

I CICLI DI LAVORAZIONE

Giusti Santochi *TECNOLOGIA MECCANICA e studi di fabbricazione*

Capitolo 9 da pag. 495 a pag. 540.



IL CICLO DI LAVORAZIONE Generalità

Si dice **CICLO DI LAVORAZIONE** tutto l'insieme di operazioni necessarie a fabbricare un singolo elemento attraverso una successione di processi tecnologici (fusione, stampaggio, lavorazioni per asportazione di truciolo, trattamenti termici o superficiali, etc.)

Cosa si intende per **PIANIFICAZIONE** del ciclo di lavorazione? Funzione che stabilisce un insieme ordinato di operazioni che permettono a un pezzo greggio o semi-lavorato di raggiungere, attraverso passi successivi, la forma finale.



IL CICLO DI LAVORAZIONE I passi principali

1. **Analisi critica** del disegno di progetto.
2. Scelta dei processi di lavorazione e della sequenza di **fasi**.
3. Raggruppamento delle operazioni in **sottofasi**.
4. Scelta della sequenza delle **operazioni**.
5. Scelta degli **utensili**
6. Scelta dei **parametri di taglio**.
7. Scelta o progettazione delle **attrezzature**.
8. Scelta degli **strumenti e procedure di controllo**
9. Calcolo **dei tempi e dei costi** di fabbricazione
10. Stesura dei **fogli di lavorazione** e del part program per M.U. CNC



IL CICLO DI LAVORAZIONE Definizioni

FASE: insieme ordinato di operazioni realizzate presso un medesimo posto di lavoro con o senza lo smontaggio e riposizionamento del pezzo.

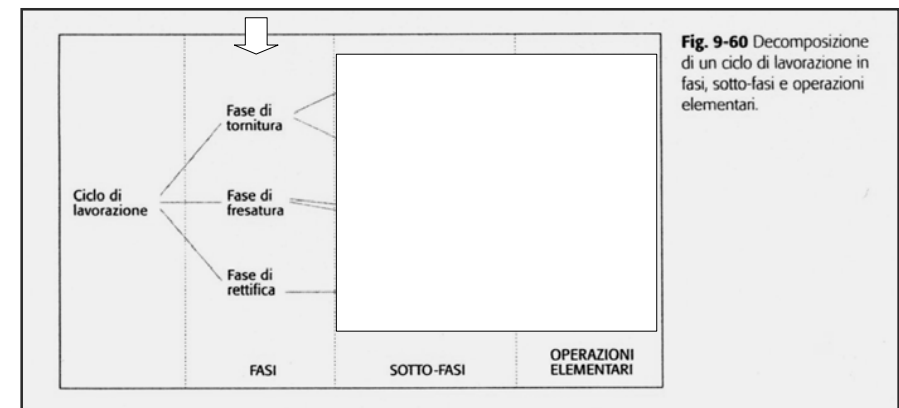


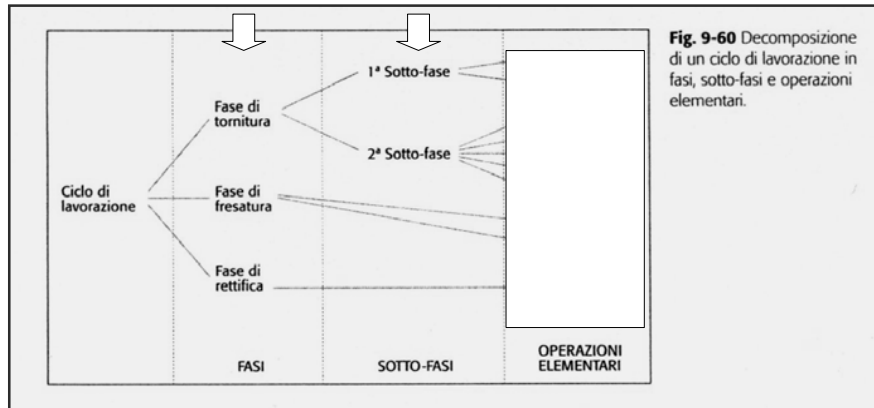
Fig. 9-60 Decomposizione di un ciclo di lavorazione in fasi, sotto-fasi e operazioni elementari.



IL CICLO DI LAVORAZIONE

Definizioni

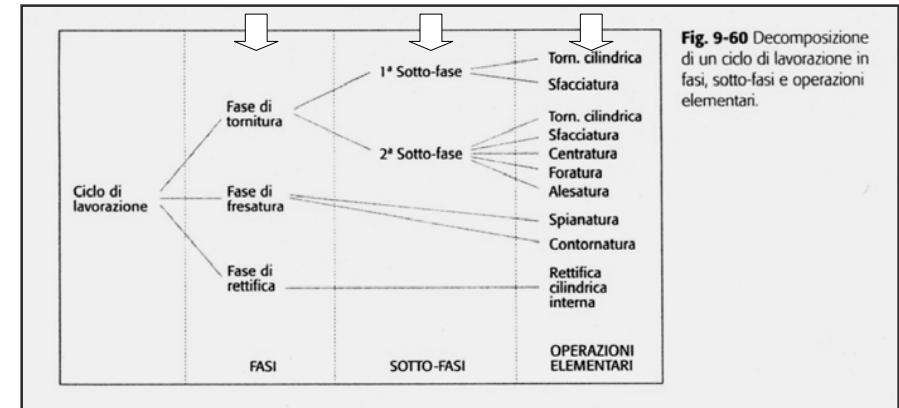
SOTTO-FASE: insieme ordinato di operazioni realizzate presso il medesimo posto di lavoro e **con un medesimo posizionamento** del pezzo.



