

Dimensionamento di un sistema di produzione

Il numero delle macchine che vengono utilizzate in una specifica configurazione di un sistema di produzione, non ci dice solo **l'ammontare della spesa** e dello **spazio effettivo richiesto**, ma decide anche la **capacità produttiva del sistema**; di conseguenza la prima cosa da fare in questa fase è **stabilire la capacità produttiva** del sistema con un dato numero di macchine.

L'obiettivo del dimensionamento è quello di **trovare il numero di macchine**

La capacità produttiva

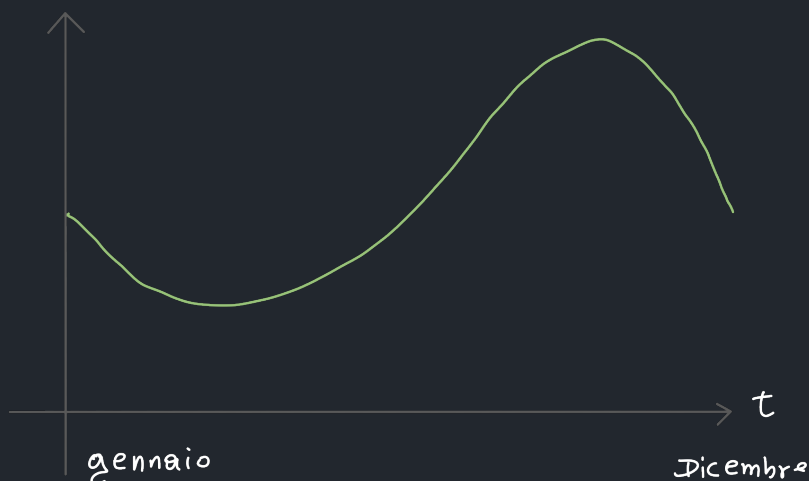
Sappiamo che la capacità produttiva ^{Sia} la **quantità massima di prodotto** realizzabile in un **intervallo di tempo specifico**.

La capacità produttiva produttiva (in generale) può essere suddivisa in due sottocategorie:

Capacità produttiva necessaria

Questa capacità **non è costante**: varia in funzione del tempo ed è **stagionale**.

q/t

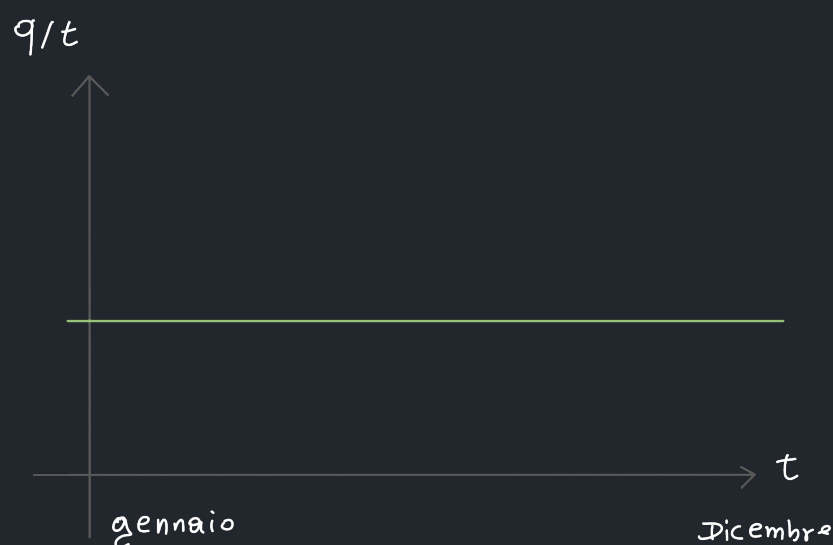


Un esempio sono tutte quelle aziende che basano la loro produzione sui dolci natalizi: questi avranno delle vendite molto alte durante i mesi natalizi per poi scendere negli altri.

Capacità produttiva disponibile

La capacità produttiva che abbiamo a disposizione è **costante**: quando compriamo un macchinario ed installiamo una linea di produzione, quel macchinario ha una sua specifica capacità di produzione che è sempre la stessa.

