NUMERO: 509

DATA: 10/04/2013

# A P P U N T I

STUDENTE: Parrino

MATERIA: Programmazione e Controllo della Produzione + schemi
Prof. Alfieri

# PROGRAMMAZIONE & CONTROLLO DELLA PRODUZIONE 15/03/11

Gestione della produzione (pianificazione e controllo):
Pianificare e pianificare le SCORTE in azienda

ES: Ogni volta che produciamo un lotto la macchina deve essere controllata, posizionata, esistono tempi morti. Esistono dei costi fissi indipendenti dalla quantità prodotta

ES 2: la richiesta del prodotto è costante in ogni istante l'obiettivo è abbattere i costi e x fare ciò devo produrre grandi lotti.
Producendo grandi quantità è necessario un magazzino x lo stoccaggio (costi di magazzino)
la produzione richiede l'investimento iniziale della materia prima e della manodopera
la merce in magazzino è CAPITALE IMMOBILIZZATO.
Un oggetto ha un valore se c'è qualcuno che ~~ti~~ acquista l'oggetto.

PRODURRE GRANDI LOTTI È RISCHIOSO (NON COSÌ OTTIMALE)

ES 3: Mobilificio: una sedia finché non è venduta ha un "valore incluso" (denaro che ho speso x comprarla)
Emettere un ordine al fornitore ha dei costi fissi rispetto alla quantità.
i costi dei prodotti variano in relazione alla quantità.
Pago meno ogni oggetto se compro più oggetti

In una linea di produzione quando si danneggia una stazione si blocca la linea di produzione.
Posizionando magazzini ad ogni stazione ho delle scorte ad ogni stazione e le stazioni a valle non risentono di questo guasto.

A causa della capacità degli impianti (che non è infinita) ho bisogno di creare un sistema delle scorte che hanno un costo (costi di magazzino)

ELIMINARE LE SCORTE AL SISTEMA (significa eliminare un costo) NON È POSSIBILE PERCHÉ GENEREREBBERO COSTI DI ALTRA NATURA. È IMPORTANTE UNA GESTIONE OTTIMALE delle scorte

QUANTO PRODURRE E QUANDO PRODURRE?

In generale queste 2 decisioni sono separate.
(in una situazione qualunque che può essere affetta da qualunque variabilità)
NOI CONSIDERIAMO CASI SENZA VARIABILITÀ (SISTEMA DETERMINISTICO)
la scelta del "quando" non implica la determinaz. del "quanto" e viceversa



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 305

- Orizzonte di pianificazione infinito (tempo di vita azienda ∞)
- Prodotti indipendenti (più prodotti sulla stessa linea
- Domanda deve essere soddisfatta (il tasso di domanda deve essere soddisfatto) (NO STOCK-OUT)

SVILUPPO DEL MODELLO EOQ (lotto economico) 22 MARZO 2011

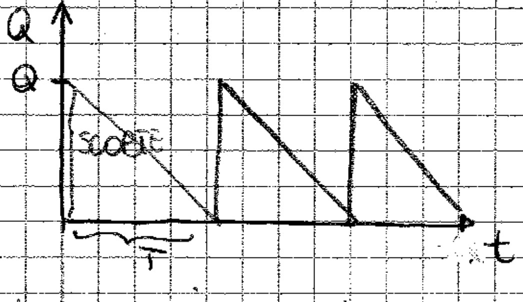
1) D: n° di unità per unità di tempo (es: 50 pz giorno)
↳ deterministico (non affetto da incertezza)
↳ costante
↳ continuo (continuamente divisibile nel tempo) (scelgo l'unità di tempo e posso scalare il tasso)

2) COSTI → indipendenti dal tempo
→ non ci sono sconti
→ nullo il LEAD TIME di rifornimento / produzione (non c'è tempo x preparare l'ordine)
→ nullo il TRASFERIMENTO IN MAGAZZINO = 0 (velocità trasferimento infinita)

il fornitore in tempo ∅ produce il mio ordine e in tempo ∅ la merce viene portata in magazzino

Noi conosciamo la dimensione economica (che mi fa risparmiare) del magazzino

ANDAMENTO DEL MAGAZZINO NEL TEMPO (tempo / quantità)




Q = quantità ordinata (costante: il tasso di domanda è costante e basta trovare la quantità ottima, finché non cambierà la domanda, e ordino quella qntà)

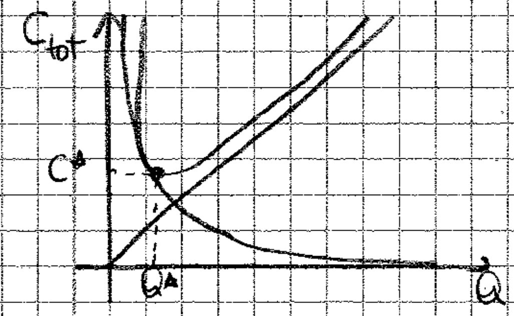
decresce in modo lineare perché il tasso di domanda è costante.

Ad un certo punto il magazzino si azzera e conosco il tempo in cui si svuoterà e ordino non appena il magazzino si svuota (secondo le assunzioni non appena ordino la merce si materializza in magazzino) ordino sempre quantità Q

l'intervallo di tempo tra l'emissione di 2 ordini successivi è T
E se Q è costante emetterò un ordine sempre ogni T di tempo.

Nel caso del lotto economico Quando e Quanto produrre sono legati Q e T sono legati.

Devo ottimizzare la somma dei costi → SOMMO LE CURVE




OTTENIAMO UN PARABOLOIDE che ha un minimo in $Q^*$

$C_{tot} = C_h + C_A$

Se lavoriamo nel continuo il minimo lo troviamo facendo la derivata prima di questa funzione

Guardiamo il costo totale di un ciclo di riordino (triangolo del grafo EOQ)

$$C_{tot} = A + h\frac{Q \cdot T}{2} + v \cdot Q \quad \text{(costo su ciclo di riordino)}$$

AREA DEL TRIANGOLO = media delle scorte

X svincolarci dal ciclo di riordino → calcolo costo totale x unità di tempo
costo ciclo riordino / durata ciclo

$$\frac{C_{tot}}{T} = \frac{A}{T} + h\frac{Q}{2} + v\frac{Q}{T} \qquad \text{sappiamo che } T = \frac{Q}{D}$$

$$= \frac{AD}{Q} + h\frac{Q}{2} + v \cdot D \quad \text{(espressione con 1 sola incognita)}$$

$$C_{tot}\text{(per unità di tempo)} = A\frac{D}{Q} + h\frac{Q}{2} + v \cdot D$$

Posso trovare derivata prima per calcolare il minimo costo

→ le costanti non contano x trovare il valore ottimo delle variabili ($v \cdot D$) ma contano x trovare il costo ottimo

$$\frac{dC_{tot}}{dQ} = -\frac{AD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0$$ ← x trovare minimo costo e quantità di minimo costo

$$\boxed{Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}}}$$ → EOQ (lotto economico)

l'ottimo si ha nel punto in cui le 2 componenti di costo hanno lo stesso valore

A volte può accadere che non posso ordinare la quantità ottima o non posso ordinare la merce quando voglio

ESERCIZIO (A casa)

Supponiamo che calcolo $A^*+\Delta = A'$ (so che non è pieno reale, so che è diverso da A). Si provi a lavorare sui costi sbagliati vedendo come funziona la robustezza.
Questo lavoro vale qualunque sia il parametro considerato

$A' = A^* + \Delta A \rightarrow$ SBAGLIATA $\rightarrow \sqrt{2ADh}$

$$C_{tot}' = (A^*+\Delta A) + h\frac{Q'T}{2} + v\cdot Q^* = (A^*+\Delta A)\frac{D}{Q^*} + h\frac{Q'}{2} + v\cdot D$$

$$C_{tot}' = (A^*+\Delta A)\frac{D}{Q'} + \frac{h}{2}Q' + v\cdot D$$

$$C_{tot}^* = A^*\frac{D}{Q^*} + h\frac{Q^*}{2} + v\cdot D = \sqrt{2ADh}$$

$$\frac{C_{tot}'}{C_{tot}^*} = \frac{\frac{D(A^*+\Delta A)}{Q'} + \frac{h}{2}Q'}{\sqrt{2ADh}} = \frac{\sqrt{\frac{D^2(A^*+\Delta A)^2}{(Q')^2}} + \sqrt{\frac{h^2}{4}(Q')^2}}{\sqrt{2ADh}} = \frac{1}{Q'}\sqrt{\frac{D^2(A^*+\Delta A)^2}{2ADh}}$$

$$+ \sqrt{\frac{h^2}{4}\frac{Q'^2}{2ADh}} = \frac{(A^*+\Delta A)}{Q'}\sqrt{\frac{D}{2Ah}\cdot\frac{D}{h}} + \frac{Q'}{2}\cdot\frac{1}{Q^*}$$

$$= \frac{(A^*+\Delta A)}{Q'}\cdot\frac{1}{h}\frac{D}{Q^*} + \frac{Q'}{2Q^*} = \frac{2\cdot A^* D}{2\cdot hQ'Q^*} + \frac{\Delta A D}{hQ'Q^*} + \frac{Q'}{2Q^*} = \frac{Q^{*2}}{2Q'Q^*} + \frac{\Delta A D}{hQ'Q^*} + \frac{Q'}{2Q^*}$$

$$= \frac{Q^*}{2Q'} + \frac{Q'}{2Q^*} + \frac{\Delta A D}{hQ'Q^*}$$

Potevo ricondurre la formula del costo totale a T

$$T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2A}{D\cdot h}}$$

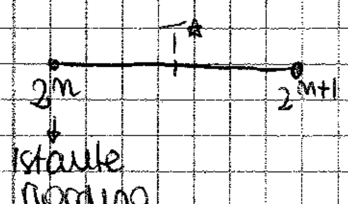
LA ROBUSTEZZA VALE ANCHE IN TERMINI DI T

$$\frac{C'_{tot}}{C^*_{tot}} = \frac{1}{2}\left(\frac{T^*}{T'} + \frac{T'}{T^*}\right)$$

