

## Report Esercitazione 4 - Group6 Fake-Ing - TAM

Marco Giancarli, Julien Schluchter, John Constantin, Marco Casalbore Sessione 2023/2024

## 1 Introduzione

Questo report si occupa della problematica del dimensionamento di un sistema di Flexible Manufacturing dedicato alla manifattura dei componenti evidenziati nella figura 1 (5 pezzi). La richiesta di mercato per ciascun componente è riportata nella tabella sottostante:

Componente	Domanda
A	80
В	110
С	200
D	60
Е	135

Table 1: Tabella delle domande di mercato.



Figure 1: Pezzi di forgiatura da fabbricare.

Nell'elenco seguente sono dettagliate le diverse macchine ed operazioni, con i relativi tempi di processamento, necessarie al processo di fabbricazione (si noti che il numero assegnato nell'elenco è il Machine ID che viene utilizzato successivamente):

- 1. CNC Center, t = 70 min
- 2. CNC Lathe, t = 45 min
- 3. FORMAX PLUS cold former, t = 35 min
- 4. FORMAX 2000 cold former, t = 30 min
- 5. Sand blasting, t = 15 min
- 6. Dimensional control, t = 15 min
- 7. Manual deburring, t = 10 min
- 8. Packaging, t = 10 min
- 9. Automatic deburring, t = 5 min
- 10. Boxing, t = 5 min

Infine, si include la matrice di routing per ciascun singolo pezzo:

- A: FORMAX PLUS  $\rightarrow$  Automatic deburring  $\rightarrow$  CNC Lathe  $\rightarrow$  Dimensional control  $\rightarrow$  Boxing
- B: FORMAX PLUS  $\rightarrow$  Manual deburring  $\rightarrow$  Boxing
- C: FORMAX 2000  $\rightarrow$  Automatic deburring  $\rightarrow$  CNC Lathe  $\rightarrow$  Dimensional control  $\rightarrow$  Boxing
- **D**: FORMAX PLUS  $\rightarrow$  Manual deburring  $\rightarrow$  Sand blasting  $\rightarrow$  CNC Center  $\rightarrow$  Packaging
- E: FORMAX 2000  $\rightarrow$  Manual deburring  $\rightarrow$  Sand blasting  $\rightarrow$  Boxing

## 2 Applicazione dell'Algoritmo di King

Per analizzare e determinare le dimensioni e la forma dei cluster delle macchine, si adotta il ben noto algoritmo di King. Durante questa fase, verranno esplorate le diverse opzioni offerte dai risultati di tale algoritmo, valutando le possibilità di duplicazione delle risorse macchinari o la condivisione della stessa cella.

### 2.1 Step 1

			Part	t ID			Ordinamento *
		A	В	С	D	Е	
		$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^{0}$	
	1				1		$2^1 = 2 \to 9$
	2	1		1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 3$
	3	1	1		1		$2^4 + 2^3 + 2^1 = 26 \to 2$
	4			1		1	$2^2 + 2^0 = 5 \to 7$
ine	5				1	1	$2^1 + 2^0 = 3 \to 8$
Machine	6	1		1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 4$
Πa	7		1		1	1	$2^3 + 2^1 + 2^0 = 11 \to 6$
~	8				1		$2^1 = 2 \to 10$
	9	1		1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 5$
	10	1	1	1		1	$2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^0 = 29 \to 1$

## 2.2 Step 2

				Par	rt ID		
			A	В	С	D	Е
	10	$2^{9}$	1	1	1		1
	3	$2^{8}$	1	1		1	
	2	$2^{7}$	1		1		
8	6	$2^{6}$	1		1		
ine	9	$2^{5}$	1		1		
ch	7	$2^{4}$		1		1	1
Machine	4	$2^3$			1		1
	5	$2^2$				1	1
	1	$2^1$				1	
	8	$2^{0}$				1	
			$\sum = 992$	$\sum = 784$	$\sum = 744$	$\sum = 279$	$\sum = 340$
Ordine			1	2	3	5	4