Un esempio può essere un'automobile: la potenza dell'automobile è sempre la stessa, siamo noi a decidere a che potenza usarla; allo stesso modo utilizzare un macchinario di produzione molto "potente", ma producendo poco rispetto alla sua capacità, stiamo **sprecando** potenzialità.



Conciliare Capacità produttiva necessaria e disponibile

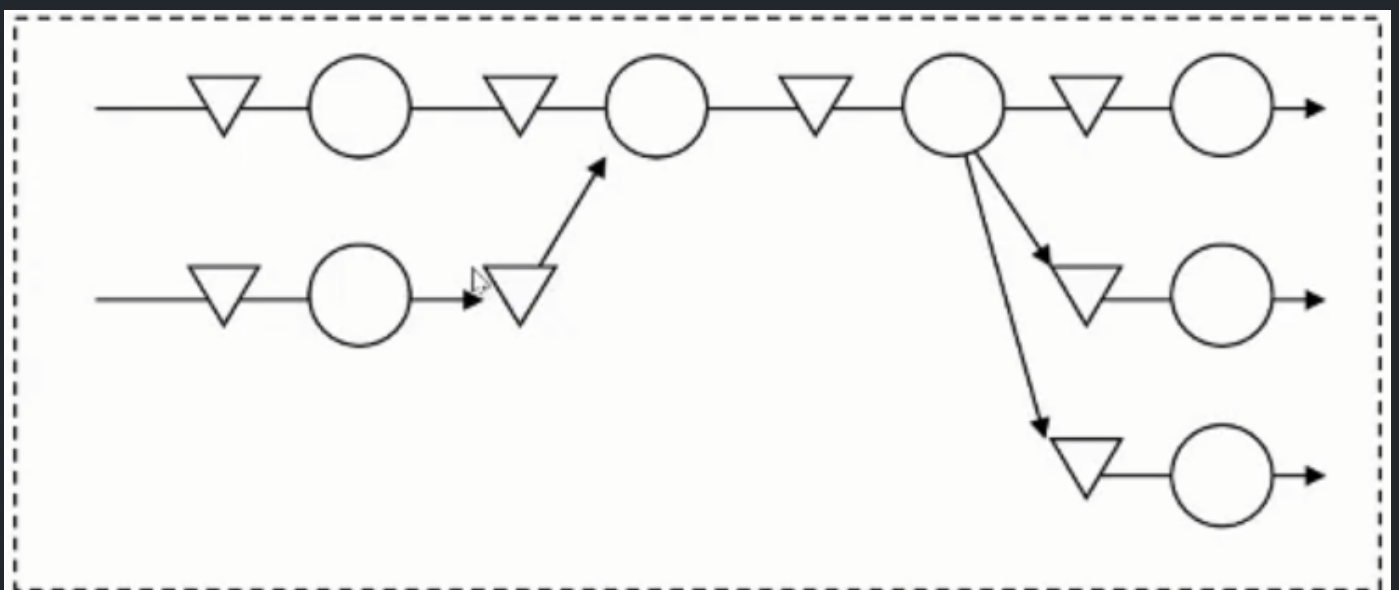
Cerchiamo ora di capire quando la capacità produttiva necessaria è *maggiore*, *minore* o *uguale* a quella disponibile; dobbiamo definire **in che periodo** si verifica la domanda:

- **Breve periodo:** Non c'è bisogno di fare particolari modifiche oltre ad **aumentare i ritmi di lavoro** dei lavoratori andando a fare ricorso al **lavoro straordinario** (2-3 mesi).
- **Medio periodo:** facciamo ancora una volta ricorso al *lavoro straordinario* ma si aggiungono anche altre contromisure:
 - Lavoro part-time
 - Subappalto a terzi (outsourcing)
 - Produzione anticipata

E' importante tenere conto che nel medio/breve periodo **non si fanno investimenti**, ovvero **non si modifica la linea di produzione**; questo perchè gli investimenti si ripagano nel *lungo periodo*

- **Lungo periodo:**
 - Espansione dell'impianto
 - Realizzazione di **nuovi impianti**.