(Capitolo 2 libro)

POWER OF 2: T grandi che variano con potenze di 2

Usati quando si vogliono sincronizzare gli ordini x sfruttare una condivisione di trasporti




Supponiamo che il tempo ottimo di riordino sia a metà tra le potenze di 2

$$T^* = 2^m\sqrt{2}$$

il vertice del triangolo scaleno, è un valore che chiamo
$\hat{Q} < Q$ (non raggiungerà mai la max capacità del magazzino perchè nel frattempo, in relazione al tasso di domanda, consumo merce

il tempo T = tempo di versamento in magazzino

In un ciclo di riordino pago

$$C_{tot} = A + h\frac{\hat{Q}T}{2} + vD$$

costo ciclo di riordino = Area triangolo

Costo totale x unità di tempo $C_{tot} = \frac{A}{T} + \frac{h}{2}\hat{Q} + v\frac{\hat{Q}}{T}$

formula uguale al EOQ se non fosse per $\hat{Q}$ ed è necessario determinarlo.

Chiamo $T_1$ il tempo di fase crescente corrisponde al tempo impiegato x riempire il magazzino.

se $T = \frac{Q}{D}$ Q = quantità che ordino

$t_1 = \frac{Q}{P}$ P = tasso di versamento (n° di pezzi / unità di tempo che siamo in grado di far entrare in magazzino)

considero il consumo nella determinazione di $\hat{Q}$ ovvero D
P = il tasso è una velocità

$$\hat{Q} = Q - \underbrace{D(t_1)}_{\text{pezzi che consumo mentre sto versando}}$$ per tutto $t_1$ consumo D pezzi

sostituendo $t_1$ con la sua espressione

$$\hat{Q} = Q - D\frac{Q}{P} = Q\underbrace{\left(1 - \frac{D}{P}\right)}_{\text{numero}}$$ → la variabile è solo Q

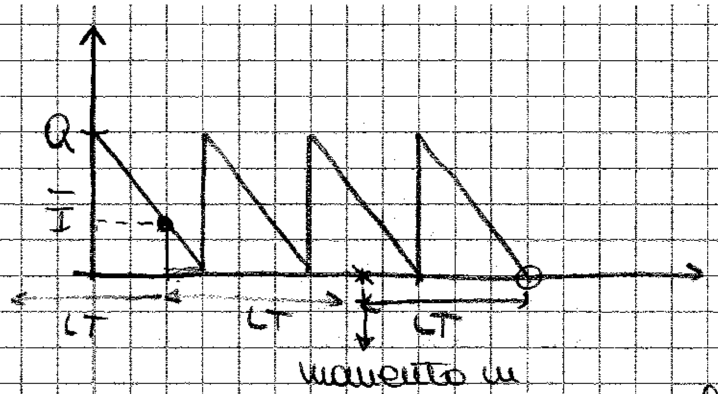
Per quanto riguarda i costi

$$\frac{AD}{Q} + \frac{h}{2}Q\left(1 - \frac{D}{P}\right) + vD$$ → derivata prima = 0

$$Q^* = EPQ = \sqrt{\frac{2AD}{h\left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

affinché il problema sia risolubile $P > 0$

(S)




se $LT > T$

$\frac{LT}{T} = n + \varepsilon$ → tempo rimanente
↓ n° intero

Se ordino quando magazzino è a $\bar{I}$ e quelle scorte mi servono per coprire il tempo di LT

$\bar{I} = D \cdot \varepsilon$ se $LT > T$ LT

$LT - nT = \varepsilon$ $LT \in \{nT, (n+1)T\}$

$\frac{LT}{T}$ (e prendo il resto)
→ $\varepsilon$

## III ASSUNZIONE RILASSATA: SCONTI QUANTITÀ

Possiamo avere diversi schemi sconti

1) ALL-UNIT discount (tutte le unità allo stesso modo)
2) INCREMENTAL discount (sconto in modo incrementale)

### ALL-UNIT DISCOUNT

Se ordini fino a $Q_0$ unità
<u>ogni unità</u> le paghi $v_0$
e così via

| | |
|---|---|
| $Q \le Q_0$ | $v_0$ |
| $Q_0 < Q \le Q_1$ | $v_1 < v_0$ |
| $Q_1 < Q \le Q_2$ | $v_2 < v_1 < v_0$ |
| ⋮ | |
| $Q > Q_{m-1}$ | $v_m < v_n \dots < v_0$ |

$h = v \cdot r$ → influisce anche sui costi di magazzino

devo conoscere $v$ → per conoscere $v$ → conoscere $Q$ → calcolo della derivata che contiene $Q$

Utilizzo una funzione di costo x ogni intervallo di costo

se $Q \le Q_0$ → $\frac{AD}{Q} + \frac{r v_0}{2} Q + v_0 D$ → $Q_0^* = \sqrt{\frac{2AD}{r \cdot v_0}}$

$Q_1 < Q \le Q_0$ → $\frac{AD}{Q} + \frac{r v_1}{2} Q + v_1 D$ → $Q_1^* = \sqrt{\frac{2AD}{r \cdot v_1}}$

⋮

I SCAGLIONE $v_0 Q + \underset{\text{costante}}{k_0}$ $\qquad v_0 Q_0 - v_1 Q_0$

II SCAGLIONE $\underbrace{v_0 Q_0 - v_1 Q_0}_{k_1} + v_1 Q = k_1 + v_1 Q \Rightarrow \frac{k_1}{Q} + v_1$ (MEDIO)

III SCAGLIONE $\underbrace{v_0 Q_0 + v_1 Q_1 - v_1 Q_0 - v_2 Q_1}_{k_2} + v_2 Q = k_2 + v_2 Q \Rightarrow \frac{k_2}{Q} + v_2$

k (costante) + v dell'intervallo = costo tot acquisizione

costo unitario medio dell'intervallo di acquisizione = $\frac{\text{costo tot acquisizione}}{\text{quantità}}$

Funzione di costo

I SCAGLIONE $\frac{AD}{Q} + \frac{r v_0}{2} Q + v_0 Q$

II SCAGLIONE $\frac{AD}{Q} + \frac{r}{2}\left(\frac{k_1}{Q} + v_1\right) Q + \left(\frac{k_1}{Q} + v_1\right) D$

III SCAGLIONE $\frac{AD}{Q} + \frac{r}{2}\left(\frac{k_2}{Q} + v_2\right) Q + \left(\frac{k_2}{Q} + v_2\right) D$

Prendo II scaglione

$$\frac{AD}{Q} + \frac{r}{2} k_1 + \frac{r}{2} v_1 Q + \frac{k_1}{Q} D + v_1 D$$

$$(A + k_1) \frac{D}{Q} + \frac{r}{2} v_1 Q + \cancel{\frac{r}{2} k_1} + \cancel{v_1 D} \rightarrow \text{DERIVO}$$

costanti che vanno a 0 con la derivazione

$$\Rightarrow Q_1^* = \sqrt{\frac{2(A + k_1) D}{r \cdot v_1}}$$


punti di discontinuità

Scegli EOQ valido + a destra quella sarà la quantità da ordinare

$\Rightarrow$ inutili i punti di separazione (la curva si alza)



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 305

$$\frac{dC_{tot}}{dQ} = 0 \qquad \frac{dC_{tot}}{dB} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{2AD\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{b}\right)} \qquad B^* = Q^* \frac{h}{h+b}$$

$b \to +\infty$ $\quad Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$ come l'EOQ $\quad B^* \to 0$ ovvero

se i costi delle penali sono infiniti non posso permettermi di avere ordini insoddisfatti

**V ASSIOMA RILASSATO: TASSO DOMANDA non + COSTANTE**

Abbiamo un tasso diverso in relazione al periodo in cui lo osserviamo.

