni necessarie per trasformare una o più materie prime in un prodotto finito.

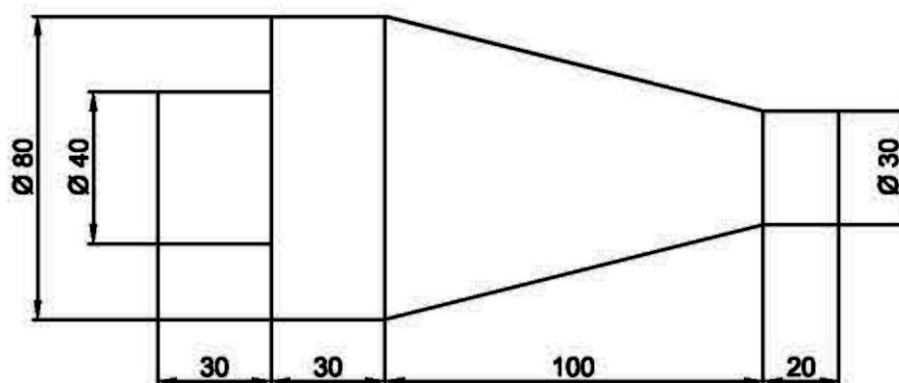
Per definire il ciclo di lavorazione occorre studiare il processo di fabbricazione analizzando, confrontando e definendo i metodi, i macchinari e gli attrezzi più idonei prima ancora che inizi la produzione senza lasciare queste responsabilità agli operai.

Grazie al ciclo di lavorazione è quindi possibile:

- *programmare la produzione* ovvero predisporre i materiali, i macchinari e la manodopera per realizzare un determinato prodotto
- *conoscere il costo finale* di un determinato prodotto prima di iniziare la produzione e quindi poter calcolare il preventivo e decidere se la sua produzione è remunerativa per l'azienda¹

Un ciclo di lavorazione è formato da una serie di *fasi* ognuna delle quali è costituita da lavorazioni elementari chiamate *operazioni*; con il termine fase si intende la serie di operazioni che viene eseguita su una macchina utensile senza variare il posizionamento del pezzo o il sistema di riferimento.

Per chiarire meglio il concetto di fase ipotizziamo di realizzare mediante tornitura 4 gambe destinate ad uno sgabello; tali gambe sono realizzate a partire da semilavorati di forma cilindrica



Scala 1:2

La lavorazione può essere schematizzata in due fasi:

- 1) il semilavorato costituito da un cilindro $\text{Ø}8,5 \times 18,5$ viene montato sull'autocentrante, viene sgrossato da un lato e successivamente, dopo averlo girato, sgrossato sul secondo lato
- 2) il pezzo, dopo la sgrossatura, viene fissato tra autocentrante e contropunta e sottoposto ad un'operazione di finitura soltanto nelle parti che poi verranno verniciate (non sul perno che verrà inserito nel lato inferiore piano dello sgabello)

¹ Se la produzione risulta non remunerativa è possibile ripetere lo studio del ciclo di lavorazione per verificare se modificando il ciclo si possono avere benefici dal punto di vista economico

Ognuna di queste due fasi è costituita da una serie di operazioni delle quali alcune vengono definite *attive*, in quanto sono fasi di lavorazione vere e proprie, mentre le altre vengono definite *passive*, in quanto sono fasi di posizionamento, di collaudo, ecc.

Vediamo ora il ciclo nel quale il semilavorato viene trasformato in prodotto finito indicando la sequenza ordinata delle lavorazioni

Fase 10	Prelievo materiale D8,5x18,5
Fase 20	Tornio
	20/1 Attestatura
	20/2 Centratura
	20/3 Sgrossatura D4,0x4,0
	20/4 Girare pezzo
	20/5 Centratura
	20/6 Tornitura cilindrica D8,1X15,5
	20/6 Sgrossatura D3,1x1,9
	20/7 Sgrossatura conica angolo 14°
Fase 30	Tornio
	30/1 Taglio a lunghezza finale (18cm)
	30/1 Finitura cilindrica Ø8
	30/2 Finitura conica angolo 14°
	30/3 Finitura Ø3x2
Fase 40	Collaudo

Ciclo di lavorazione ottimale: in genere per produrre un determinato oggetto è possibile utilizzare cicli di lavorazione diversi alla fine dei quali si ottiene lo stesso risultato; per stabilire quale di questi cicli è quello ottimale è necessario analizzare diversi parametri.