Parametri del processo produttivo



In questo caso abbiamo un layout di tipo **Flow Shop** (simile al layout in linea ma con più postazioni in parallelo); di questo layout definiamo:

- **Tempo di attraversamento - TA** di una linea o di una singola stazione di lavoro (o macchina), come l'intervallo di tempo medio che intercorre dal momento in cui sono disponibili i materiali in input, a quando è disponibile il prodotto completo in output.
In altre parole: quanto tempo ci mette un prodotto ad attraversare tutta il layout.
- **Tempo di ciclo - TC** di una linea o singola stazione è l'intervallo di tempo **medio** che intercorre tra due prodotti in output.
In altre parole: è una sorta di frequenza che ci dice ogni quante unità di tempo abbiamo a disposizione un prodotto finito.
- **Tempo ciclo di linea** : Questo tempo ciclo è pari proprio al **tempo ciclo della macchina più lenta** .
ATTENZIONE! Non è pari alla somma di tutti i tempi di ciclo.

Calcolare il tempo operativo di produzione

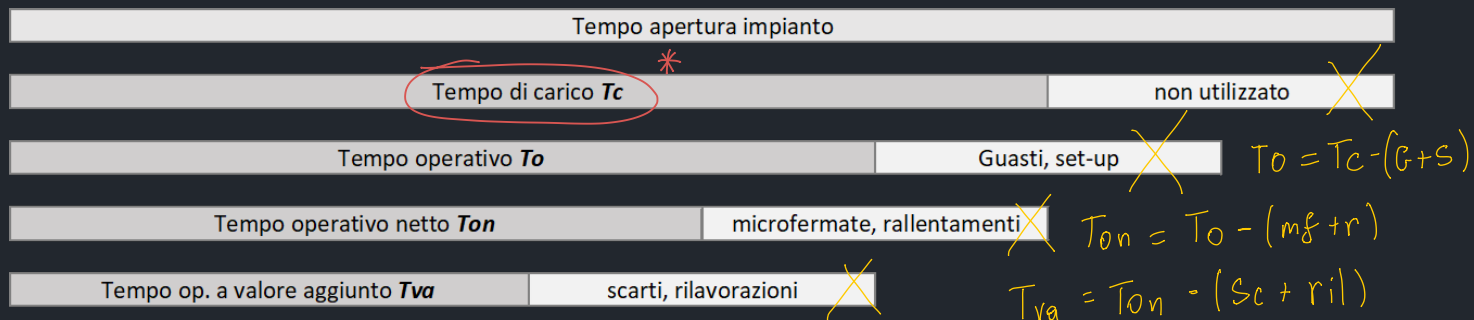
Poniamoci nel seguente caso:

- Si lavora 220 giorni in un anno
- Si lavora un turno al giorno
- Si lavora 8 ore per ogni turno (normalmente il turno non è mai di 8 ore per il motivo seguente)
- Ci sono 60 minuti per ora (normalmente il turno di lavoro l'ora è tra i 47 e 50 minuti)

Facendo un rapido calcolo otteniamo che il **tempo disponibile** è di **105 ' 600** minuti/anno .

Tuttavia, questo valore **non è sufficiente** a realizzare una produzione vendibile, perchè questo tempo deve essere ripartito in:

Tempo di Carico: Tempo in cui la macchina è effettivamente impegnata in produzione



Vediamo come ogni livello "taglia via" una fetta di tempo da quello totale disponibile; si chiama **tempo operativo a valore aggiunto** il tempo residuo, che genera valore aggiunto perchè è il tempo che effettivamente utilizzo per produrre prodotti che generano un ricavo.

Rendimento composto di impianto - indici di rendimento

Pagina 191 capitolo 7

Possiamo usare i valori temporali riportati precedentemente, per creare degli indici (rapporti) che ci danno diverse informazioni:

Disponibilità - D

La disponibilità di una macchina è la percentuale di tempo in cui la macchina è **funzionante** e produttiva.

$$D = \frac{\text{Tempo Operativo}}{\text{Tempo di Carico}} = \frac{\text{Tempo di Carico} - \text{Tempo di [guasto + Set-up]}}{\text{Tempo di Carico}}$$