LOT-SIZING = dimensionamento del lotto (dimensiono tanti lotti diversi in relazione alla domanda)

IL PROBLEMA DI LOT-SIZING può essere:

→ EURISTICO (risultato ammissibile ma non si sa mai quanto sia più o meno vicino all'ottimo non dà nessuna garanzia sul gap dell'ottimo)

Per avere garanzie sul gap di ottimalità → Algoritmi di approssimazione

→ ESATTO → MODELLIZZAZIONE / PROGRAMMAZIONE LINEARE e INTERA

→ ALGORITMO WAGNER-WHITING
esatto solo se valgono tutte le assunzioni del lotto economico.
E' un algoritmo di programmazione dinamica (algoritmo degenere)

PASSATA FORWARD (costo minimo) e PASSATA BACKWARD (istanti di riordino → quantità di riordino) - Ricostruisco la soluzione

ALGORITMO: divido l'orizzonte temporale ~~(non + infinito come l'EOQ)~~, che è fissato, in time packet e in genere si sceglie l'intervallo di tempo più piccolo su cui posso prevedere la domanda. Vado a determinare nell'ampiezza dell'intervallo di tempo il tasso di domanda

Time packet tali × cui posso considerare costante la domanda

8

Se $A+A=200$ e $A+D_2 \cdot 1 \cdot h = 135 \rightarrow J_2 = 1$

il minimo costo è il II e l'ultimo istante in cui ho emesso un ordine è l'1.

Anche se A e h sono costanti in tutti i periodi metto dei pedici nei costi.
l'algoritmo di Wagner-Whiting può gestire anche i casi in cui i costi A e h sono temporalmente diversi

$A_1$ = ho ordinato e pagato A nel periodo 1
$h_1$ = costo magazzino x unità x periodo (nel periodo 1)

- $t=3$ (da 1 a 3)

$$z^*_3 = \min \begin{cases} A_1 + h_1(D_2+D_3) + h_2 D_3 = & \rightarrow \text{produco x tutti e 3 i periodi} \\ A_1 + A_2 + h_2 D_3 \rightarrow z^*_1 + A_2 + h_2 D_3 & \rightarrow \text{ordino nel 1 e 2 periodo} \\ \left.\begin{array}{l} A_1 + h_1 D_2 + A_3 = \\ A_1 + A_2 + A_3 = \end{array}\right] \rightarrow z^*_2 + A_3 & \begin{array}{l} \rightarrow \text{ordino x 1 e 3} \\ \rightarrow \text{non tengo nessun magazzino ma ordino ad ogni periodo} \end{array} \end{cases}$$

le ultime due righe sono uguali e differiscono solo x i primi 2 termini

il minimo tra le ultime due $z^* = \min\{225, 300\}$
mi riguardo il caso precedente in questo modo riduco i calcoli. $\rightarrow$ COMPLESSITÀ LINEARE

Arrivo in modo ottimo fino al 2 aggiungendo il costo dell'ultimo riordino, accoppa dal 3 in poi

- $t=4$

$$z^*_4 = \begin{cases} A_1 + h_1(D_2+D_3+D_4) + h_2(D_3+D_4) + h_3 D_4 \\ z^*_1 + A_2 + h_2(D_3+D_4) + h_3 D_4 \\ z^*_2 + A_3 + h_3 D_4 \\ z^*_3 + A_4 \end{cases}$$

- $t=5$

$$z^*_5 = \min \begin{cases} A_1 + h_1(D_2+D_3+D_4+D_5) + h_2(D_3+D_4+D_5) + h_3(D_4+D_5) + h_4 D_5 \\ \xrightarrow{\text{Separo il per. I}} z^*_1 + A_2 + h_2(D_3+D_4+D_5) + h_3(D_4+D_5) + h_4 D_5 \\ z^*_2 + A_3 + h_3(D_4+D_5) + h_4 D_5 \\ z^*_3 + A_4 + h_4 D_5 \\ \xrightarrow{\text{Arrivo in modo ottimo fino al 4 ordino x il 5}} z^*_4 + A_5 \end{cases}$$

Su questo algoritmo non possiamo dimostrare la ROBUSTEZZA in + non possiamo fare tutte quelle assunzioni

Il problema che sarà necessario ripianificare x i periodi successivi e i costi cambiano

Tale logica permette di avere a 0 il magazzino alla fine del periodo 10 → non è proprio l'ottimo

Lavorando in qst caso con EOQ, giocando nel continuo viene fuori il ordine assurdo.

Utilizzando REGOLE DI LOT SIZING che lavorano in qst contesto che non danno garanzie di ottimalità (non so quanto mi distanzio dall'ottimo) (euristiche)

REGOLE DI LOT SIZING - Devo capire bene qual è la struttura dei costi x vedere quale regola è migl.

1) L4L = lot-for-lot (lotto x lotto)

Ordino in ogni periodo quello che serve
$Q_t = D_t$ per ogni periodo. Non avrò mai magazzino e pagherò tanti costi di riordino quanti sono i periodi (es. precedente 10.A)
Questa regola è efficiente se i costi di magazzino sono più alti dei costi di riordino
Questa regola può essere inammissibile x il bilancio dell'azienda ma è sempre ammissibile perché soddisfa la domanda

2) FOQ - FIXED-order-quantity

$I_{t-1} - Q_t \neq 0$ Ordino a quantità fissa anche se ho merce in magazzino. Ordino multipli di quella quantità

(es. nostro Q=15)

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 10 | 5 | 1 | 3 | 5 | 4 | 10 | 11 | 2 | 1 |
| $Q_t$ | 15 | / | 15 | | | | 15 | 15 | | |
| $I_t$ | 5 | / | 14 | 11 | 6 | 2 | 7 | 11 | 9 | 8 |

FOQ

Ordino in t=1, 3, 7, 8

Volendo applicare EOQ in qst caso

$$\frac{\sum_{t=1}^{10} D_t}{10} = D_{medio}$$

Quando la domanda è comunque all'incirca costante

# ESERCIZI - PROGRAMMAZIONE & CONTROLLO EOQ 31/03/11

1) $D = 2000$ unità/mese — Sono soddisfatte tutte le assunz. del lotto economico EOQ

Costi fissi elevati (compresi costi trasporto)

↳ 8500 € per $0 < q \leq 150$
10'000 € $q > 150$

Costo unitario x macchina → $v = 5000$

$h = r \cdot v = \frac{20}{100} \cdot 5000 = 1000$ €

$\#$ ordini $= \frac{D}{Q}$

$Q_1^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8500 \cdot 2000}{1000}} = 184$ unp.

$Q_2^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \cdot 2000}{1000}} = 200$

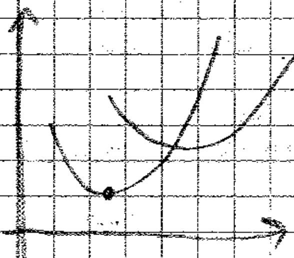
Quantità ottima $= 200, 150$ ?

ordini $q$/anno $= \frac{2000}{150} = 13 \times 12 = 160$

~~Non ho costo ottimo → posso fare 20 ordini~~

Viene rilassata l'ipotesi che i costi fissi sono indipendenti dalla quantità → curva costo discontinuo

Se $Q_1^*$ fosse ammissibile → < 150 finirei lì (non vado a calcolare II)



Perché so che se fosse stato valido sarebbe stato il minimo (quantità di minimo costo)

→ non è sconto quantità ma aumento in base alla quantità

Il costo di ordine $Q_2^*$ →

$C_{tot}(200) = \sqrt{2ADh} + vD = 10,2$ M€

$C_{tot}(150) = \sqrt{2ADh} + vD = 10,183$ M€ — 184/190

(conviene ordinare a lotti di 150)

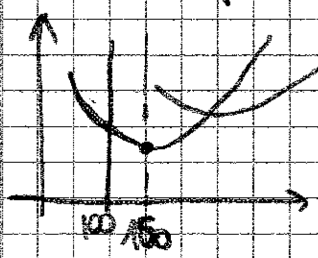
↑ punto di discontinuità

In qst situazione

EOQ ①

continuo 1)

Se in mag. ho max 100 pz. non posso ordinare 150




i costi si aggraverebbero comunque ma il valore valido (all'interno) della q<150 che rispetta il vincolo di magazzino e il valore EOQ = 100

$C(100)_{tot} = \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2} + v \cdot D$ → 40.000 € in + al mese rispetto all'ordine di $Q^*$

$t = 4$

$z_4^* = \min \begin{cases} z_2^* + 200 + 2,4(120+80) + 40 + 80 \cdot 2,2 \cdot 1 = 2316 \\ z_3^* + 300 + 2 \cdot 80 = 2368 \end{cases}$