IL CICLO DI LAVORAZIONE

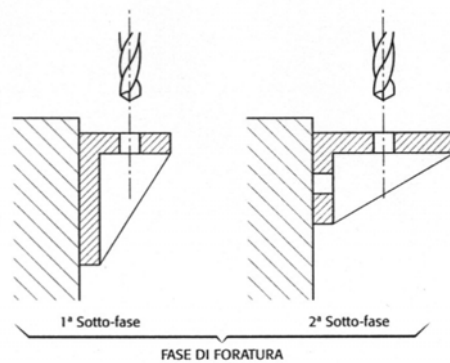
Definizioni

OPERAZIONE ELEMENTARE: lavorazione di una superficie elementare realizzata con un unico utensile.



IL CICLO DI LAVORAZIONE

Esempio



IL CICLO DI LAVORAZIONE

Le informazioni di partenza

- **Dimensioni del pezzo.**
Dimensioni delle macchine utensili e delle attrezzature da impiegare.
- **Tolleranze dimensionali e geometriche.**
Influenzano la scelta delle macchine, dei processi tecnologici da utilizzare, degli utensili e il posizionamento del pezzo.
- **Qualità superficiale**
Scelta del processo di taglio e di tutti i parametri associati.
- **Trattamenti termici**
E' richiesto che essi occupino una opportuna posizione tra le varie fasi i lavorazione.
- **Materiale.**
Il valore degli angoli caratteristici, il materiale dell'utensile, i parametri di taglio, i dispositivi di bloccaggio.



IL CICLO DI LAVORAZIONE

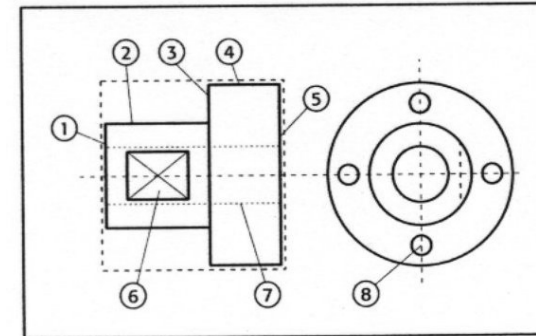
Le informazioni di partenza

- **Tipo di greggio.**
Operazioni preliminari, superfici iniziali di riferimento e bloccaggio, quantità di sovrametallo da asportare.
- **Quantità di pezzi da produrre.**
Pochi esemplari o quantità rilevanti.
- **Regime di produzione**
Il regime di produzione è legato agli obiettivi aziendali. Si parla di regime economico quando l'obiettivo è il minimo costo di produzione, di regime produttivo quando l'obiettivo è il minimo tempo di produzione, eventuali altri regimi sono legati a funzioni obiettivo differenti (esempio tasso di profitto).
- **Disponibilità di mezzi e di macchine.**
La pianificazione del ciclo deve sfruttare al meglio la disponibilità delle risorse (es: possibilità di ulteriori acquisti).
- **Ubicazione del macchinario, professionalità del personale e automazione del parco macchine.**

IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta dei processi e della sequenza delle fasi

Primo passo: individuare le superfici che devono essere lavorate e, in base alla loro forma, posizione, precisione dimensionale e finitura superficiale, **ipotizzare i possibili processi** di lavorazione da usare.



IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta dei processi e della sequenza delle fasi

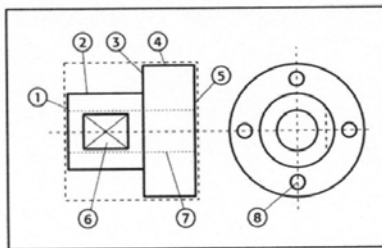


Fig. 9-61 Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

n. sup.	tipologia	processi possibili
2, 4	cilindriche esterne coassiali	tornitura
1, 3, 5	piane ortogonali all'asse delle 2, 4	tornitura, fresatura
7	cilindrica interna coassiale alle 2, 4	foratura
8	cilindrica interna	foratura
6	piana	fresatura

IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta dei processi e della sequenza delle fasi

Secondo passo: si **raggruppano le superfici** secondo il principio di poter lavorare il maggior numero di superfici con il medesimo processo (stessa fase) e possibilmente con lo stesso piazzamento.