Efficienza delle prestazioni - E_p

$$E_p = \frac{\text{Tempo Operativo Netto}}{\text{Tempo operativo}} = \frac{\text{Tempo ciclo Teorico} \cdot \text{Quantità di prodotto Tot}}{\text{Tempo Operativo}}$$

Tasso di qualità - Q

Siccome non possiamo trovare il tempo operativo a valore aggiunto ed il tempo operativo netto, dobbiamo calcolarli in diverso modo:

$$Q = \frac{\text{Tempo operativo a Valore aggiunto}}{\text{Tempo operativo netto}} = \frac{\text{Quantità di prodotto Tot} - \text{Quantità Scartata}}{\text{Quantità di prodotto Tot}}$$

Non disponibili

Definiamo quindi **Indice di rendimento composto di impianto** il prodotto di questi 3 indici:

$$\eta = D \cdot E_p \cdot Q$$

Disponibilità

Qualità

Efficienza
Prestazioni

Rendimento

η prende il nome di "ETA"

Questo sarà il valore di rendimento che utilizzeremo ai fini del **dimensionamento**.

Determinare il numero delle macchine - Per prodotto / Per processo

Per determinare il numero di macchine al fine di dimensionare il sistema di produzione, abbiamo bisogno di ottenere informazioni da diversi settori:

- **Informazioni dai progettisti:** Processo produttivo o fasi di lavorazione.
Questo ci consente di capire cosa **possiamo ottenere** dalle macchine e dal processo che vogliamo adottare.
- **Informazioni dal settore commerciale:** Da questo settore provengono informazioni sulla **domanda da soddisfare** generando quindi il **volume produttivo** che il sistema deve generare.
- **Informazioni dai fornitori dei macchinari:** queste informazioni ci permettono di conoscere tutte le **caratteristiche delle macchine**, come:
 - Tempi
 - Affidabilità
 - Specifiche

Utilizzeremo tutte queste informazioni all'interno della **formula del dimensionamento**:

$$\begin{array}{c}
 \text{Numero di} \\
 \text{macchine} \quad n^o = \frac{\text{Produzione richiesta } Q \cdot \text{Tempo Teorico di produzione } t_p}{\text{Rendimento macchina } \eta \cdot \text{Tempo di Carico } TC}
 \end{array}$$

- t_p è il **tempo teorico di produzione**, ovvero il tempo che teoricamente la linea impiega per realizzare **un singolo prodotto**. Di conseguenza l'unità di misura di questo indice è tempo/pezzo --> h/u

- **TC** il **tempo di carico** che abbiamo precedentemente visto; utilizziamo questo specifico valore perchè non conosciamo i tempi di setup, guasti, microfermate, rallentamenti, scarti, etc.

Ma conosciamo i dati delle macchine (forniti dal produttore) e di conseguenza utilizziamo l'unico valore di cui siamo a conoscenza (anche se probabilmente non veritiero).

Possiamo fare un esempio pratico:

$$\begin{cases} Q = 10.000 & \text{u/anno} \\ t_p = 1 & \text{h/u} \\ TC = (220 \frac{\text{g}}{\text{anno}}) \cdot (2 \frac{\text{tr}}{\text{g}}) \cdot (8 \frac{\text{h}}{\text{tr}}) \\ \eta = 0.8 & \text{giorni} \end{cases}$$

Dato dal
 FORNITORE della
 macchina

Turni al
 giorno

Ore per
 turno

$$\rightarrow n^o = \frac{10.000 \frac{\text{u}}{\text{anno}} \cdot 1 \frac{\text{h}}{\text{u}}}{0.8 \cdot (220 \frac{\text{g}}{\text{anno}}) \cdot (2 \frac{\text{tr}}{\text{g}}) \cdot (8 \frac{\text{h}}{\text{tr}})} = 3.55 \text{ MACCHINE}$$

In questo esempio troviamo come **numero di macchine** un valore di **3.55**; è ovvio che non possiamo comprare tre macchine e mezza: dovremmo comprarne 3 o 4.

Per sapere quante macchine dobbiamo realmente comprare

Per quale layout vale questo calcolo?