#### 2.3 Step 3

			Part	t ID			Ordinamento *
		A	В	С	Е	D	
		$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^{0}$	
	10	1	1	1	1		$2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 = 30 \to 1$
	3	1	1			1	$2^4 + 2^3 + 2^0 = 25 \to 2$
	2	1		1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 3$
	6	1		1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 4$
ine	9	1		1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 5$
Machine	7		1		1	1	$2^3 + 2^1 + 2^0 = 11 \to 6$
Πa	4			1	1		$2^2 + 2^1 = 5 \to 7$
	5				1	1	$2^1 + 2^0 = 3 \to 8$
	1					1	$2^0 = 1 \to 9$
	8					1	$2^0 = 1 \to 10$

#### 2.4 Step 4

Sono osservabili due cluster possibili riportati in blu ed in marrone:

			Par	t ID			Ordinamento *
		A	В	С	E	D	
		$2^4$	$2^3$	$2^{2}$	$2^1$	$2^{0}$	
	10	1/1	1/1	1/1	1		$2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 = 30 \to 1$
	3	1/1	1/1			1	$2^4 + 2^3 + 2^0 = 25 \to 2$
	2	1/1		1/1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 3$
	6	1/1		1/1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 4$
ine	9	1/1		1/1			$2^4 + 2^2 = 20 \to 5$
Machine	7		1/1		1	1	$2^3 + 2^1 + 2^0 = 11 \to 6$
Ma	4			1/1	1		$2^2 + 2^1 = 5 \to 7$
	5				1/1	1	$2^1 + 2^0 = 3 \to 8$
	1					1/1	$2^0 = 1 \to 9$
	8					1/1	$2^0 = 1 \to 10$

Come si può osservare dalla tabella l'algoritmo ha individuato due cluster di lavoro distinti (colorati in verde ed in marrone).

A fronte dei risultati ottenuti la decisione più saggia in ottica di una maggior efficienza dell'impianto ed un quanto più ridotto tempo di produzione, è quella di duplicare i macchinari più comunemente utilizzati piuttosto che condividerli tra diverse celle andando così a creare dei colli di bottiglia gravosi e dei ritardi di scheduling non trascurabili.

A questo punto, nel caso di una strategia di colore verde, si procederebbe con la duplicazione dei macchinari 10, 3, 7 e 4. D'altra parte, nel caso della strategia marrone, ci si concentrerebbe sulla duplicazione dei macchinari 3, 5 e 7. La decisione tra queste due opzioni dovrebbe essere ponderata in base ai costi associati alla duplicazione dei singoli macchinari e alla loro esposizione allo stress lavorativo.

## 3 Applicazione del Metodo di Hollier

Sulla base dei risultati precedentemente presentati, si è deciso di procedere con la duplicazione dei macchinari 10, 3, 7 e 4 e dunque con la creazione di due celle una dedicata ai prodotti A, B e C ed una dedicata ai prodotti D ed E, motivati dalle considerazioni sotto riportate.

I componenti coinvolti in questa catena produttiva, A, B e C, mostrano notevole similarità tra di loro, così come la coppia D ed E risulta essere quasi identica. Inoltre, questa configurazione evita una concentrazione eccessiva di macchine nella stessa cella di produzione. Infine, la creazione di una linea dedicata al prodotto D sarebbe stata sconsigliabile dal punto di vista dell'ottimizzazione logistica e degli spazi, considerando anche che la macchina FORMAX 2000, pur servendo solo due prodotti, presenta tempi di lavorazione significativamente diversi, con uno impiegando circa 17 minuti e l'altro intorno ai 20.7 minuti. L'effetto combinato di tali fattori avrebbe avuto un impatto significativo, peggiorando la situazione complessiva della catena di produzione.

Di seguito si procede all'identificazione dei layout delle singole celle:

# Cella 1 (ABC)

		↓to (Machine ID)								
	$\mathbf{A}$	10	10 3 2 6 9							
	10									
п	3					80				
from	2				80					
$\rightarrow$	6	80								
	9			80						

		↓to							
	$\mathbf{C}$	10	2	6	9	4			
	10								
la	2			200					
from	6	200							
$\rightarrow$	9		200						
	4				200				