Vediamoli singolarmente:

- quantità di pezzi da produrre (serie): se il numero di pezzi da produrre è elevato è possibile adottare attrezzature particolari il cui costo non è conveniente per piccole serie
- tipo di materiale: se il materiale è comune è possibile trovare in commercio semilavorati adatti a ridurre il numero di lavorazioni necessarie per ottenere il prodotto finito
- costo unitario del materiale: se il materiale è costoso è necessario ridurre gli sfridi a costo di aumentare le lavorazioni; se il materiale è poco costoso può essere invece conveniente tollerare una maggior percentuale di scarti se questo permette di ridurre le lavorazioni
- mezzi tecnici disponibili: occorre verificare quali mezzi (macchinari e attrezzature) sono disponibili in azienda per effettuare le lavorazioni; nel caso di lavorazioni particolari in grande serie è possibile ipotizzare di acquistare o realizzare attrezzature specifiche (es. maschere di foratura).

Da quanto visto è possibile che per produrre un certo oggetto sia necessario scegliere tra diversi cicli di lavorazione; si definisce allora ciclo ottimale quello che, garantita la funzionalità del pezzo, risulta meno costoso.

Cartellino di lavorazione: per la stesura e l'archiviazione di un ciclo di lavoro si compila il cartellino di lavorazione che, in genere, è un modello di documento creato dall'azienda stessa in funzione di quello che produce. La compilazione del cartellino di lavorazione inizia con il prelievo del

materiale (fase 10) in cui vengono indicate le dimensioni del grezzo di partenza (materia prima o semilavorato).

A questa prima fase seguono le altre fasi che costituiscono il ciclo di lavorazione indicando per ognuna di esse il macchinario impiegato, i sistemi di ancoraggio ed il tempo stimato per la realizzazione del pezzo.

Sotto ad ogni fase sono riportate in sequenza le operazioni indicando nello schizzo come viene fissato il pezzo, le superfici da lavorare, gli utensili impiegati e gli strumenti di misura.

Fasi di collaudo: talvolta le fasi di lavorazione sono intervallate da fasi di collaudo (controllo intermedio) per verificare se il pezzo rispetta le specifiche e per evitare di sottoporlo a lavorazioni successive nel caso questa condizione non sia soddisfatta ed il pezzo risulti quindi irrecuperabile.

In genere le fasi di controllo vengono poste:

- prima di una fase di lavorazione particolarmente costosa (collaudo intermedio)
- prima di inviare i pezzi in un'azienda esterna per lavorazioni particolari e subito dopo il rientro da questa azienda (collaudo intermedio)
- alla fine del ciclo di lavorazione, prima di confezionamento, spedizione o montaggio (collaudo finale)

Studio dei tempi di lavorazione: questo studio ha l'obiettivo di stabilire la durata media di ogni operazione durante la lavorazione di un pezzo per programmare la produzione e determinare il costo dei prodotti.

Per calcolare il tempo T necessario per completare una fase di lavorazione si utilizza la seguente formula

$$T = t_m + t_a + \frac{t_{pm}}{N}$$

dove: t_m =tempo macchina; corrisponde alla durata di ogni lavorazione

t_a =tempi accessori: sono i tempi in cui non si ha avanzamento della produzione

t_{pm}/N =rapporto tra il tempo di preparazione macchina e il numero di pezzi prodotti

Il tempo macchina si ricava con la seguente espressione

$$t_m = \frac{C}{V_a}$$

dove: C è la corsa, ovvero lo spostamento che deve fare l'utensile o il pezzo, a seconda del tipo di macchina