Abbiamo visto come un **layout per prodotto - in linea** abbia un **tempo di setup** più basso (perchè abbiamo un numero limitato di prodotti) rispetto a quello (ad esempio) per processo; di conseguenza il **rendimento della macchina η** è molto più alto, e quindi otterremo un valore per il numero delle macchine minore (perchè η è al denominatore nella formula).

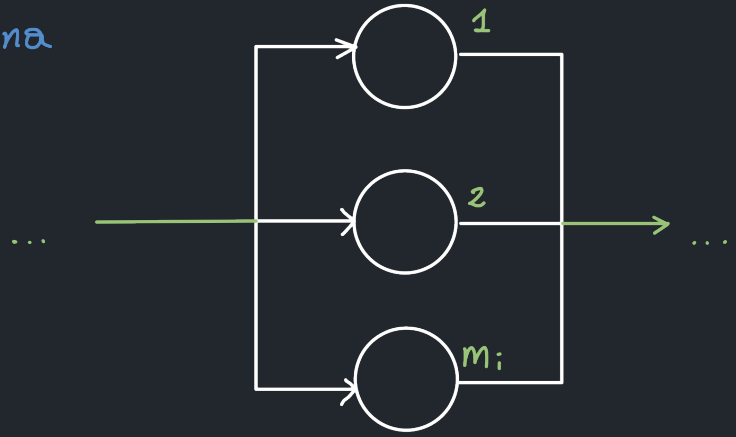
Caso di m macchine uguali in parallelo

Quando abbiamo più macchine uguali che lavorano in parallelo, possiamo calcolare il **tempo ciclo** nel seguente modo:

ciclo macchina

$$TC = \frac{TC_{m,i}}{m_i}$$

Macchine in parallelo



Se le macchine in parallelo **non sono uguali**, possiamo usare come tempo ciclo la **media dei tempi ciclo**.

Determinare il numero delle macchine nella produzione per reparti

$$n^o = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i \cdot t_{pi}}{\eta \cdot TC_i}$$

Quantità richiesta

Tempo Produzione per prodotto

dove gli indici i rappresentano i prodotti processati nel reparto

Tempo di Carico per prodotto

Per fissare il concetto vediamo l'esempio:

i	Qi (u/mese)	η/tpi (u/h)	Tci (h/mese)	n°
1	6000	120	150	0,333333
2	9000	150	150	0,4
3	15000	100	150	1
4	2000	100	150	0,133333
5	8000	120	150	0,444444
6	4000	80	150	0,333333
	44000	670	900	2,644444

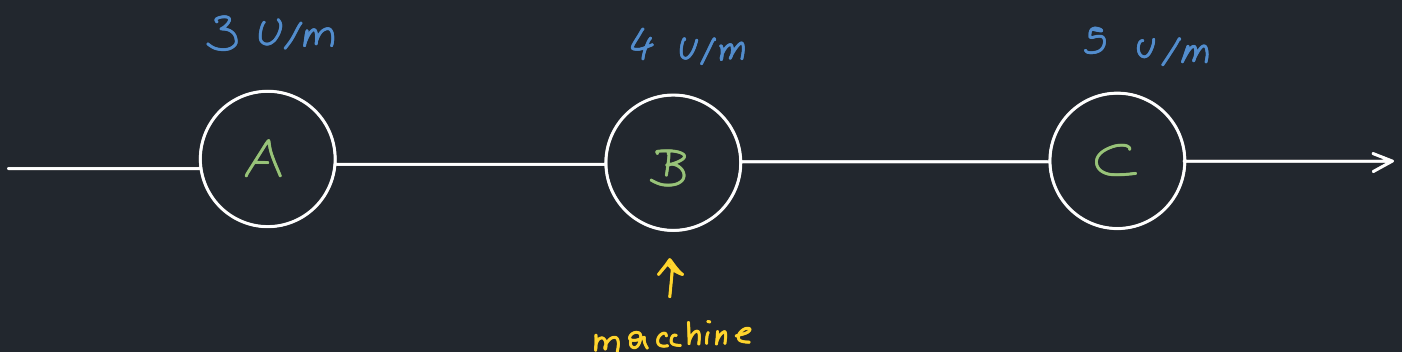
Per calcolare le macchine totali per il reparto ci basta applicare la formula:
 otteniamo **2,64**.

