

### Esercizio 1

Si consideri il processo operativo qui di seguito riportato, composto da:

- 7 lavorazioni
- 3 ispezioni o controlli

Il livello di produzione richiesto è:  $Q_{TOTs} = 200.000$  pezzi/anno

Determinare le quantità orarie da immettere nelle stazioni 4 e 1

### Esercizio 2

Si considerino: prodotti (i) = 6 macchine (j) = 1

Prodotto (i)	Produzione richiesta [pezzi/anno] $Q_{i1}$	Reale capacità produttiva della macchina [pezzi/ora] $\frac{1}{T_{i1}} = \frac{\eta}{T_{i1}}$	Turni di lavoro [ore/mese] $N_{i1}$
1	72.000	120	150
2	108.000	150	150
3	180.000	100	150
4	24.000	100	150
5	96.000	120	150
6	48.000	80	150

Quante macchine sono necessarie nella stazione per completare le operazioni su tutti i prodotti?

Qual è il coefficiente di utilizzazione della stazione?

### Esercizio 3

Considerando i seguenti dati si tracci la *curva caratteristica di prodotto* U:

Stazione operativa (j)	Tipo di apparecchiatura	Valore economico [€]	Tempo di ciclo $t_j$ [min]
1	tornio automatico	35.000	1,02
2	rettifica superficiale	32.000	0,45
3	trapano	3.000	0,4
4	rettifica senza centri	21.000	0,923
5	pulitrice	1.350	0,923

6	rettifica senza centri	32.000	1,5
7	pulitrice	1.350	0,75

Inoltre, si valuti il numero di macchine necessario a produrre 140 pezzi/ora e il relativo coefficiente di utilizzazione della linea.

### **Svolgimento 1**

Il livello di produzione richiesto è:

$$Q_{TOTs} = 200.000 \text{ pezzi/anno}$$

Quindi, considerando circa

$$1 \text{ anno} = 2.000 \text{ ore}$$

Produzione oraria in uscita dalla stazione 3:

$$Q_U = \frac{Q_{TOTs}}{2000} = 100 \text{ pezzi/ora}$$

Utilizzando la generica

$$Q = \frac{Q_U}{1-p}$$

Si ha:

$$Q_7 = \frac{Q_U}{1-p_3} = \frac{100}{1-0,04} = 105 \text{ pezzi/ora} \quad (\text{arrotondato all'intero superiore})$$

$$Q_3 = \frac{Q_6}{1-p_1} = \frac{105}{1-0,03} = 109 \text{ pezzi/ora} \quad (\text{arrotondato all'intero superiore})$$

$$Q_5 = \frac{Q_6}{1-p_2} = \frac{105}{1-0,02} = 108 \text{ pezzi/ora} \quad (\text{arrotondato all'intero superiore})$$

Quindi, risalendo a ritroso dalla fine della linea, si ottiene che per avere in uscita  $Q_U = 100$  pezzi/ora devono essere messi in lavorazione 108 e 109 pezzi/ora all'ingresso dei rami 1 e 4 della linea.

## Svolgimento 2

Avendo definito:

$$M'_{ij} = \frac{Q_{ij}}{r_{ij} \cdot N_{ij}} = \frac{\frac{\text{pezzi}}{\text{mese}}}{\frac{\text{pezzi}}{\text{ore}} \cdot \frac{\text{ore}}{\text{mese}}}$$

$$Q_j = \sum_{i=1}^M Q_{ij}$$

Si può valutare per il primo prodotto:

$$M'_{11} = \frac{Q_{11}}{r_{11} \cdot N_{11}} = \frac{72.000}{120 \cdot 150 \cdot 12} = 0,333$$

ed estendere il ragionamento a tutti e 6 i prodotti, sommando i risultati ottenuti (la tipologia di macchina e la relativa operazione è unica)