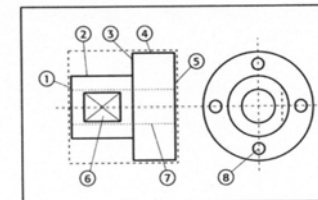


Fig. 9-61 Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

n. sup.	processo
1, 2, 3, 4, 5	tornitura
7, 8	foratura
6	fresatura

Esistono fori realizzabili su tornio?
Si: foratura della superficie 7.

IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta dei processi e della sequenza delle fasi

Terzo passo:

Individuate le fasi è necessario sequenziarle rispettando i vincoli di precedenza tra di esse.

ESEMPIO.

La fresatura della sup. 6 e la foratura dei fori 8 devono essere eseguite dopo la fase di tornitura, per motivi di riferimento rispetto all'asse del pezzo materializzato dalla 2 o dalla 4.

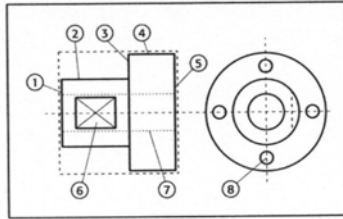


Fig. 9-61 Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta dei processi e della sequenza delle fasi

Quarto passo: cicli alternativi.

Ciclo A		
fase	operazioni	macchina
10	Tornitura 1, 2, 3, 4, 5 Foratura 7	Tornio parallelo
20	Fresatura 6	Fresatrice
30	Tracciatura 8	Banco di tracciatura
40	Foratura 8	Trapano

Ciclo impostato su macchine a basso grado di automazione e operazioni manuali.

↑ tempi di produzione
costo mano d'opera

↓ basso costo ammortamento

Adatto per numero di pezzi limitato

Ciclo B		
fase	operazioni	macchina
10	Tornitura 1, 2, 3, 4, 5 Foratura 7,8 Fresatura 6	Centro di tornitura con utensili motorizzati in torretta

Ciclo impostato su macchine ad elevato grado di automazione.

↓ tempi di produzione
costo mano d'opera

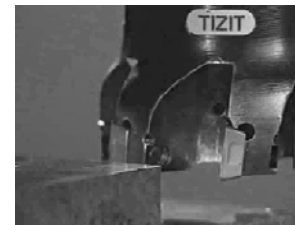
↑ costo ammortamento

Adatto per numero di pezzi elevato

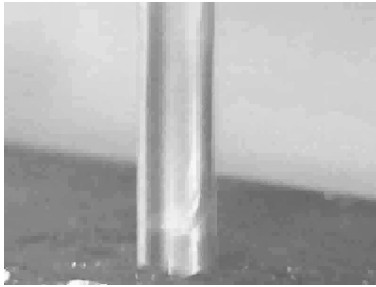
Fase di lavorazione: TORNITURA



Operazione elementare: esempi



Operazione elementare: FORATURA



Operazione elementare: MASCHIATURA



IL CICLO DI LAVORAZIONE Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

E' possibile raggruppare tutte le lavorazioni da effettuare in un'unica sottofase?

SI

In modo equivalente si può dire che tutte le operazioni sono effettuate con lo stesso piazzamento. Soluzione preferibile da un punto di vista di **tempo** e **precisione**. La variazione di posizione richiede un certo tempo e il ri-posizionamento aumenta il rischio di errori.

NO

Le operazioni sono raggruppate in due o più sottofasi. Se possibile le superfici legate da tolleranze geometriche devono essere lavorate nella stessa sottofase.



IL CICLO DI LAVORAZIONE Raggruppamento delle operazioni in sottofasi

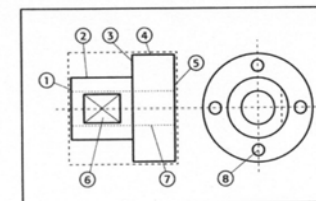


Fig. 9-61 Esempio di pezzo e denominazione delle superfici lavorate.

FASE 10 – **Op. Tornitura 1, 2, 3, 4, 5**
Foratura 7

Sotto fase a) Tornitura 4, 5
Foratura 7

Sotto fase b) Tornitura 1, 2, 3



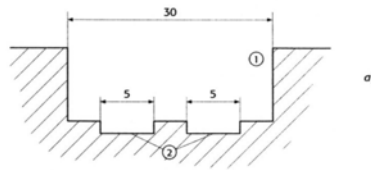
IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta della sequenza di operazioni

Esistono relazioni di precedenza tra un'operazione e l'altra?

Esigenze economiche

La cava passante (1) viene effettuata con una fresa cilindrica frontale da 30 mm, mentre le due cave (2) sono realizzate con una fresa cilindrica frontale da 5 mm. Da un punto di vista economico è conveniente prima la lavorazione della cava (1) e successivamente le cave (2). Procedendo in senso opposto la fresa da 5 mm dovrebbe lavorare in più passate o in un'unica passata ma con un minor avanzamento.