Ora dobbiamo capire se acquistare 2 o 3 macchinari.

Dimensionamento teorico

Il dimensionamento che prevede il calcolo del numero di macchine, senza preoccuparsi della configurazione di layout, prende nome di **dimensionamento teorico**. Ovviamente questa pratica è, appunto, teorica: questo perchè nella fase di dimensionamento dobbiamo già sapere quale layout adotteremo.

Abbiamo il seguente **flusso produttivo**:



Abbiamo teoricamente **105'600** minuti lavorativi / anno, quindi:

- **Macchina A** - $105'600 \text{ m} \times 3 \text{ u/m} = 316'800 \text{ unità/anno}$
- **Macchina B** - $105'600 \text{ m} \times 4 \text{ u/m} = 422'400 \text{ unità/anno}$
- **Macchina C** - $105'600 \text{ m} \times 5 \text{ u/m} = 528'000 \text{ unità/anno}$

Se la domanda fosse di $1'000'000$ di unità all'anno, dovremmo avere:

- $1'000'000 / 316'800 = 3,16$ macchine di tipo A in *parallelo* in prima posizione.
- $1'000'000 / 422'400 = 2,37$ macchine di tipo B in *parallelo* in seconda posizione.
- $1'000'000 / 528'000 = 1,89$ macchine di tipo C in *parallelo* in terza posizione.

In quest'ultimo calcolo, però, **manca il valore ETA (rendimento)**; questo valore avrebbe fatto lievitare il numero di macchine da utilizzare (infatti in questo calcolo si assume che il rendimento = 1).

Possiamo quindi individuare i **problemi del dimensionamento teorico**:

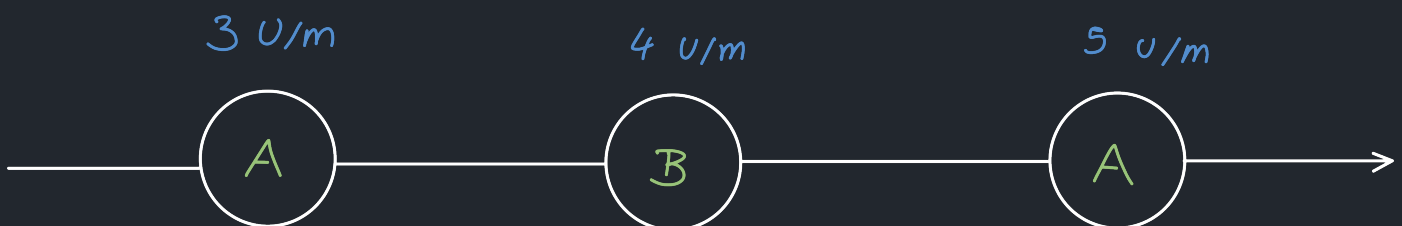
DEL RENDIMENTO η

1. Non si tiene conto delle ~~sei grandi~~ perdite per ciascuna macchina: il rendimento composto non viene incluso nel calcolo.
2. Non si può approssimare il numero di macchine da comprare: con un risultato di 1,89 non sappiamo se acquistare 1 o 2 macchine.
3. Non è detto che i "layout teorici" verranno attuati (invece di un layout in linea potrei adottarne uno per processo, etc.).

Dimensionamento pratico

Caso 1: layout in linea (più efficiente)

Consideriamo un esempio simile a prima:



Consideriamo un layout per linea con ($\eta = 0.9$ - molto efficiente) ed i seguenti dati di performance delle macchine:

- **Macchina A** - posizione 1

- scarto = 0%

- disponibilità = 97%

*Tempo in cui
la macchina
produce*

$$\rightarrow D_{\%} = \frac{\text{Tempo Effettivo}}{\text{Tempo Totale}} \cdot 100\%$$

$$T_E < T_T \Rightarrow D < 1$$

- **Macchina B** - posizione 2

- scarto = 0%

- disponibilità = 91%

- **Macchina A** - posizione 3

- scarto = 0%

- disponibilità = 97%

Possiamo quindi calcolare il rendimento per ogni macchina:

1. $3 \times 0,9 \times 0,97 = 2,62 \text{ u/min}$

2. $4 \times 0,9 \times 0,91 = 3,28 \text{ u/min}$

3. $5 \times 0,9 \times 0,97 = 4,36 \text{ u/min}$

RENDIMENTO

COMPOSTO

$$R_c = \eta \cdot C \cdot S$$

Scarti
 $0 \rightarrow 100\% = 1$
 $100\% \rightarrow 0\% = 0$

*numero di
%*

Andando a fare lo stesso calcolo di prima, disponendo di 105'600 minuti lavorativi per anno, otteniamo:

- **Macchina A** - posizione 1

$$105'600 \times 2,62 = 276'566 \text{ unità per anno} \quad \text{invece di } 316'800 \text{ unità/anno}$$

- **Macchina B** - posizione 2

$$105'600 \times 3,28 = 345'945 \text{ unità per anno} \quad \text{invece di } 422'400 \text{ unità/anno}$$

- **Macchina A** - posizione 3

$$105'600 \times 4,36 = 460'944 \text{ unità per anno} \quad \text{invece di } 528'000 \text{ unità/anno}$$

Notiamo come **nella realtà** le macchine (considerando il rendimento) producano molti pezzi in meno; volendo realizzare 1'000'000 di pezzi all'anno avremmo:

- $1'000'000 / 276'566 = 3,62$ macchine di tipo A in *parallelo* in prima posizione *invece di* 3,16.
- $1'000'000 / 345'945 = 2,89$ macchine di tipo B in *parallelo* in seconda posizione *invece di* 2,37.
- $1'000'000 / 460'944 = 2,16$ macchine di tipo A in *parallelo* in terza posizione *invece di* 1,89.

A questo punto i dubbi sul numero di macchine da comprare scendono, perchè abbiamo un'idea molto più chiara sull'arrotondare per eccesso o difetto.

Caso 2: layout per reparti (meno efficiente)

In questo caso facciamo gli stessi calcoli, ma usando come rendimento $\eta = 0.7$ ($0.7 < 0.9$); andiamo direttamente alle conclusioni

- $1'000'000 / 215'107 = 4,65$ macchine di tipo A in *parallelo* in prima posizione *invece di* ~~3,16~~. *3.62*
- $1'000'000 / 269'068 = 3,72$ macchine di tipo B in *parallelo* in seconda posizione *invece di* ~~2,37~~. *2.89*
- $1'000'000 / 358'512 = 2,79$ macchine di tipo A in *parallelo* in terza posizione *invece di* ~~1,89~~. *2.16*

Con questo fattore di rendimento andiamo a **lavorare ancora meno pezzi** dell'ultimo caso, di conseguenza con questo particolare layout (per reparti invece che in linea) dovremo acquistare ancora più macchinari; questo è dovuto al **rallentamento** causato dal maggior setup del layout per reparti.

Arrotondamento

Nei casi precedenti abbiamo visto come grazie al fattore di rendimento possiamo aver bisogno di più o meno macchine a seconda del layout, ma non abbiamo risolto ancora il problema dell'arrotondamento!

Caso layout per linea

	Numero minimo macchine A in 1° posizione	Numero minimo macchine B in 2° posizione	Numero minimo macchine A in 3° posizione
Caso layout per Linea Arrotondiamo per eccesso	$3.62 \rightarrow 4$	$2.89 \rightarrow 3$	$2.16 \rightarrow 3$

Caso layout per reparti

	Reparto 1	Reparto 2
	Numero minimo macchine A	Numero minimo macchine B
Caso layout per Reparto Si sommano le macchine per reparto e si arrotonda per eccesso	$4.65 + 2.79 = 7.44$ $7.44 \rightarrow 8$	$3.72 \rightarrow 4$

Ma come facciamo ad arrotondare?

A partire dai valori **TEORICI** del numero minimo di macchine necessario (valore calcolato precedentemente), si procede con **l'arrotondamento all'intero successivo**, e poi si verifica se l'eccesso di capacità produttiva così generato **COMPENSA** le perdite di efficienza.