V_a è la velocità di avanzamento

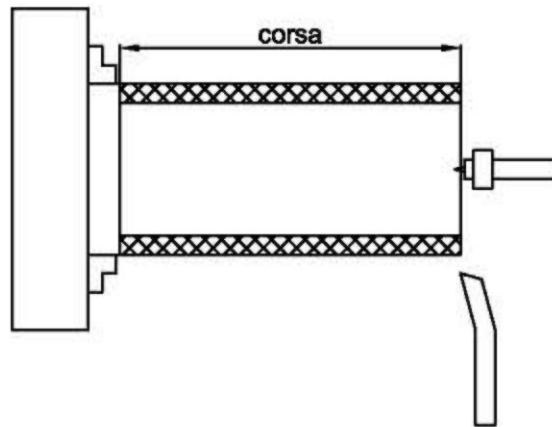
Poichè questi parametri sono entrambi misurabili in ogni lavorazione automatica, è possibile calcolare la somma di tutti i tempi macchina presenti all'interno di una fase.

I tempi accessori (t_a) dipendono dalle azioni compiute manualmente dall'operatore; per determinarli in genere viene fatta una stima o vengono usate delle tabelle

Il tempo di preparazione macchina (t_{pm}) viene anch'esso stabilito grazie ad una stima basata su misurazioni fatte in precedenza durante operazioni analoghe.

Vediamo ora alcuni esempi di calcolo dei tempi macchina sulle principali macchine utensili.

Tornitura: in questo caso la corsa C è la lunghezza del tratto da tornire in ogni singola operazione



mentre la velocità di avanzamento V_a è data dal prodotto

$$V_a = a \cdot n \quad [\text{mm/min}]$$

dove: a = avanzamento; è lo spostamento nella direzione dell'asse del pezzo che l'utensile compie durante una rotazione completa del pezzo [mm/giro]

n = velocità di rotazione del pezzo [giri/min]

I valori di a ed n vengono ricavati nel modo seguente:

- 1) determinare il tipo di tornitura (esterna, interna, ecc.), la profondità di passata (p) e il diametro esterno (d) del pezzo da lavorare
- 2) con i dati determinati al punto 1) e la *tabella degli avanzamenti*

Tornitura: valori indicativi per l'avanzamento (mm/giro)					
Lavorazione	Profondità di passata	Diametri			
		<30	30-100	100-300	>300
Tornitura esterna	>4	0,25	0,35	0,5	0,7
	0,5-4	0,2	0,3	0,4	0,6
	<0,5	0,1	0,15	0,2	0,25
Tornitura interna	>3	0,2	0,25	0,35	0,5
	0,5-3	0,15	0,25	0,35	0,4
	<0,5	0,05	0,1	0,2	0,2
Attestatura	>0,5	0,1	0,2	0,4	0,5
	<0,5	0,05	0,1	0,2	0,3
Taglio		0,03	0,05	0,08	0,1
Gole		0,03	0,05	0,08	0,1

determinare il valore dell'avanzamento (a)

3) calcolare la sezione del truciolo (q) moltiplicando la profondità di passata (p) per l'avanzamento (a)

4) a seconda del materiale da lavorare e della sezione del truciolo (q) con la *tabella delle velocità di tornitura* ricavare la velocità di taglio (V_t)

Tornitura: V_t indicativa per utensili in HSS (m/min)				
Materiale	Sezione del truciolo (mm²)			
	<0,2	0,2-1	1-3	3-6
Acciaio R<500	80	72	56	48
Acciaio 500<R<800	60	52	44	36
Acciaio R>800	48	44	40	32
Ghisa HB<150	64	52	40	32
Ghisa HB>150	48	40	30	26
Bronzo e ottone	160	120	88	60
Leghe Leggere	240	160	120	80
Legno	480	320	240	160

5) una volta ricavata la velocità di taglio V_t posso ricavare il numero di giri ottimale n con la formula

$$n = \frac{1000 V_t}{\pi d}$$

dove V_t =velocità di taglio [m/min]
d=diametro [mm]