Prodotto (i)	Produzione richiesta [pezzi/anno] $Q_{i1}$	Reale capacità produttiva della macchina [pezzi/ora] $\frac{1}{T_{i1}} = \frac{n}{T'_{i1}}$	Turni di lavoro [ore/mese] $N_{i1}$	N° macchine per il prodotto (i) $M'_{ij}$
1	72.000	120	150	$M'_{11}=0,333$
2	108.000	150	150	$M'_{21}=0,400$
3	180.000	100	150	$M'_{31}=1,000$
4	24.000	100	150	$M'_{41}=0,133$
5	96.000	120	150	$M'_{51}=0,444$
6	48.000	80	150	$M'_{61}=0,333$
	$Q = 528.000$			$M'_1=2,643$

Quindi occorrono  $M_1 = 3$  macchine (arrotondato all'intero superiore), con coefficiente di utilizzazione:

$$u_1 = \frac{M'_1}{M_1} = \frac{2,643}{3} = 88,1\%$$

### Svolgimento 3

Si calcolano i volumi di produzione del prodotto in esame quando la stazione operativa j-esima è satura, utilizzando la  $q_{js} = \frac{60M_j}{t_j}$  con  $M_j =$  numero di macchine uguali nella stazione (60 è il fattore di conversione tra ore e minuti)

	$M_j = 1$	$M_j = 2$	$M_j = 3$	
$q_{1s}$	59	118	177	pezzi/ora
$q_{2s}$	133	266	399	"
$q_{3s}$	150	300	450	"
$q_{4s}$	65	130	195	"
$q_{5s}$	65	130	195	"
$q_{6s}$	40	80	120	"

$q_{7s}$	80	160	240	"
----------	----	-----	-----	---

Considerando la stazione operativa 6, ( $q_{6s} = 40$  pezzi/ora), essa sarà composta da una sola macchina in caso si preveda di produrre fino a 40 pezzi/ora, da due macchine fino a 80 pezzi/ora e così via. Il relativo coefficiente di utilizzazione della singola stazione operativa, in funzione della quantità da produrre, sarà quindi ricavato come:

$$u_6 = \frac{M'_6}{M_6}$$

dove:

$$M'_6 = \frac{Q}{q_{6s}}$$

$M_6 = M'_6$  arrotondato all'intero superiore, Q = quantità da produrre

Volendo illustrare su un grafico l'andamento del coefficiente di utilizzazione della stazione 6, si identifica una linea spezzata in corrispondenza dei multipli della sua quantità di saturazione: l'andamento di  $u_j$  è infatti lineare e raggiunge il 100% fino alla saturazione delle macchine coinvolte; una volta inserita una nuova macchina il coefficiente scende bruscamente in quanto lo stesso carico di lavoro si ripartisce su più macchine.

Evidenziando i valori in tabella:

Valori di saturazione della macchina 6 ( $q_{6s} = 40$ )	$M_6$	$u_6$
40	1	100%

40	2	50%
80	2	100%
80	3	66,7%
120	3	100%
120	4	75%
160	4	100%
160	5	80%
200	5	100%
200	6	83,3%

Lo stesso discorso può essere ripetuto per qualsiasi stazione, dove in corrispondenza dei multipli dei rispettivi valori di saturazione si troveranno gli stessi valori del coefficiente di utilizzazione.

Ricordando che il tasso di utilizzazione medio della linea non è altro che la media pesata dei tassi di utilizzazione delle singole stazioni con peso il numero delle macchine in esse contenute:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^N u_j M_j}{\sum_{j=1}^N M_j} = \frac{\sum_{j=1}^N Q_{\text{com}j} \frac{t_j}{60M_j} M_j}{\sum_{j=1}^N M_j}$$

ovvero, per quanto riguarda il tasso di utilizzazione medio del capitale:

$$U_C = \frac{\sum_{j=1}^N u_j C_j}{\sum_{j=1}^N C_j}$$

Si ricava, in corrispondenza dei vari punti di saturazione delle differenti stazioni:

Valori della capacità produttiva per i quali bisogna aggiungere macchine [pezzi/ora]	U %	U <sub>c</sub> %
40 (=q <sub>6s</sub> )	56,8	64,1
	49,7	51,4
59 (=q <sub>1s</sub> )	73,1	75,6
	65	61,7
65 (=q <sub>4s</sub> =q <sub>5s</sub> )	71,8	68,2
	58,8	59,3
80 (=q <sub>6s</sub> =q <sub>7s</sub> )	72,3	66,4
	61,2	57,4
118 (=q <sub>1s</sub> )	90	94
	83,6	84,7
120 (=q <sub>6s</sub> )	85,2	86,4
	79,6	80,1
130 (=q <sub>4s</sub> =q <sub>5s</sub> )	86,2	86,7
	76	80,1
133 (=q <sub>2s</sub> )	77,8	81,6
	73,5	68,9
150 (=q <sub>3s</sub> )	82,9	78,9
	78,5	77,7

Tracciando la curva caratteristica da zero, al crescere di Q si conferma l'andamento lineare di U fino a 40 pezzi/ora. Per questo valore si satura la stazione 6, per la quale si aggiunge una seconda macchina, verificando l'atteso calo di U. Continuando di nuovo linearmente, per Q = 59 pezzi/ora si satura anche la stazione 1, per cui si aggiunge a questa una seconda macchina; nuovamente cala il coefficiente di utilizzazione U, e così via al crescere di Q e per tutti i multipli di tutti i valori di saturazione delle stazioni, come indicato in figura.

Stazione operativa	Tipo di apparecchiatura			
1	tornio automatico	+1		+2
2	rettifica superficiale			+1
3	trapano			+1
4	rettifica senza centri	+1		+2
5	pulitrice	+1		+2
6	rettifica senza centri	+1	+2	+3
7	pulitrice		+1	

Come si utilizza il diagramma della curva caratteristica? Ipotizziamo che, per studi di previsione della domanda, la capacità produttiva prevista (in un anno standard di vita dell'impianto) sia  $Q = 100 \div 140$  pezzi/ora. In questo range, individuo il massimo livello di utilizzazione dell'impianto – anche dal punto di vista economico – per  $Q = 118$  con la configurazione in tabella, bilanciando l'eventuale mancata produzione rispetto al massimo di 140 (il numero di macchine previsto non può produrre più di 118 pezzi/ora in quanto la stazione 1 è satura) con un efficiente utilizzo delle risorse:

Stazione operativa	Tipo di apparecchiatura	Numero di macchine
1	tornio automatico	2
2	rettifica superficiale	1
3	trapano	1
4	rettifica senza centri	2
5	pulitrice	2
6	rettifica senza centri	3
7	pulitrice	2

Necessariamente, per uno studio più accurato, deve essere effettuata una completa analisi costi-benefici per valutare l'impatto della mancata produzione rispetto al migliore utilizzo delle



risorse.

In caso si voglia determinare il numero di macchine necessario alla produzione di 140 pezzi/ora, si può procedere come in tabella:

Stazione operativa	Tipo di apparecchiatura	$q_{tot}$ (pezzi/ora)	$q_s$ (pezzi/ora)	$M'_j = q_{tot} / q_{sj}$	$M_j$	$u_j = M' / M$
j=1	tornio automatico	140	59	2,37	3	79,10%
j=2	rettifica superficiale	140	133	1,05	2	52,63%
j=3	trapano	140	150	0,93	1	93,33%
j=4	rettifica senza centri	140	65	2,15	3	71,79%
j=5	pulitrice	140	65	2,15	3	71,79%
j=6	rettifica senza centri	140	40	3,50	4	87,50%
j=7	pulitrice	140	80	1,75	2	87,50%

Per il calcolo del coefficiente di utilizzazione della linea si può quindi applicare la media pesata tra i coefficienti di utilizzazione delle singole macchine con peso il numero stesso di macchine dello stesso tipo:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^N u_j M_j}{\sum_{j=1}^N M_j} = 77\%$$