		↓to					
	В	10	3	7			
п	10						
from	3			110			
$\rightarrow$	7	110					

Totale	10	3	2	6	9	7	4	$\oplus$
10								0
3					80	110		190
2				280				280
6	280							280
9			280					280
7	110							110
4					200			200
$\oplus$	390	0	280	280	280	110	0	

$$\implies$$
 Sequenza : 3 - 4 - 7 - 2 - 6 - 9 - 10

5

# Cella 2 (DE)

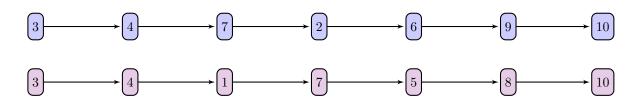
		↓to	↓to (Machine ID)							
	${f E}$	10	7	4	5					
	10									
from	7				135					
_ffr	4		135							
	5	135								

			↓to							
	D	3	7	5	1	8				
	3		60							
l a l	7			60						
	5				60					
-	1					60				
	8									

Totale	10	3	7	4	5	1	8	$\oplus$
10								0
3			60					60
7					195			195
4			135					135
5	135					60		195
1							60	60
8								0
$\oplus$	135	0	135	0	135	60	60	

$$\implies$$
 Sequenza : 3 - 4 - 1 - 7 - 5 - 8 - 10

Sulla base dei risultati ottenuti attraverso il metodo di Hollier, viene confermata l'implementazione di due celle di lavoro separate e indipendenti che operano in modo parallelo. Il layout delle celle è uniforme e, per ragioni di semplicità, è configurato in modo lineare, seguendo un flusso monodirezionale. È importante sottolineare che, dato l'assenza di informazioni riguardo alla gestione dei pezzi difettosi o non conformi, si presume che vengano ignorati e scartati, senza essere riportati indietro alla stazione per ulteriore lavorazione.



Part j	$Mix P_j$	Op.k	Destination	Station	Servers	Time $T_{ijk}$
	0.21	3	FORMAX PLUS		1	35
		9	Auto deburring		1	5
A		2	CNC Lathe		1	45
		6	Dimensional control		1	15
		10	Boxing		1	5
	0.28	3	FORMAX PLUS		1	35
В		7	Manual deburring		1	10
		10	Boxing		1	5
	0.51	4	FORMAX 2000		1	30
		9	Auto deburring		1	5
C		2	CNC Lathe		1	45
		6	Dimensional control		1	15
		10	Boxing		1	5
	3		FORMAX PLUS		1	35
	0.31	7	Manual deburring		1	10
D		5	Sand blasting		1	15
		1	CNC Center		1	70
		8	Packaging		1	10
	0.69	4	FORMAX 2000		1	30
E		7	Manual deburring		1	10
Ľ		5	Sand blasting		1	15
		10	Boxing		1	5

per quanto riguarda le  $\mathbf{P}_j$ i calcoli sono stati effettuati come segue:

• 
$$P_{(A)} = \frac{80}{80 + 110 + 200} = 0.21$$

• 
$$P_{(B)} = \frac{110}{110 + 80 + 200} = 0.28$$

$$P_{(C)} = \frac{200}{200 + 80 + 110} = 0.51$$

$$P_{(D)} = \frac{60}{60 + 135} = 0.31$$

• 
$$P_{(E)} = \frac{135}{135+60} = 0.69$$

## 4 Applicazione del metodo del collo di bottiglia esteso

Infine viene applicato il metodo esteso del collo di bottiglia alle due diverse celle (in blu e viola, come riportato sopra), ottenendo i risultati desiderati in termini di Mean-Lead-Time, tasso di produzione e tempi di attesa in coda in funzione del numero di pezzi circolanti nel sistema.

### 4.1 Cella 1 (blu) - Prodotti A,B,C

Applicando la formula per il WorkLoad of a station (carico di lavoro di una stazione) dove i indica la stazione i-esima, j la parte j-esima e k l'operazione k-esima

$$WL_i = \sum_{j} \sum_{k} t_{ijk} \cdot f_{ijk} \cdot p_j \tag{1}$$

e considerando una operation frequency  $f_{ijk} = 1$  in questo caso, si ottiene:

- 
$$WL_3 = 35 \cdot 0.21 + 35 \cdot 0.28 = 17.15 \text{ min}$$

- 
$$WL_9 = 5 \cdot 0.21 + 5 \cdot 0.51 = 3.6 \text{ min}$$

- 
$$WL_2 = 45 \cdot 0.21 + 45 \cdot 0.51 = 32.4 \text{ min} \Longrightarrow \textbf{Bottleneck}$$

- 
$$WL_6 = 15 \cdot 0.21 + 15 \cdot 0.51 = 22.86 \text{ min}$$

- 
$$WL_{10} = 5 \cdot 0.21 + 5 \cdot 0.28 + 5 \cdot 0.51 = 5 \text{ min}$$

- 
$$WL_7 = 10 \cdot 0.28 = 2.8 \text{ min}$$

- 
$$WL_4 = 30 \cdot 0.58 = 17.4 \text{ min}$$

La stazione che causa il collo di bottiglia nella cella 1 della catena di produzione è quella dedicata al macchinario CNC Lathe.