6) infine se il tornio non è a velocità variabile impostare la velocità di rotazione disponibile immediatamente inferiore alla velocità calcolata al punto 5; tale velocità sarà quella da utilizzare nella formula

$$t_m = \frac{C}{V_a}$$

per calcolare il tempo macchina t_m durante l'operazione di tornitura

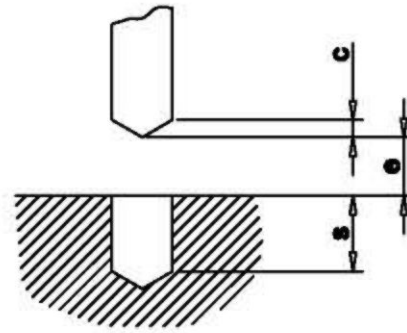
Foratura: anche in questo caso la formula da utilizzare per il calcolo del tempo macchina è

$$t_m = \frac{C}{V_a}$$

ed è valida indipendentemente dalla macchina utilizzata per realizzare la foratura (trapano, foratrice, tornio). La corsa da considerare è data dalla profondità del foro (s) sommata all'extracorsa (e) alla

parte iniziale della punta

$$C = s + e + c$$



dove $c \sim 0,3d$ per le punte con angolo al vertice di 120° .

Per calcolare la velocità di avanzamento si utilizza sempre la formula

$$V_a = a \cdot n$$

dove $a = \frac{d}{100}$ mentre n si ricava come nel caso della tornitura con la formula

$$n = \frac{1000 V_t}{\pi d}$$

dove V_t dipende dal materiale e si ricava dalla tabella seguente (valida per punte in HSS)

Foratura: V_t indicativa per utensili in HSS	
Materiale	V_t (in m/min)
Acciaio $R < 500 \text{ N/mm}^2$	30-40
Acciaio $500 \text{ N/mm}^2 < R < 800 \text{ N/mm}^2$	20-30
Acciaio $R > 800 \text{ N/mm}^2$	10-20
Ghisa $HB < 150$	20-30
Ghisa $HB > 150$	15-25
Bronzo e ottone	50-70
Leghe leggere	100-150
Legno	200-600

Fresatura: in questo paragrafo analizziamo una delle operazioni realizzabili con una fresatrice: la realizzazione di una scanalatura con fresa a candela.

Come nei casi analizzati in precedenza il tempo macchina è ricavabile con la formula

$$t_m = \frac{C}{V_a}$$

dove la corsa equivale al percorso che deve compiere l'utensile (moto relativo tra utensile e

materiale da lavorare) sommata all'eventuale extracorsa mentre la velocità di avanzamento si ottiene dalla formula

$$V_a = a \cdot n$$

dove

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d}$$

mentre V_t (velocità di taglio) ed a (avanzamento) si ottengono dalla seguente tabella:

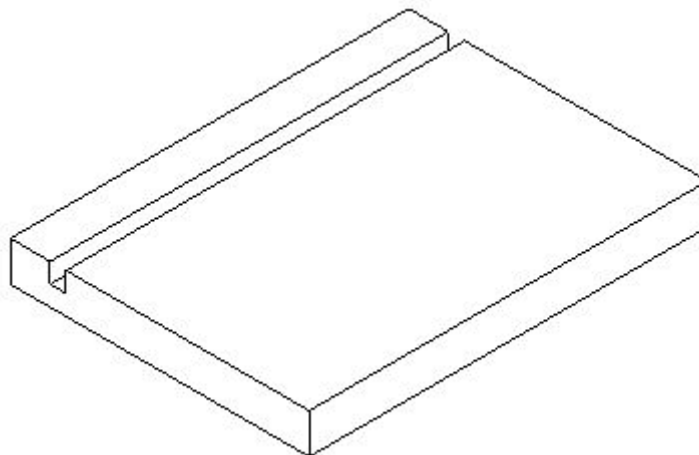
Fresatura con fresa a candela: V_t (m/min) e a_z (mm) indicative per utensili in HSS		
Materiale	Frese HSS	
	V_t	a_z
Acciaio $R < 500$	15-25	0,05-0,02
Acciaio $500 < R < 800$	12-20	0,03-0,01
Acciaio $R > 800$	10-14	0,02-0,01
Ghisa $HB < 150$	14-22	0,05-0,03
Ghisa $HB > 150$	10-16	0,04-0,02
Bronzo e ottone	20-50	0,1-0,05
Leghe Leggere	100-250	0,1-0,05
Legno	200-500	0,2-0,1