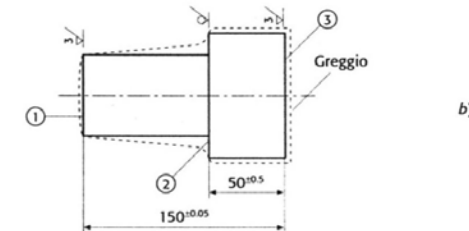


IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta della sequenza di operazioni

Esigenze dimensionali

La superficie (2) deve rimanere grezza al contrario delle (1) e (3) che devono essere lavorate. La sequenza corretta è (3) e poi (1). In caso contrario, un errore di lavorazione sulla superficie (1) potrebbe non permettere una corretta esecuzione della (3), nel rispetto anche della tolleranza più ristretta, dato che non si deve lavorare la (2).

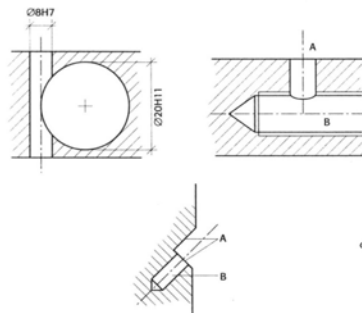


IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta della sequenza di operazioni

Esigenze tecnologiche

Nel caso di fori di diverso diametro e precisione che si intersecano, è preferibile eseguire prima il foro di minor diametro e maggiore precisione; in caso contrario, a causa della presenza della discontinuità, la precisione del foro a minor diametro non sarebbe garantita.



IL CICLO DI LAVORAZIONE

Scelta degli utensili

Obiettivo: scegliere gli utensili più adatti per garantire **la qualità e l'economicità** della produzione. Nel caso di utensili con inserto:

Materiale inserto

Forma e dimensioni inserto

Angoli caratteristici

Raggio di raccordo tra i taglienti

Geometria e dimensioni del stelo o corpo utensile



IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta dei parametri di taglio

Obiettivo: ottimizzazione economica del processo di taglio.

- **Velocità di taglio.**
- **Avanzamento**
- **Profondità di passata**



IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta delle attrezzature

Obiettivo: **referire** il pezzo nello spazio di lavoro della macchina e **bloccarlo** in posizione stabile e senza deformazioni.

Scelta basata su **analisi delle superfici del pezzo**, delle **lavorazioni** da effettuare in ogni fase e sotto-fase, della **precisione dimensionale** e delle **tolleranze**.

Principio di progettazione: posizionamento isostatico. Ogni corpo nello spazio - spazio di lavoro della macchina XYZ - ha 6 gradi di libertà; il principio consiste nell'eliminare i 6 gradi di libertà con il **minimo numero indispensabile** di punti di contatto tra pezzo e attrezzatura.

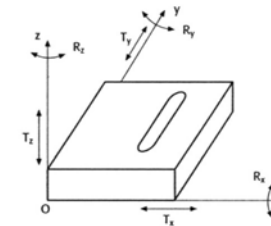
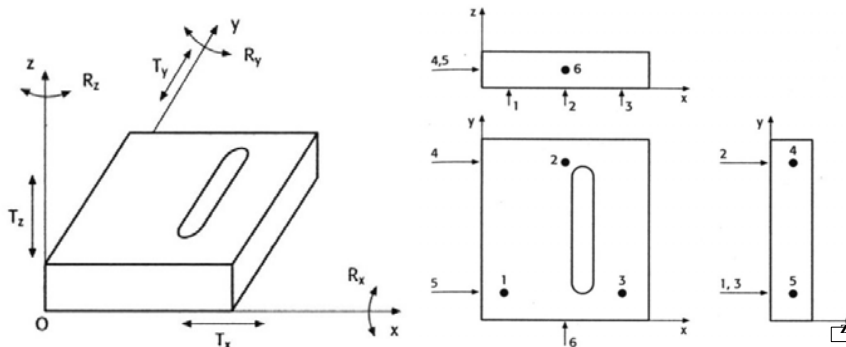


Fig. 9-65 Gradi di libertà di un corpo nello spazio. T_x, T_y, T_z : traslazioni. R_x, R_y, R_z : rotazioni.



IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta delle attrezzature



IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta delle attrezzature: definizioni

Superfici di riferimento

SR Superfici del pezzo dove sono localizzati i 6 punti, che entrano a contatto con gli elementi dell'attrezzatura. Per quanto possibile devono coincidere con i riferimenti di quotatura.

Superfici di partenza

SP Superfici del greggio di partenza che svolgono la funzione di superfici di riferimento (in genere durante la prima sotto-fase).

Superfici di appoggio

SA Superfici attraverso le quali si scaricano le sollecitazioni generate dalle forze di taglio.

Superfici di bloccaggio

SB Superfici sulle quali agiscono i dispositivi di bloccaggio dell'attrezzatura.



IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta delle attrezzature

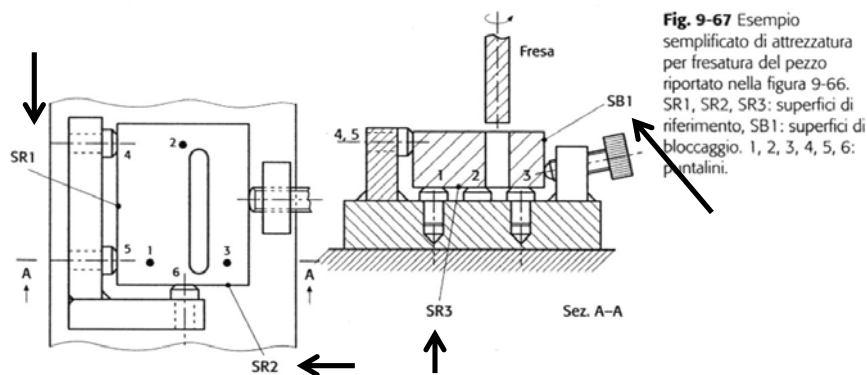


Fig. 9-67 Esempio semplificato di attrezzatura per fresatura del pezzo riportato nella figura 9-66. SR1, SR2, SR3: superfici di riferimento, SB1: superfici di bloccaggio. 1, 2, 3, 4, 5, 6: puntalini.

IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta delle attrezzature

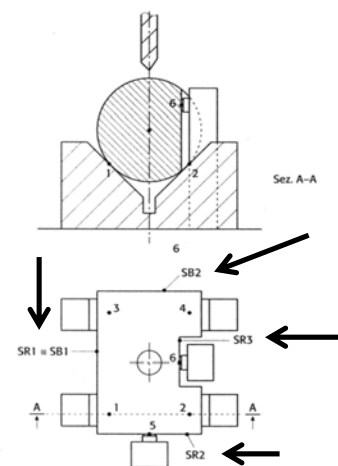


Fig. 9-68 Esempio semplificato di attrezzatura per l'esecuzione di un foro. SR1, SR2, SR3: superfici di riferimento, SB1, SB2: superfici di bloccaggio (i dispositivi di bloccaggio sono stati omessi).

IL CICLO DI LAVORAZIONE Scelta delle attrezzature

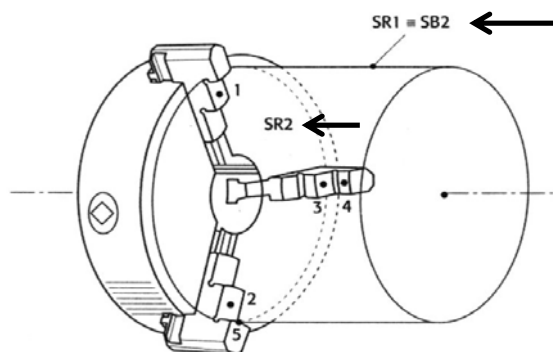
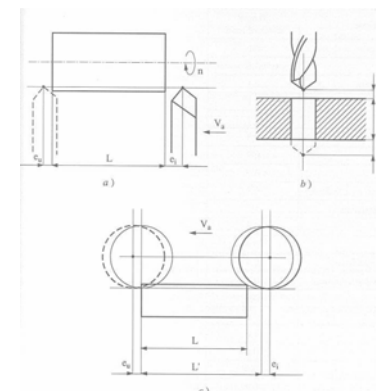


Fig. 9-69 Montaggio di un pezzo cilindrico su piattaforma autocentrante. SR1, SR2: superfici di riferimento; SB1: superficie di bloccaggio.

Calcolo dei tempi di lavorazione e dei costi di produzione

- ♦ **Tempi attivi:** si hanno quando avviene il movimento relativo fra utensile e pezzo con asportazione di truciolo
- ♦ **Tempi passivi:** si hanno quando non avviene la lavorazione
- ♦ **Tempi di preparazione:** sono quei tempi necessari alla preparazione della macchina utensile, al prelievo dal magazzino di utensili e strumenti di controllo e alla interpretazione del foglio di ciclo da parte dell'operatore.



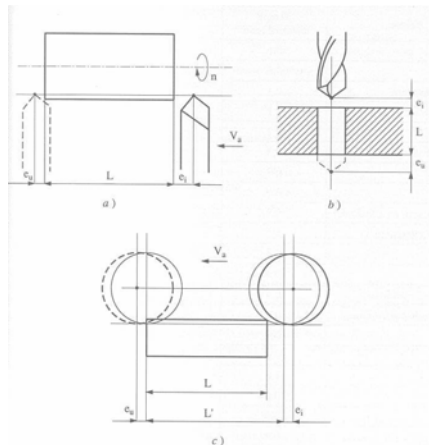
Calcolo dei tempi di lavorazione e dei costi di produzione

Per tornitura e foratura il tempo attivo è:

$$t = \frac{L+e}{a \cdot n} \text{ (min)}$$

Per fresatura il tempo attivo è:

$$t = \frac{L'+e}{V_a} \text{ (min)}$$



33

Produzione Assistita dal Calcolatore

Calcolo dei tempi di lavorazione e dei costi di produzione

♦ Il calcolo dei tempi passivi può essere ricavato con:

1. Rilevamento diretto
2. Metodo M.T.M

Si scinde l'intera attività in una sequenza di azioni elementari definite nelle tabelle dei tempi standard e a queste si assegna il tempo previsto.