$J_4^* = 3$

backward

in 3 produco quantità x 3 e x 4 = 200 $Q_4 = 0$ u

in 2 produco " x 2 → 220 $Q_3 = D_3 + D_4 = 200$ u

in 1 " " x 1 → 100 $Q_2 = D_2 = 220$ u

$Q_1 = D_1 = 100$ u

Se la capienza max è 200 il mio piano non va bene

o Produco dopo o produco prima → se produco dopo vado in ritardo di 20 (penali) in 4

Se produco prima → nel 1 periodo produco 120

Calcolare i costi che si avrebbero nei 2 casi

EOQ

(2)

ESERCIZIO 5

Ordino
m 11 → 79+56
m 10 → 67
m 8 → 67+45
m 5 → 61+26+34
m 3 → 36+61
m 1 → 69+29

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 69 | 29 | 36 | 61 | 61 | 26 | 34 | 67 | 45 | 67 | 79 | 56 |
| | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | | | | | | |

69+
29+
36

61+
61+
26

ESERCIZIO 6

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 20 | 50 | 10 | 50 | 50 | 10 | 20 | 40 | 20 | 30 |
| $h_t$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $J_t$ | 1 | 2 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 8 |
| $Q_t^*$ | 20 | 50+10 | | 50 | 50+10+20 | | | 40+20+30 | | |

1) $z_1^* = \min\{100\} = 100 \qquad J_1^* = 1$

2) $t = 2$

$$z_2^* = \begin{cases} A_1 + 2 \cdot 50 = 200 \\ A_1 + A_2 = 200 \end{cases} \qquad J_2^* = 1 / 2$$

3) $t = 3$

$$z_3^* = \begin{cases} A_1 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 2 \cdot 10 = 240 \\ z_1^* + A_2 + 2 \cdot 10 = 100 + 100 + 20 = 220 \\ z_2^* + A_3 = 200 + 100 \end{cases} \qquad J_3^* = 2$$

ESERCIZIO 7)

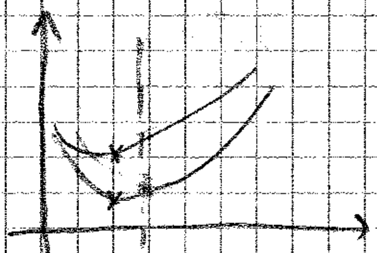
| | D | $v_1$ | A | r | | $v_2$ | h2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 416 | 14,2 | 1,5 | 24 % | $h_A = 3,4$ | 13,91 | 3,33 |
| B | 104 | 3,10 | | | $h_B = 0,744$ | | |
| C | 4160 | 2,40 | | | $h_C = 0,576$ | | |

1) $0 < q < 100$ pz → nessuno sconto
2) $q \geq 100$ pz 2%

A
$$Q_1^* = \sqrt{\frac{2AD}{h_A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 416}{h_A}} = 19,13$$
$$Q_2 = \sqrt{\frac{2AD}{h_{A_2}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 416}{0,24 \cdot 13,91}} = 19,33$$ non ammissibile

B
$Q_1$
⋮

Vale l'ipotesi che i prodotti non si influenzano
Parto dalla curva dei costi + ~~alti~~ bassi
(curve + basse



A il costo del lotto economico nei punti di discontinuità in 100

$$C(100) = \frac{AD}{100} + \frac{0,004 \cdot 14,2(1-0,002)}{2} \cdot 100 + 14,2(1-0,002) \cdot D = 5962,18 €$$
$$C(EOQ) = C(19,13) = \sqrt{2AhD} + v_0 D = 5972,42 €$$
la migliore quantità da ordinare è 100

Tasso di versamento P - si rilassa l'ipotesi

$m_A = 4$ Pz/mese
$m_B = 130$ pz/anno
$m_C = 90$ pz/settimana $= 90 \times 52$/anno

$\cancel{\hat{Q} = Q - \frac{DQ}{P} = Q\left(1 - \frac{D}{P}\right)}$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h\left(1-\frac{D}{P}\right)}}$$ = radice negativa devo portare tutto sull'anno

quando $P < D$ → sistema instabile

Caso di costi incrementali

$$\frac{C(Q)}{Q} = \text{costo unitario medio} \quad \begin{cases} 0{,}3 \\ (0{,}29 \cdot (Q-500) + 500 \cdot 0{,}3)\,/\,Q \\ (0{,}28\,(Q-1000) + (1000-500) \cdot 0{,}29 + 500 \cdot 0{,}3)\,/\,Q \end{cases}$$

$$\hookrightarrow = \begin{cases} 0{,}3 \\ 0{,}29 + \frac{k_1}{Q} \\ 0{,}28 + \frac{k_2}{Q} \end{cases}$$

$$Q_2^* = \sqrt{\frac{2(A+15)\,D}{0{,}2 \cdot 0{,}28}} = 702 < 1000 \quad \text{non ammiss.}$$

$$Q_1^* = \sqrt{\frac{2(A+5)\,D}{0{,}2 \cdot 0{,}29}} = 519 > 500, \; < 1000 \quad \text{ok}$$

Nell'EOQ capacità impiegata → ∞ il sistema può fare tutto ciò che serve contemporaneamente.

Con l'MRP introduciamo un'attesa LEAD TIME ovvero una capacità finita

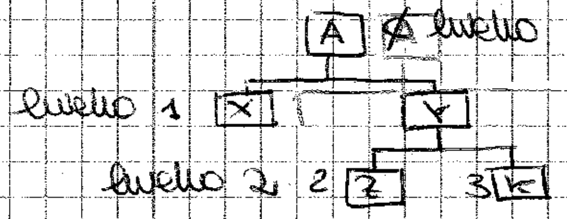
A priori il lead time: tempo necessario × produrre deve essere dato × ogni prodotto tipicamente maggiore del tempo impiegato × la produzione.

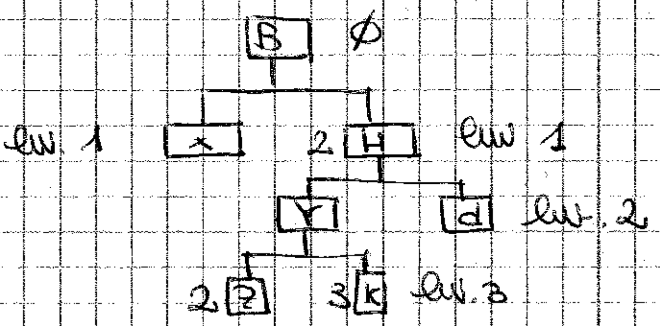
Per fare questo è necessario lavorare al tempo discreto. All'interno del time packet non non vediamo nulla, dove un lead time < del time packet non significa nulla.

Produrre troppo in anticipo creo delle code in magazzino

MRP → nasce come gestione "furba" delle scorte

- BOM = Bill of material → distinta base




albero di prodotto: indica le parti con cui è fatto un prodotto

↳ legami tra i vari codici
A, B a domanda indipendente
gli altri a " dipendente

le quantità dei componenti che servono × il livello superiore

↳ GOZINTO FACTOR (GOES INTO FACTOR)

- I codici a domanda indipendente
↳ Qualcuno deve darci la domanda di mercato ovvero l'MPS (master production)
le quantità di mercato dei prodotti al top

- I codici a domanda dipendente (x, y, ...)
↳ deriva da A, B

- Ci sono codici che hanno entrambe le domande
X → come pezzi singoli di ricambio
→ come componenti di un prodotto

FASI DI MRP

① NETTING = Passaggio dal fabbisogno lordo a fabbisogno netto usando le regole di CH e CA

② LOT-SIZING = Come il fabbisogno netto sarà prodotto o ordinato utilizzando le regole di lot-sizing

③ LEAD TIME OFFSETTING = da OP a OR tramite il lead time

④ BOM explosion = dagli ordini rilasciati al fabbisogno lordo dei componenti del codice
Con la Regola del LLC = low level codding compilo le tabella passando al codice di livello + basso (nella distinta base)

livello ∅ = A, B (faccio tab. a e b) poi faccio i codici di livello 1

livello 1 = X, Y, H (faccio X e h) non faccio Y perchè la domanda di Y dipende del prod. B dalla domanda di H prendo il livello inf. di Y cioè 2

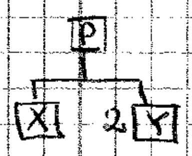
IMPORTANTE
UN RECORD X OGNI COMPONENTE ANCHE SE HO + PRODOTTI INDIPENDENTI A e B

livello 2 = Y, D non posso trattare Z e K come compon. di livello 2 perchè componenti di Y che sono a livello 2
Una volta fatta la tabella di Y faccio anche tab. di Z e K

Se volessi solo ~~codice~~ tab. codice D faccio prima B, poi H, e poi D
Se volessi tab Y, faccio A, B, poi H

Se si chiede un codice particolare seguo il percorso solo x quel codice risalendo fino al livello ∅