tenendo conto che

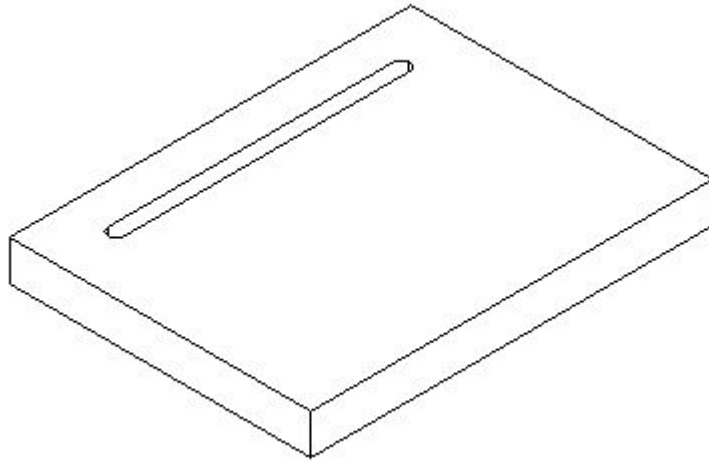
$$a = a_z \cdot z$$

dove z è il numero di denti della fresa..

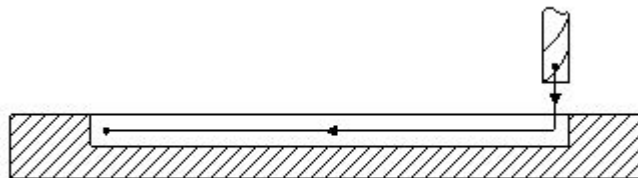
Quanto appena visto è valido nel caso la scanalatura sia presente sull'intero pannello come nella figura seguente



mentre nel caso la scanalatura sia solo su una parte di pannello con in questa seconda figura



occorre considerare l'intero percorso utensile calcolabile sommando il tempo macchina necessario all' entrata (foratura) dell'utensile nel pezzo al tempo macchina necessario ad effettuare la scanalatura facendo lavorare i taglienti laterali della fresa



Per effettuare questa lavorazione è necessario che la fresa sia dotata di taglienti frontali e laterali.

ESERCIZI

Esercizio 1: calcolare il tempo macchina durante un'operazione di tornitura nella quale il diametro iniziale di un pezzo da tornire esternamente è di 130mm, il diametro finale di 125mm e la corsa di 200mm; ipotizziamo inoltre che l'oggetto da tornire sia in alluminio e che la tornitura sia effettuata in un'unica passata (profondità di passata $p=2,5\text{mm}$).

Dalla tabella degli avanzamenti vediamo che per una tornitura esterna con profondità di passata compresa tra 0,5 e 4 mm ed un diametro esterno tra 100 e 300 mm l'avanzamento (a) ottimale è 0,4mm.

Moltiplico ora l'avanzamento a per la profondità di passata p ed ottengo la sezione del truciolo

$$q = a \cdot p = 0,4 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm}^2$$

che inserita nella tabella della velocità di taglio ci permette di ottenere la velocità di taglio V_t ottimale in funzione del materiale che stiamo lavorando; nel caso in esame la velocità di taglio ottimale sarà

$$V_t = 120 \text{ m/min}$$

Inserendo questo valore insieme a quello del diametro nella formula della velocità di rotazione si ottiene

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot 130} = 293 \text{ giri/min}$$

valore che deve essere approssimato con la velocità di rotazione immediatamente inferiore nel tornio che stiamo utilizzando.

Se ipotizziamo che il tornio utilizzato sia in grado di ruotare alle seguenti velocità:

$$120/240/480/960/1920/3840 \text{ giri/min}$$

dobbiamo porre $n=240$ giri/min.