34

Produzione Assistita dal Calcolatore

Calcolo dei tempi di lavorazione e dei costi di produzione

Es. Metodo M.T.M.:
Tempi di preparazione
macchina in tornitura

Auxiliari - Attrezzi	Azione	Tempo standard (min)
Piattaforma autocentrante	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare apertura	0,1
Piattaforma a 4 morsetti indipendenti	Montare	2,1
	Smontare	2,1
	Regolare 1 morsetto	0,3
Piattaforma a «plateau»	Montare	0,9
	Smontare	0,9
	Montare 1 staffa + 1 bullone	0,9
	Montare contrappeso	1,1
Menabrida	Montare	0,4
	Smontare	0,4
Contropunta-Punta	Montare nel mandrino	0,5
	Montare sulla controtesta	0,4
Lunetta fissa	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare	1,2
Lunetta mobile	Montare	0,6
	Smontare	0,6
	Regolare	0,9

35

Produzione Assistita dal Calcolatore

I fogli di lavorazione

Tutte le informazioni necessarie alla corretta esecuzione delle lavorazioni sono riportate su appositi stampati.

Fig. 9-79 Esempio di foglio di colla

UNIV. DEGLI STUDI DI PISA		Ciclo di lavorazione elemento (MATR. N° ...)		RIFERIMENTI		Compi.		Data	
				* Dis. N°		Controlli		Foglio	
				** Criterio base N°		Visto			
				* Materiale N°					
DESIGNAZIONE SUPERFICIE	FASE	NUMERO	DESCRIZIONE	SCHIZZO DI LAVORAZIONE	COMP. TEMPI	Superficie di riferimento da prendere in considerazione		NOTE	
Disegno del pezzo con evidenziate le superfici da lavorare e le SR e SP.	Designazione delle fasi, sotto-fasi e delle singole operazioni.			Schizzo relativo a ciascuna fase di lavorazione con indicazione delle superfici lavorate.			Tempi di lavorazione.		SR

36

Produzione Assistita dal Calcolatore

I fogli di lavorazione

Esempio di foglio di fase.

Fig. 9-80 Esempio di foglio di fase.

UNIV. DEGLI STUDI DI PISA		Fasi di lavorazione elemento (MATR. N° ...)		RIFERIMENTI		Compil.		Data		Foglio		
				1 Dis. N. 0.1.1.1 111 Distinta base N. 1 Maticola N.		Controlli: Visto				1 di 2		
Materiale	Stato	Caratteristiche	Dimensioni	Utensili	Attrezzatura	Controllo	TAGLIO				NOTE	
							T1	T2	T3	T4		
SCHIZZO DI LAVORAZIONE	SP	OPERAZIONI										
Schizzo di lavorazione con evidenziato superficie lavorata, utensile impiegato e posizione reciproca.		Indicazione degli utensili impiegati per ciascuna operazione elementare.		Dati di taglio: potenza massima, potenza assorbita, rendimento, velocità di taglio, velocità di rotazione mandrino, profondità di passata, numero di passate, avanzamento.								

I fogli di lavorazione: esempio

Fig. 9-81a foglio di ciclo dell'elemento "Scatola di regolazione" (Fig. 2-8)

UNIV. DEGLI STUDI DI PISA		Ciclo di lavorazione elemento (MATR. N° ...)		RIFERIMENTI		Compil.		Data		Foglio	
		SCATOLA DI REGOLAZIONE		1 Dis. N. 0.1.1.1 111 Distinta base N. 1 Maticola N.		Controlli: Visto				1 di 2	
DESIGNAZIONE SUPERFICI	FASI	SCHIZZO DI LAVORAZIONE	ATTREZZATURA	COMP. TEMPI		Superficie di riferimento (di provenienza di partenza)	NOTE				
				tempo per pezzo	tempo per pezzo						
18: SBARATURA	18: SBARATURA	18: SBARATURA	18: SBARATURA	22'	22'	SP3	NOTA 1: SUPERFICIE DI PARTENZA: SP3: SUP. ①				
19: SBARATURA	19: SBARATURA	19: SBARATURA	19: SBARATURA	18,8'	18,8'	SP4	SUPERFICIE DI RIFERIMENTO: SR1: SUP. ② SR2: SUP. ③ SR3: SUP. ④ SR4: SUP. ⑤				
20: SBARATURA	20: SBARATURA	20: SBARATURA	20: SBARATURA	20'	20'	SR5					
30: SBARATURA	30: SBARATURA	30: SBARATURA	30: SBARATURA	20'	20'	SR6					