ESEMPIO




| | P | X | Y |
|---|---|---|---|
| $I_0$ | 10 | 0 | 100 |
| CA | / | 10 t=1<br>20 t=7 | 20<br>t=2 |
| LS | LfL | POQ<br>2 | FOQ<br>60 |

magazzino

LEAD TIME

| P | X | Y |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 |

| | t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MPS | P | ∅ | 50 | 40 | 20 | / | 70 | 10 | 60 |

50* → Al primo istante possibile emetto 1 ordine di 50 che copre fabbisogno del periodo 1 → arriverà in ritardo in alcune consegne

$\boxed{Y}$

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FL | 80 | 80 | 40 | / | 140 | 20 | 120 | / |
| CA | | 20 | | | | | | |
| OH | 20 | 20 | 40 | 40 | 20 | 20 | | |
| FN | | 40 | 20 | | 100 | / | 120 | |
| OP | | 60 | 60 | | 120 | | 120 | |
| CR | 60* <br> 60 | | 120 | 120 | 120 | | | |

→ ultima riga di P moltiplicata * GOZINTO FACTOR

$\boxed{OH = 100}$

in output

1 - POR (ultima riga delle tabelle senza asterisco)

cod P: $Q_1 = 40$, $Q_2 = 40$
cod X: $Q_2 = 20$, $Q_4 = 80$
cod Y: $Q_1 = 60$, $Q_3 = 120$, $Q_5 = 120$

2 - CHANGE NOTICE - Anticipi o ritardi delle consegne attese

cod X: Anticipare consegna periodo 7 al periodo 1 (10 unità)

3 - CRITICALITÀ (ritardi) → guardo gli asterischi

cod X: ritardo ordine in T=1 (10 unità su 50)

cod Y: ritardo ordine in T=1 (60 u) su 120)

Se l'ordine in asterisco * ritarda se arrivano all'inizio del periodo successivo solo la domanda del I ordine è in ritardo

Le logiche di aggiornamento possono essere:

→ RIGENERATIVA: Non vado a vedere i piani precedenti rifaccio piano da 0

→ NETCHANGE (cambiam. netti): cambio la parte di piano dove c'è stata una variazione. Rifaccio le variazioni prodotto tempo.

Il problema della capacità (quanto il mio sistema è in grado di produrre)

↳ sistema scarico e sistema carico producono un prodotto nello stesso tempo.
Il tempo di processo non dipende dagli ordini, dalla saturazione, ma il tempo di ciclo di dell'impianto
se voglio non tener conto della capacità devo fare LT molto ampi

ESEMPIO:

B1
|
B2

Uso
LT = 2
FOP = 5

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FL | 2 | 24 | 3 | 5 | 1 | 3 | 4 | 50 |
| CA | / | / | / | / | / | / | / | / |
| OH 28 | 26 | 2 | 13 | 8 | 7 | 4 | / | |
| FN | / | / | 14 | | | | | 50 |
| OP | | | 14 | | | ← | | 50 |
| OR | | | | | | | | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FL | 14 | 65 | | | | 50 | | |
| CA | 14 → | | | | | | | |
| OH | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | |
| FN | | 47 | | | | 48 | | |
| OP | | 47 | | | | 48 | | |
| OR | | 48 | | | | | | |

Rappresentazione del problema del nervosismo: x un piccolo cambiamento → il problema non è ammissibile

③ FIRM PLANNED ORDER → Ordini congelati · ordini che vengono implementati comunque anche se il pallabile non cambia

↳ Servono x mitigare problema del nervosismo

Principi che uso in azienda x decidere come il piano deve essere implementato.

Il grosso punto di debolezza con il LEAD TIME si "annegano" le debolezze della produzione (la capacità)

MRP II Material resource planning (pianificazione delle risorse che servono)
↳ gestisce le risorse (capacità)
↳ costruzione MPS
↳ moduli di MRP (tabelle)
↳ x gestire domanda
↳ ERP (gestiscono parte finanziaria, personale) → con costruzione eccezionali

**MRP** → 3 moduli : 2 x capacità, 1 x la domanda

Rof Cod capacity Planning → ↳ RCCP
↳ CRP
(Capacity Requirement planning)

↳ ATP
(Available to Process)

↓
gestione a spanne

MPS → master production schedule
↳ fabbisogno lordo dei codici di livello ∅
↳ uso diverse tipologie

↳ Previsione della domanda MAKE TO STOCK
↳ " degli ordini MAKE TO ORDER } ①

MPS accorpo FL e previsioni basandosi su vincoli di produzione non sulle regole di lot-sizing

↳ devo sapere come produco e anche se una azienda è ①

MPS → fabbisogno lordo dei codici di livello ∅
(ci viene dato) → può non essere un insieme di ordini ma includere vincoli di produzione

se ho 35 pz come ......
→ con 35) se azzero ATP vicino avrei quando ho potrei avere disponibilità 20 e invece di "destino" all'ordine. in qst caso ho tempo x rifare MPS

ATP in 1 è data dalla certezza dei pezzi in magazzino ~~Otto~~

ATP → calcolo solo quando MPS ≠ 0
↳ in t=1 se ho un magazzino positivo in t=0

ATP = MPS − tutti gli ordini che stanno tra quel time bucket e il prossimo ATP

MPS

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 33 | 33 | 33 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| B | 17 | 17 | 17 | 13 | 13 | 13 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 27 | 27 |

tempo produzione unitaria

| | |
|---|---|
| A | 0,95 h ← da materia prima col A |
| B | 1,85 |

Disponibilità x time bucket

| | ① | ② |
|---|---|---|
| C100 | 40 h | 40 |
| C200 | 25 h | 40 |
| C300 | 6 h | 40 |

Utilizzo storico

| WORKS | % |
|---|---|
| C100 | 60,3 |
| C200 | 30,4 |
| C300 | 9,3 |

RCCP lavora a livello di MPS → ~~e poi passo ai moduli di livello + basso~~
↳ considera tutto insieme il tempo di produzione (unitario del singolo prodotto) (non ho lead time)
→ a livello ∅ di distinta base
↳ disponibilità oraria del centro di lavorazione in cui passa (centri di lavorazione = work station)
↳ se la produzione passa work stations diverse devo guardare quanto storicamente i prodotti hanno usato delle work stations
(~~...~~ i prodotti hanno usato per il 60,3% il C100

PASSO 1) Trasformo MPS in ORE

33 · 0,95 = n° parti × tempo unitario di produzione

→ dalla domanda al tempo che impiego x soddisfarla

| Capacità | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| - richiesta | 37 | 37 | 43 | 47 | |
| - disponibile | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| $\Delta$ | +3 | +3 | -3 | -7 | +5 |

+1

Ne posso prendere alcuni dal periodo dopo una ritardo la consegna di merce nel periodo 4

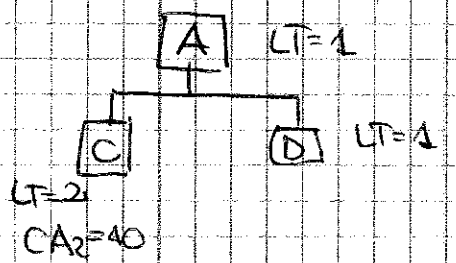
SVOLGERE ESERCIZIO CASO 1, CASO 2 (1)

Se ESISTESSE SOLO 1 WORK STATION (2)

C100 → 40 h
↓
disponibilità A 1,5
B 2

$\boxed{CRP}$ → al livello di MRP quando ho già gli ordini rilasciati

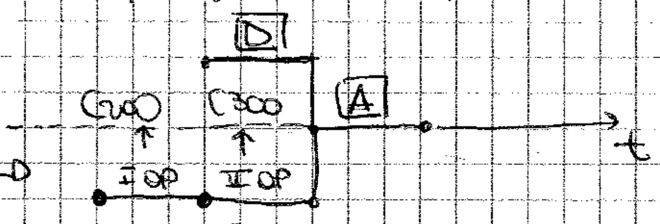
| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OR | 33 | 33 | 33 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 37 |




devo sapere
- l'esatto routing (su quali macchine passano i vari componenti)

I operaz. $0{,}6 \frac{h}{unità}$ su C100

Componente C → 2 operazioni — II operazione $0{,}2 \frac{h}{unità}$ su C300




ALLOCO LE OPERAZIONI AI LT

C → i 2 LT rappres. proprio le 2 operazioni

REGOLA → FOQ = 40

JUST IN TIME JIT CAP4 (Matto) 11/04/2011

7 zeros
- difetti = 0
- LS = 0 (lot-sizing - ogni pezzo è un lotto - lot-sizing = 1)
- setup = (costi di noleggio + attrezzaggio delle macchine)
- break down = rottura macchinari → il sistema funz al 100%
- handling = movimentazione
- LT = 0 (quello che serve quando serve)
- surging = cambiamenti improvvisi (funzionamento uniforme con tasso costante di prod.)