Con un facile calcolo finale ricaviamo che il tempo macchina per la lavorazione indicata sarà

$$t_m = \frac{C}{V_a} = \frac{C}{a \cdot n} = \frac{200}{0,4 \cdot 240} = 2,08 \text{ min}$$

Esercizio 2: calcolare il tempo macchina t_m necessario ad effettuare, con una punta elicoidale in HSS avente un angolo al vertice di 120° , un foro cieco avente un diametro di 12mm ed una profondità di 60mm in un particolare in ottone (utilizzare una velocità di taglio $V_t=60 \text{ m/min}$ ed un'extracorsa $e=10\text{mm}$).

Calcolo la corsa totale

$$C = s + e + c = (60 + 10 + 0,3 \cdot 12) \text{ mm} = 73,6 \text{ mm}$$

Ricavo i valori dell'avanzamento a e della velocità di rotazione n necessari al calcolo di V_a (velocità di avanzamento)

$$a = \frac{d}{100} = \frac{12}{100} = 0,12 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 12} = 1592 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$$

$$V_a = a \cdot n = 0,12 \cdot 1592 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 191 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

calcolo infine il tempo macchina richiesto

$$t_m = \frac{C}{V_a} = \frac{73,6}{191} = 0,38 \text{ min}$$

Esercizio 3: calcolare il tempo macchina t_m necessario a realizzare un'operazione di attestatura in un tondo avente un diametro di 120mm ipotizzando che l'operazione sia realizzabile in una sola passata con una profondità $p=1\text{mm}$. Il materiale da lavorare è bronzo, l' utensile in HSS ed il tornio dotato di variazione continua della velocità fino ad una v_{\max} di 3000 giri/min.

Dalla tabella degli avanzamenti vedo che per una operazione di attestatura con $p > 0,5\text{mm}$ e $d=120\text{mm}$ l'avanzamento ottimale ha un valore $a=0,4 \text{ mm/giro}$.

Moltiplicando la profondità di passata p per l'avanzamento a ottengo la sezione del truciolo q

$$q = p \cdot a = 1 \text{ mm} \cdot 0,4 \text{ mm/giro} = 0,4 \text{ mm}^2$$

dalla tabella delle velocità di tornitura per $q=0,4 \text{ mm}^2$ e per materiale = bronzo ottengo un valore di $V_t=120\text{m/min}$; inserendo tale valore nella formula seguente ricavo

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot 120} = 318 \text{ giri/min}$$

Dal prodotto dell'avanzamento a per il numero di giri n ottengo la velocità di avanzamento V_a

$$V_a = a \cdot n = 0,4 \cdot 318 = 127 \text{ mm/min}$$

infine dividendo la corsa C per la velocità di avanzamento V_a ottengo il tempo macchina

$$t_m = \frac{C}{V_a} = \frac{60 \text{ mm}}{127 \text{ mm/min}} = 0,47 \text{ min}$$

N.B. Notare che il valore C della corsa in un'attestatura equivale alla metà del diametro.

Esercizio 4: calcolare il tempo macchina necessario a realizzare un foro cieco avente diametro $d=10\text{mm}$ e profondità $s=40\text{mm}$ in una lastra di lega leggera. Utilizzare un valore di $V_t=100\text{m/min}$, una punta elicoidale in HSS con angolo al vertice di 120° ed un'extracorsa $e=10\text{mm}$.

La formula per il calcolo del tempo macchina è

$$t_m = \frac{C}{V_a}$$

dove $C=s+e+c=(40+10+0,3 \cdot 10)\text{mm}=53\text{mm}$; calcolo ora $V_a=a \cdot n$ dove

$$a = \frac{d}{100} = \frac{10}{100} = 0,1 \frac{\text{mm}}{\text{giro}}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 10} = 3183,09 \text{ giri/min}$$

e quindi

$$V_a = a \cdot n = 0,1 \text{ mm/giro} \cdot 3183,09 \text{ giri/min} = 318,309 \text{ mm/min}$$

calcolo infine il tempo macchina richiesto

$$t_m = \frac{C}{V_a} = \frac{53\text{mm}}{318,309 \text{ mm/min}} = 0,166 \text{ min}$$