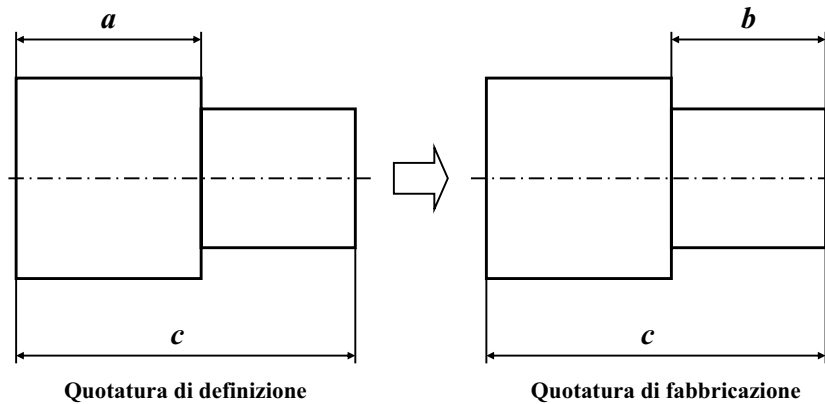
I fogli di lavorazione: esempio

Fig. 9-82a foglio di fase dell'elemento "Scatola di regolazione" (Fig. 2-8)

UNIV. DEGLI STUDI DI PISA		Fasi di lavorazione elemento (MATR. N° ...)		RIFERIMENTI		Compil.		Data		Foglio		
		SCATOLA DI REGOLAZIONE		1 Dis. N. 0.1.1.1 111 Distinta base N. 1 Maticola N.		Controlli: Visto				1 di 4		
Materiale	Stato	Caratteristiche	Dimensioni	Utensili	Attrezzatura	Controllo	TAGLIO				NOTE	
							T1	T2	T3	T4		
C20 UNI 5007	GETTO	Rim = 200 N/mm ²		Platofornia autocentrante con morsetti duri	Calibro a conico		1	0,8	75	360		
							2	0,8	1,25	2	0,7	
							3	0,8	1,25	2	0,7	
							4	0,8	1,25	2	0,7	
							5	0,8	1,25	2	0,7	
							6	0,8	1,25	2	0,7	
C20 UNI 5007	GETTO	Rim = 200 N/mm ²		Platofornia autocentrante con morsetti duri	Calibro a conico		1	0,8	96	360		
							2	0,8	1,5	2	0,7	
							3	0,8	1,25	2	0,7	
							4	0,8	1,25	2	0,7	
							5	0,8	1,25	2	0,7	
							6	0,8	1,25	2	0,7	
C20 UNI 5007	GETTO	Rim = 200 N/mm ²		Platofornia autocentrante con morsetti duri	Calibro a conico		1	0,52	190	1320		
							2	0,8	0,5	4	0,2	
							3	0,58	212	1090		
							4	0,8	0,5	1	0,2	
							5	0,25	179	1500		
							6	0,8	0,25	1	0,2	

Lo studio delle tolleranze nella fabbricazione

Il trasferimento di quota genera una tolleranza più stretta



Il trasferimento di quota genera una tolleranza più stretta

Condizioni limite sulla quota a :

$$a_{\max} = c_{\max} - b_{\min}$$

$$a_{\min} = c_{\min} - b_{\max}$$

poichè:

$$t_a = t_c + t_b$$

si ha:

$$t_b = t_a - t_c$$

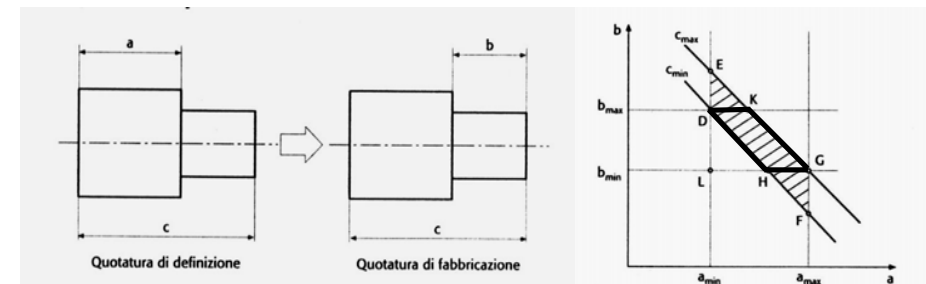
CONSEGUENZE

$t_a > t_c$: trasferimento quota possibile ma con incremento dei costi di produzione

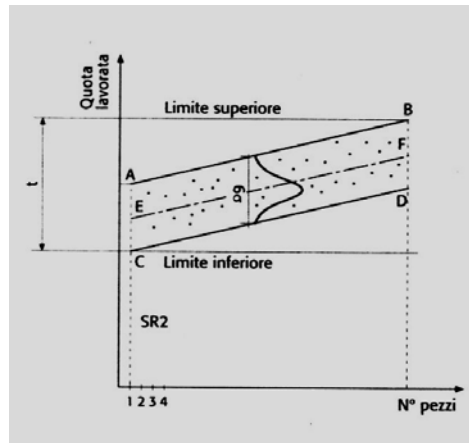
$t_a = t_c$: trasferimento quota al limite della possibilità (tolleranza su b nulla)

$t_a < t_c$: trasferimento quota impossibile (tolleranza su b negativa)