ZERO INVENTORY
a tempo 0 (costi limitati) è l'impatto del tempo)

→ limitate. Il pezzo che esce da 1 stazione deve andare immediatamente dalla 2i

tempi di rifornimento brevi

kanban
kaizen
6-sigma
TQM
Lean Manufactory
Autonomation

Il JIT dà dei precetti che dipendono operativi in relazione all'ambiente in cui ci si trova.

Dal fallimento MRP → nasce JIT nato in Toyota nel 1945 in Giappone (in seguito alla distruzione dopo la II guerra mondiale)

sul mercato nazionale → non c'era grande assorbimento
sul mercato internazionale → competizioni con rivali USA

obiettivo Toyota → arrivare a competere con USA (successo del JIT)

JIT nasce in un contesto di scarsità di risorse e quindi
→ ELIMINAZIONE DEGLI SPRECHI: ogni cosa è una risorsa che non va sprecata

In Giappone → distanze ridotte evitano spreco di tempo nei trasporti
→ non potevano raggiungere ECONOMIE DI SCALA

X ELIMINARE GLI SPRECHI: JUST IN TIME
→ devo produrre quando mi è necessario
→ trasporto il prodotto solo quando serve

il JIT → VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE UMANE (filosofia sistemica: tutto il sistema funziona perché tutte le parti si devono armonizzare)

la I risorsa da non sprecare:

• ZERO INVENTORY: Magazzini visti come spreco di materia, risorse. Nessun tipo di scorta, neanche quelle di sicurezza, no scorte ciclo × non bloccare linee di produzione, no scorte di trasporto (che mi proteggono dalle distanze)
→ Obiettivo irrealizzabile e un po' ingenuo!

Azzero i buffer non necessari → devo capire cosa azzerare e cosa mi è necessario

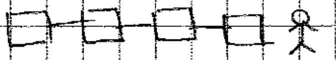
(1)

MANODOPERA CROSS TRAINING = tutti devono saper fare un po' di tutto

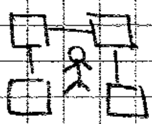
↳ il manager deve conoscere anche il funzionamento delle macchine - si fanno tutte le funzioni / parti dell'azienda x poter prevenire / giudicare eventuali inefficienze

CROSS TRAINED: Manodopera addestrata a fare di tutto
la manodopera è una risorsa che non deve essere sprecata:
- utilizzo lo stesso operatore x controllare macchine diverse

U-LAYOUT: se le macchine sono disposte in linea l'operatore ha + difficoltà a controllare + macchine



se il LAYOUT è a U l'operatore controlla + macchine con facilità



Se gli operai non sono cross trained qst disposizione delle macchine ~~non~~ è solo spreco di denaro

CAPACITY BUFFER: il JIT ha capacity buffer che non sono spreco di risorse.
Buffer di capacità → capacità in +, ovvero risorse sovradimensionate.
Se le risorse sono sovradimensionate non spreco?
Capacità in eccesso, in avanzo - se ho delle macchine che non utilizzo durante processo lavorativo ho capacità in +.

Tipicamente le aziende lavorano in 2 turni
- 8 lavoro
- 4 sistema fermo → se non ho soddisfatto la domanda ho produzione attiva anche in qst turno
↳ pox essere usate x manutenzione preventiva
1/3 della capacità di base non è utilizzata

BUFFER: Accumulo inevitabile in ogni azienda, ineliminabile

PRODUCTION SMOOTING: livellamento della produzione ma se non posso fare livellam. della non posso avere ≠ produzione (D costante).
JIT con piani di produzione: se il tasso di domanda non è pressoché costante gli obiettivi del JIT non sono raggiungibili.

TOYOTA GOAL CHASING (metodo): livellare la produzione (non la domanda) nella fase di assemblaggio (livello l'assortimento dei componenti)
Produco componenti e poi li assemblo
Metodo x determinare seq. assemblaggio

11/04

(21)

il JIT richiede uno studio di fattibilità (se può essere introdotto nella mia azienda)
se è implementabile devo capire da cosa partire
ogni azienda ha caratteristiche e particolarità e ha risposta soggettiva al JIT

OBIETTIVI : 7 zeri
ø scorte } eliminare / ridurre sprechi

IMPLEMENTAZIONE :
- smoothing produzione / mixed model
- riduzione setup (SMED)
- capacity buffer (capacità in eccesso, turni liberi)
- manodopera : cross
- cross trained e motivata
- layout a U (a compatto)
- TQM (100% controlli e miglioramenti continui)
- kanban

Devo sempre capire prima se posso introdurre il JIT

MIGLIORAMENTO CONTINUO → non esiste livello minimo di accettabilità
↳ Prerequisito x la sopravvivenza dell'azienda
↳ Ambiente dove si trova l'azienda è visto come contesto
Nell'ambiente in cui si muove l'azienda dobbiamo cercare di avere una particolare influenza

A = costo setup
h = magazzino

$C = \sqrt{2ADh}$ → costo totale del lotto economico

Nell'EOQ → come ordinare x avere minor costo possibile.

L'EOQ non usa l'ambiente (l'insieme dei dati) così come i suoi derivati.

Il costo è una funz. crescente di A e h.
A deve essere controllato: il costo è del setup che avviene nella mia azienda.
Il setup è un insieme di attività che possono essere migliorabili
h, costi di magazzini sono migliorabili.

AMBIENTE COME
(AVERO → Capisco da dove i dati derivano e cercare di migliorare in modo da ridurli.
↳ Non prende niente x dato e scontato.
L'ambiente può diventare una variabile di controllo.

L'AMBIENTE COME VARIABILE DI CONTROLLO → sfruttato anche in sistemi in cui non posso introdurre il JIT, è una riduzione di costo.

11/04 ③

la domanda è a valle della produzione, e a valle deve esistere un piccolo livello di sussistenza del magazzino.
Quando vendo alcuni pezzi prelevo il magazzino e qst pezzo deve essere ripristinata la scorta
X RIPRISTINARE LA SCORTA → CARTELLINO
E così via fino alle materie prime

Per qst motivo ho bisogno di 1 domanda liscia perché alla domanda è legato il numero di cartellini tarato in base al numero di domanda.

KANBAN rende le scorte + piccole possibile - non si possono avere + pezzi in giro del n° dei cartellini
→ il n° dei cartellini limita il livello del magazzino

MAKE TO STOCK = produco x il magazzino

Nel SIT posso lavorare o MAKE TO ORDER o MAKE TO STOCK
(si presta meglio x qst tipologia)

11/04

4

l'ultima macchina ha buffer di domanda

il cliente diventa un gettone di domanda → ARRIVA L'ORDINE

Se ho il pz fisico il cartellino d'ordine (da richiesta di prodotti) va gettata il pz fisico (in $PA_3$)
Se prendo qst prodotti finiti (che hanno i loro cartellini) i cartellini tornano a monte in $DA_2$

Supponiamo che in $PA_2$ c'è un pezzo fisico, attacco il cartellino di $DA_2$ → lo metto in $I_3$

Il cartellino del pezzo di $PA_2$ va in $DA_1$ se c'è pezzo in in $PA_1$ lo attacco a qst e lo metto in $I_2$

In $P_0$ materie prime a cui attaccherò dei cartellini x metterlo in coda.

Posso avere tant pezzi ma se non ho i cartellini → non produco

Nel KANBAN i cartellini sono PART SPECIFIC (per ogni prodotto x ogni stazione)

~~Kanban limita le scorte~~ → ~~non posso avere + scorte dei n° di cartellini~~
↳ | cartellini in DA = scorte

Alcune aziende hanno cartellini elettronici, altre cartellini fisici colorati

Cambiare n° di cartellini non è facile → VORREI DOMANDA USUALE

↳ se cresce domanda → voglio + cartellini → li aggiungo a DA (buffer cartellini)

↳ se diminuisce domanda → se decido di eliminare un n° di cartellini > di qll che stanno su DA non li posso eliminare

SE LA DOMANDA VARIA → non ne vale la pena

Non risponde velocemente alla domanda → SISTEMA POCO REATTIVO

↳ Prima che l'info di domanda passi a monte può passare tempo non accettabile (non tollera picchi di domanda)

I CARTELLINI CIRCOLANO TRA 2 STAZIONI ADIACENTI → tra la stazione su cui si autorizza la produzione e qll precedente

Conwip → costanti WIP = work in progress → tutto quello che non è ne materia prima ne prodotto finito

Ho un unico cartellino che rimando a monte se vendo il pezzo

Se il livello totale delle scorte non scende non produco

Non so a priori dove sono distribuiti i pezzi

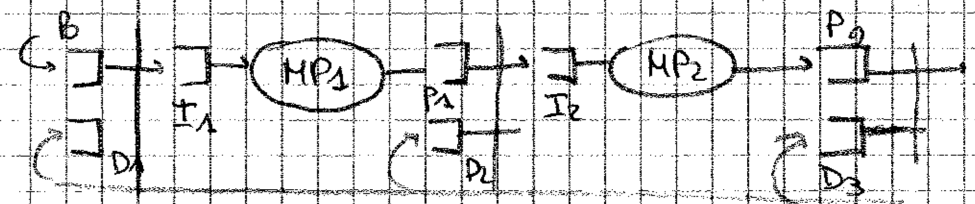
Conwip → meno specifico di kanban (UB e LB)
→ variabilità minore in relazione al cambiamento di domanda

↓

implica maggior responsabilizzazione nella decisione _ posso decidere quale tipologia di pezzo produrre appena ne esce 1

↳ DIMOSTREREMO ROBUSTEZZA EOQ

BASE STOCK = sistema di gestione delle scorte "duale" rispetto al kanban




Arriva l'ordine del cliente → la domanda mi dà origine ad un ordine su tutte le staz precedenti

Sistema pull → l'ordine di produrre arriva dal fondo
↳ l'informazione parte contemporaneam. verso tutte le stazioni

↓

REATTIVO (riduce i ritardi) ma non limita il WIP nel sistema

Se arriva domanda e ho materia prima continuo a produrre a prescindere da quello che ho in magazzino. Ripristino istantaneamente la produzione senza limiti x le scorte e se la domanda diminuisce i pezzi rimangono inutilizz.