In merito a quanto ottenuto si potrebbe sicuramente pensare di aumentare il numero di server della stazione 6 risultando tra le più lente ma al contempo più economiche dell'intera catena di produzione: difatti, trattandosi di una stazione adibita al controllo dimensionale, basterebbe assumere anche solo un operatore aggiuntivo per andare a ridurre notevolmente il tempo di svolgimento di tale operazione (non sono previsti costi onerosi per l'acquisto di macchinari particolari).

Per quanto riguarda il tasso di produzione critico R\* si ha:

$$R^* = \frac{1}{32.4} = 0.031 \text{pz/min} \simeq 1.85 \text{pz/ora}$$
 (2)

ed il tempo MLT<sub>1</sub>:

$$MLT_1 = \sum_{i=1}^{7} WL_i = 101.56 \tag{3}$$

dalla cui combinazione si può ricavare il numero critico di pezzi presenti nel sistema N\*:

$$N^* = R^* \cdot MLT_1 = 3.15 \tag{4}$$

N	Tasso di produzione $R_p$	MLT	Tempo di attesa in coda $T_w$
2	$R_p = \frac{N}{MLT_1} = \frac{2}{101.56} \simeq 0.02 \text{ pz/min}$		$T_w = 0$
3	$R_p = \frac{N}{MLT_1} = \frac{3}{101.56} \simeq 0.04 \text{ pz/min}$	$MLT_1 = 101.56$	$T_w = 0$
4	$R_p = R_p^* = 0.031 \text{ pz/min}$	$MLT_2 = \frac{4}{0.031} = 129$	$T_w = 129-101.56 = 27.44 \text{ min}$

## 4.2 Cella 2 (viola) - Prodotti D,E

Di seguito si seguono gli stessi ragionamenti del caso precedente aggiornati con i dati della cella 2 dedicata ai prodotti D ed E:

- 
$$WL_3 = 35 \cdot 0.31 = 10.85 \text{ min}$$

- 
$$WL_7 = 10 \cdot 0.31 + 10 \cdot 0.69 = 10 \text{ min}$$

- 
$$WL_5 = 15 \cdot 0.31 + 15 \cdot 0.69 = 15 \text{ min}$$

- 
$$WL_1 = 70 \cdot 0.31 = 21.7 \text{ min} \Longrightarrow \textbf{Bottleneck}$$

- 
$$WL_8 = 10 \cdot 0.31 = 3.1 \text{ min}$$

- 
$$WL_4 = 30 \cdot 0.69 = 20.7 \text{ min}$$

- 
$$WL_{10} = 5 \cdot 0.69 = 3.45 \text{ min}$$

La stazione che causa il collo di bottiglia nella cella 2 della catena di produzione è quella dedicata al macchinario CNC Center.

$$R^* = \frac{1}{21.7} = 0.046 \text{pz/min} \simeq 2.76 \text{pz/ora}$$
 (5)

$$MLT_1 = \sum_{i=1}^{7} WL_i = 84.8 \tag{6}$$

$$N^* = R^* \cdot MLT_1 = 3.9 \tag{7}$$

	Ν	Tasso di produzione $R_p$	MLT	Tempo di attesa in coda $T_w$
ſ	2	$R_p = \frac{N}{MLT_1} = \frac{2}{84.8} \simeq 0.024 \text{ pz/min}$	$MLT_1 = 84.8$	$T_w = 0$
	3	$R_p = \frac{N}{MLT_1} = \frac{3}{84.8} \simeq 0.045 \text{ pz/min}$	$MLT_1 = 84.8$	$T_w = 0$
ĺ	4	$R_p = R_p^* = 0.046 \text{ pz/min}$		$T_w = 89.96-84.8 = 2.16 \text{ min}$