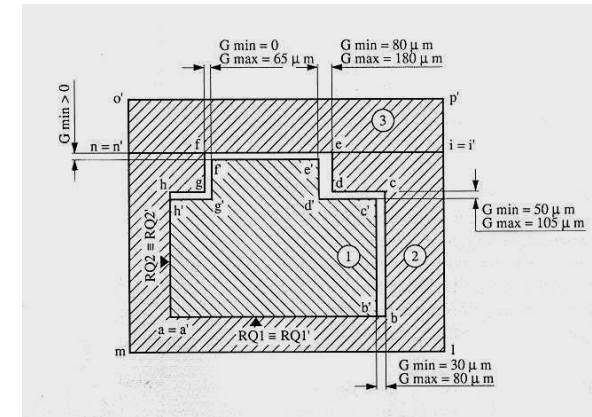
Aumento dei pezzi scartati perché non conformi (quota b fuori tolleranza) anche se conformi alle specifiche funzionali (quote a e c in tolleranza)



Dispersione accidentale e dispersione sistematica di una quota lavorata

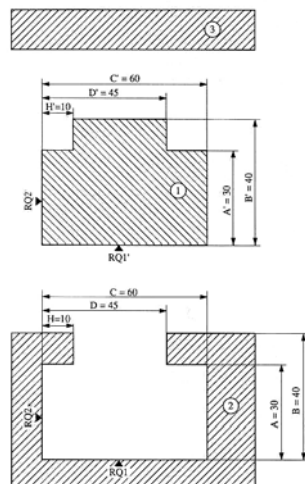


Accoppiamento prismatico a T



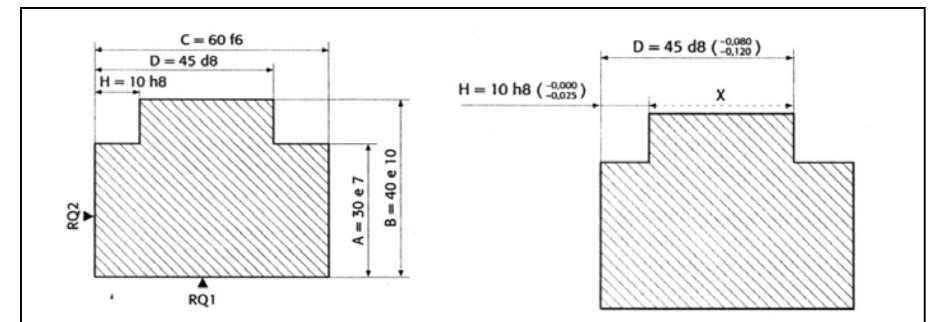
Obiettivo dimensionamento funzionale che rispetti i valori di Gmin e Gmax riportati in figura.

Accoppiamento prismatico a T

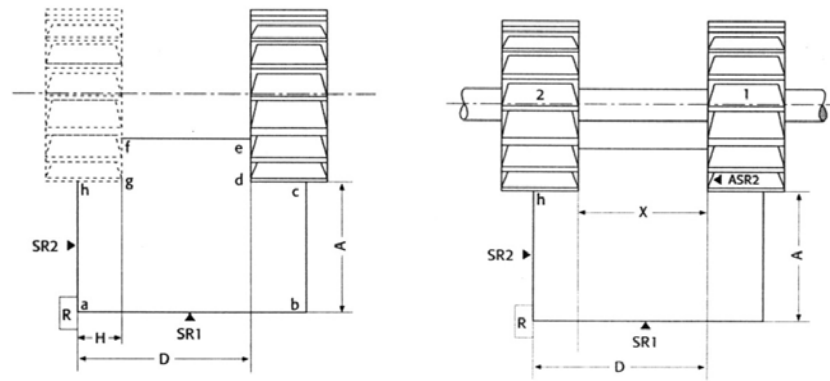


Il problema è relativo alla determinazione delle tolleranze da assegnare alle quote in base alle esigenze di funzionalità sopra descritte.

Quotatura di fabbricazione trasferimento di quote



Quotatura di fabbricazione trasferimento di quote



Quotatura di fabbricazione trasferimento di quote

Condizione limite della quota trasferita X:

$$D'_{\max} = H'_{\max} + X'_{\max}$$

$$D'_{\min} = H'_{\min} + X'_{\min}$$

$$X'_{\max} = D'_{\max} - H'_{\max}$$

$$X'_{\min} = D'_{\min} - H'_{\min}$$

$$tx' = t_{D'} - t_{H'} = 40 - 25 = \underline{15 \mu\text{m}}$$

Una quota di fabbricazione deve essere verificata
utilizzando gli stessi riferimenti in corrispondenza della
lavorazione effettuata dai taglienti dell'utensile

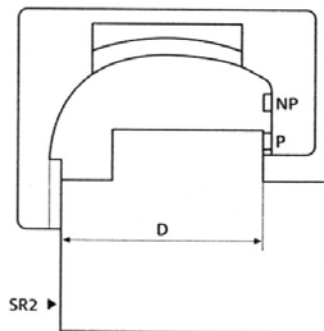


Fig. 9-85 Verifica della
quota lavorata D con calibro
fisso passa-non-passa.