Se vendo una bici produco → una bici
→ una ruota
→ un sellino...

L'EXTENDED KANBAN → mette insieme i 2 aspetti migliori
↳ limitare WIP (scorte) come kanban
↳ reattivo come base stock

rientrano nella distinta base.

- ROUTING = i pezzi attraversano le stazioni nella stessa frequenza
  ↓ direzione dei pezzi
  ↓ se la linea è multiprodotto non è detto che il prodotto passi attraverso tutte le stazioni

- ORDINE (legato al cliente) → non diventa 1 job e va in produzione
  di ACQUISTO
  ↳ il cliente può ordinare + cose → se sono 1 azienda multiprodotto
    ↳ e nel job confluisce solo 1 parte del job (ordine di produzione)
      ↳ finito il job devo reimpacchettare l'ordine di ACQUISTO del cliente

- THROUGHPUT (TH) RATE (tasso) – n° di pezzi che escono per unità di tempo
  ↳ dalla stazione
  ↳ dalla linea
  ↳ dal sistema

Può essere frazionato x tipologie di prodotti o può essere considerato x tutto il sistema uniformando l'unità di misura
  ↳ x mettere insieme info su prodotti diversi li devo convertire in soldi.

- CAPACITA' (CAPACITY) – n° di pezzi fatti x unità di tempo di una stazione
  ↳ legata alla capacità delle macchine
  sistema / linee / stazioni / macchine
  ↳ l'inverso del tempo di produzione

- WIP (WORK IN PROGRESS/PROCESS) – Quello che è in trasformaz nel sistema

- CYCLE TIME – tempo ciclo → OPPURE THROUGHPUT TIME
  AVERAGE (medio)
  ↳ tempo che intercorre tra quando 1 pezzo entra a quando esce nel sistema quindi comprese le code di attesa

Inizio del CYCLE TIME = tempo di ingresso materia prima

STAZIONE COLLO DI BOTTIGLIA → in cui si crea la coda + lungo
↳ risorsa sovrautilizzata

CAPACITÀ L.P. = in media su un intervallo di tempo sufficientemente lungo in modo da non essere influenzata da piccoli inconvenienti, le disuniformità possono essere spalmate su un n° sufficiente di pezzi.

SL ↑ TH ↑ CT ↓ WIP ↓ ← SITUAZIONE IDEALE

∴ la performance è del sistema o della gestione del sistema?

Confrontare con l'esterno BENCH MARKING all'inizio della produzione è rischioso:

→ il concorrente può non essere corretto
→ " " ha sistemi diversi apparentemente simili
→ il concorrente può no

BENCH MARKING → con noi stessi → supponendo nel caso in cui tutto fosse perfetto quanti pezzi escono dal sistema?

↳ se la situazione è poco modificabile → cambio il sistema.

In caso contrario è la gestione che non funziona

Bisogna sempre capire come migliorare il sistema

3 CASI - 3 COMPORTAMENTI

- BEST CASE
- WORST CASE
- PRACTICAL WORST CASE

TH, CT, WIP grandezze da analizzare in qst casi.

① Analisi a WIP CONTROLLATO = i sistemi saranno di tipo CONWIP
↳ fisseremo il livello di WIP e andremo a vedere con quel livello che CT e che TH avrò poi aumenteremo il WIP

WIP=1
WIP=2

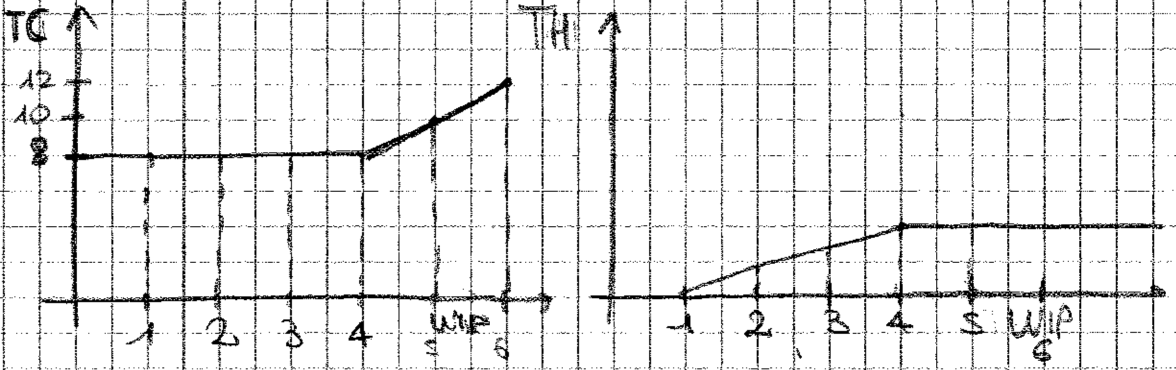
↳ finchè non avremo trovato una legge che lega WIP, TH e CT

Per confrontare un sistema con sistema nel miglior modo possibile devo considerare di inserire gli stessi parametri

↳ BOTTLNECK RATE (tasso del collo di bottiglia)
↳ RAW PROCESS TIME $T_0$ (tempo di attraversamento della linea a linea vuota)

- $WIP = 5$ $TH = 4/8$ in 8 ore usciranno sempre e solo 4 parti
  $\overline{CT} = 10h$ (il quinto deve attendere 2 ore)

- $WIP = 6$ $TH = 4/8$
  $\overline{CT} = 12 h$ la 6° parte deve attendere il tempo di attesa della 5° e poi le 2 h di lavoraz. della 5° parte sulla prima stazione




$CT = T_0$ finché $WIP \leq 4$ se $WIP \geq 4$

dal WIP CRITICO IN POI

$C_0 \; CT = \frac{WIP}{R_B}$

$$TH = \begin{cases} W/T_0 & WIP \leq WIP_0 \\ R_B & WIP \geq WIP_0 \end{cases}$$

$$CT = \begin{cases} T_0 \text{ se } WIP \leq WIP_0 \\ \frac{W}{R_B} \text{ se } WIP > \underset{\text{critico}}{WIP_0} \end{cases}$$

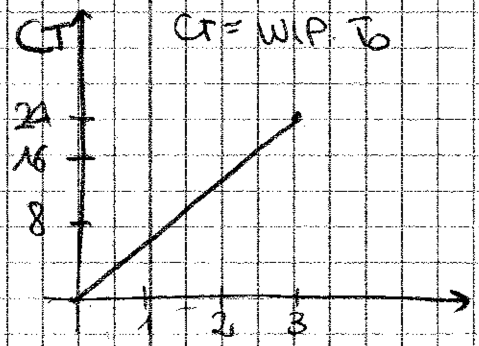
$\boxed{WIP = TH \times CT}$ → legge di Little

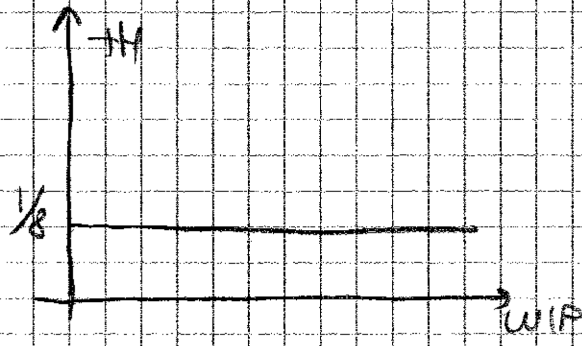
- vale solo sul lungo periodo
- e nei sistemi stabilizzati

WIP CRITICO → WIP che mi permette di avere il max TH con minore possibile tempo ciclo
↓
WIP OTTIMO

Se le stazioni non sono monomacchina o se la linea non è bilanciata il WIP critico sarà sempre inferiore al n° di macchine totali del sistema

Se WIP frazionario → ci sono 2 modi di funzionamento della linea che si alternano nel tempo

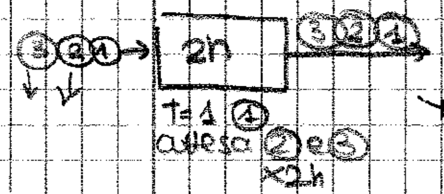



Situazione non molto reale → se impiego del tempo x trasportarli (allora sit. reale) da una stazione all'altra

↓

TRASPORTO A LOTTI




→ ~~tempo che hanno trascorso~~

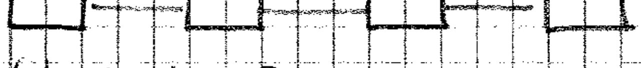
variabilità assoluta!