Facciamo subito un esempio:

Nel caso visto precedentemente, avevamo un minimo teorico di macchine pari a **2,37 macchine B in seconda posizione**; a questo punto facciamo i seguenti ragionamenti:

$$(a) \quad \frac{1'000'000}{\underset{\text{Tempo di carico}}{(105'600 \times 4)}} = 2.37 \quad \rightarrow \text{ArroTondo} \rightarrow 2.37 \approx 3$$

(b) Affinche' il rapporto (a) ci dia 3, al denominatore avremo

$$\frac{1'000'000}{(\chi \times 4)} = 3 \quad \text{con } \chi \neq 105'600$$

$$(c) \text{ Isoliamo } \chi \rightarrow \chi = \frac{1'000'000}{4 \cdot 3} = 83333.\bar{3}$$

Effettivo Tempo di utilizzo
↓
NUOVO TEMPO DI UTILIZZO < T_C
Perché aumentiamo le macchine

(d) Dividiamo per il Tempo di carico

$$\underset{\text{Utilizzazione}}{\text{Grado di}} = \frac{83333.\bar{3}}{105'600} = 0.79 \quad G_U = \frac{T_{U_{\text{nuovo}}}}{T_{C_{\text{carico}}}} \geq 90\% \quad \text{In funz. per il 90\% del tempo}$$

A questo punto, **per capire se possiamo arrotondare o meno**, confrontiamo il **grado di utilizzazione** con il **rendimento composto**, che nel caso del layout in linea era: **tasso di qualità (1) * rendimento di disponibilità da layout (0,9) * rendimento di disponibilità da guasti (0,91)**

Se il grado di utilizzazione è **minore** del rendimento composto, allora **possiamo arrotondare per eccesso**:

$$0.79 \stackrel{?}{<} (0.90 \cdot 0.91)$$

SI -> ArroTondo per Eccesso

SI -> ArroTondo per Difetto

Interpretare l'arrotondamento

Se scegliamo di arrotondare **all'intero superiore** del numero di macchine teorico, possiamo dire che:

- La macchina utilizza il 79% delle ore di carico iniziali, e quindi
 - Lavorando per l'intero monte ore teorico, il 79% **della capacità produttiva** massima della macchina **è sufficiente a soddisfare la domanda**
 - Alternativamente, sfruttando la macchina al massimo, il 79% **delle ore** di lavoro della macchina è sufficiente a soddisfare la domanda.

Questo ci fa capire che **la macchina può essere inserita in un contesto reale** solo se le perdite per indisponibilità, scarti, inefficienza etc. **non superano il 21% del monte ore complessivo** --> di conseguenza dobbiamo avere un **grado di utilizzazione (g.u.) maggiore dell'81%** per poter inserire la macchina in un contesto reale.

Facendo due esempi pratici:

- rendimento_{LINEA} = $0.9 \cdot 0.91 = 0.819 > 0.79$ --> possiamo inserire
Questo perchè il rendimento reale con un **layout in linea** è maggiore (sempre per via del fatto che richiede un tempo di setup minore)
- rendimento_{REPARTI} = $0.7 \cdot 0.91 = 0.64 < 0.79$ --> **NON** possiamo inserire
Questo perchè il **layout per reparti** spreca molto più tempo di quello in linea.

Modello ancora più complicato: tasso di scarto diverso da 0

lezione 6 1:08

In questo caso abbiamo uno scarto, quindi se inizialmente abbiamo un goal di 1'000'000 di prodotti, man mano che si va avanti nella produzione, questo numero scenderà:

1. **1'000'000**
2. -10% --> 900'000
3. 900'000 -10% --> 828'000
4. 828'000 -10% -- > **745'200**

Interconnessione di una linea

Dobbiamo quindi impostare una connessione delle macchine, che può essere effettuata in due modi:

- **buffer - connessione flessibile** : poniamo un buffer davanti la macchina più lenta in modo che la macchina più veloce che la precede possa accumulare i pezzi in attesa che la macchina più lenta li processi; in questo modo la macchina più veloce "non deve adeguarsi" alla velocità di quella più lenta.
- **senza buffer - connessione rigida** : La capacità è la capacità della macchina più lenta

Considerazioni finali lezione 6 1:10