Non mi interessa sapere il migliore in un'ottica del miglioramento continuo.

È la gestione cattiva se il sistema arriva al WORST CASE

$\boxed{\text{PRACTICAL WORST CASE}}$ → Caso peggiore nella pratica
→ Creiamo le condizioni di max variabilità!

Ogni stato del sistema (n° job in ogni stazione e tempo residuo di lavorazione di ogni job in ogni macchina)



$(t_x, t_x, t_x, t_x)$

x creare max variabilità → posso descrivere lo stato del sistema con il n° di job e dire che tutti gli stati del sistema sono possibili (vettore dei tempi residui)

lo stato è definito solo attraverso il n° di parti x ogni stazione

il sistema ha

- linea bilanciata
- stazioni monomacchina
- tempi distribuiti secondo un esponenziale con media $t_0$ di tutte le stazioni e di tutti i job

la VARIABILITA' mi porta ad incertezze ed attese

l'unico modo x allontanarsi dal PRACTICAL WORST CASE

Sbilanciare la linea → aggiungendo 1 macchina
→ sostituendo la macchina
} aumento capacita'

Gli stati non sono tutti equiprobabili
→ so dove ci sono intoppi

Anche una linea non bilanciata con stazioni non monomacchina e' peg

le 2 macchine identiche e lente hanno il vantaggio che se si rompono ne esiste un altro
→ stati in parallelo → VANTAGGIO

se riesco a ridurre la variabilità → Riduco la probabilità di alcuni stati del sistema rispetto ad altri.

LEGGE DI LITTLE
X IL TEMPO CICLO $= \frac{WIP}{TH}$ → buona approssimazione dei sistemi reali
→ Mi suggerisce cosa fare se voglio un tempo ciclo + basso.

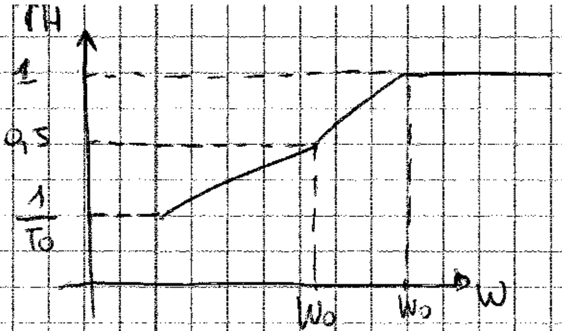
Suppongo di voler mantenere una scorta di sicurezza e il throughput ≃ domanda da soddisfare.
se voglio avere 3 giorni di scorte, di magazzino
lo calcolo tramite il WIP e il TC = 3gg
= ottengo magazzino in pezzi

Come calcolo qnt volte cambio il magazzino? (riempio e svuoto)
INVENTORY RTURNS
→ so quanto tempo un pezzo passa in magazzino

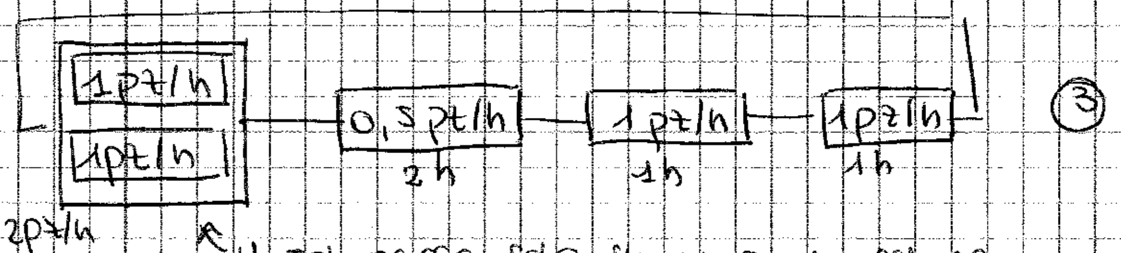
NELL'EOQ qst tempo e' il n° di ordini emessi → $\frac{1}{CT}$
$\frac{1}{fr}$ → frequenza di riordino

$$\boxed{\#\text{INVENTORY TURNS} = \frac{1}{CT} = \frac{TH}{WIP}}$$

→ Bisogna considerare anche la presenza della manodopera infatti talvolta le attrezz HW sono così poco costose che il fattore vincolante e' il personale



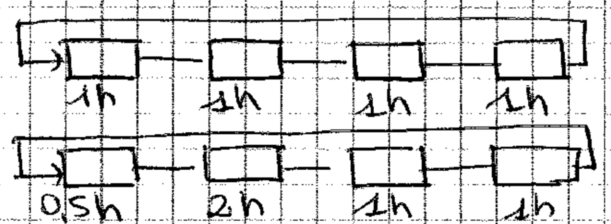

Con un n° di WIP + alto ho un CT + basso e un TH più alto.
Dunque se la mia linea lavora con più di 3 parti conviene comprare la seconda macchina




Il job passa solo su una macchina.

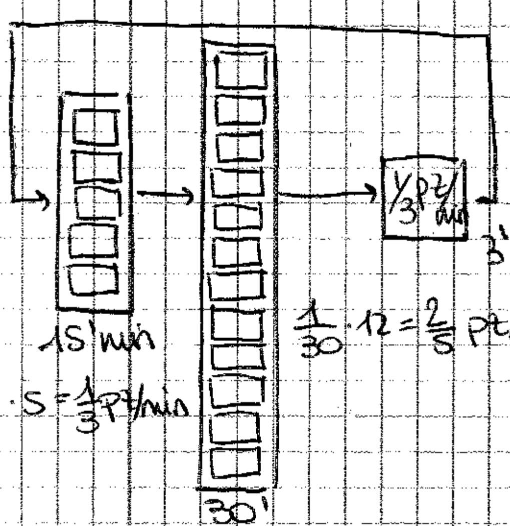
$T_0 = 5h$
$r_b = 0,5$ — macchina con capacità minore
$W_0 = 2,5$

CONFRONTARE QUESTE DUE LINEE. Come variano i parametri?




Questi 2 casi ci danno gli stessi risultati del caso 1 e 5

Capire cosa succede prima di fare i calcoli




$\frac{1}{30} \cdot 12 = \frac{2}{5}$ pz/min

$\frac{1}{15} \cdot 5 = \frac{1}{3}$ pz/min

$T_0 = 48'$  $r_b = \frac{1}{3}$ pz/min

$W_0 = 16$ p

| STAZIONE | $r_e$ | $t$ (h) |
|---|---|---|
| 1 | 191,5 | 1,2 |
| 2 | 186,2 | 5,9 |
| 3 | 150,2 | 6,9 |
| 4 | 157,8 | 5,6 |
| 5 | 185,9 | 5,6 |
| 6 | 136,4 | 1,5 |
| 7 | 146,2 | 2,2 |
| 8 | 126,5 | 2,4 |
| 9 | 169,5 | 1,8 |

OBIETTIVO: 3000 pz/g = $TH_d$

95% SERVICE LEVEL

STATO ATTUALE:

TH = 1100 pz/g = 45,85 pz/h

WIP = 37'000 p

CT = 34 g

SERVICE LEVEL 75%

ATTIVITA' DI BENCHMARKING INTERNO

$r_b = 126,5$ pz/h (stazione con capacità minore)

$T_0 = t_1 + \dots + t_9 = 33,1$ h

$W_0 \cong 4187$ pz

Dobbiamo capire se siamo sotto o sopra la curva del practical worst case (PWC)

Se W = 37'000 e il sistema ~~...~~ si trova nel caso di PWC

TH? CT=?

$$TH = \frac{37'000}{37'000 + 4187 - 1} \cdot 126,5 = 113,6 \text{ pz/h}$$

Siamo sotto la curva di PWC (siamo molto lontani)

oppure

$45,83 \cong 36\% \cdot r_b$

$$0,36 \cdot r_b = \frac{W}{\underbrace{W_0}_{4187} + W - 1} \cdot r_b \rightarrow W \cong 2354 \text{ pz}$$

2354 → 37'000

il nostro sistema ha grandi inefficienze a livello di controllo

Sicuramente possiamo migliorare il sistema

Se possiamo a fare 126,5 pz/h · 24 ≅ 3036

Per avere 3000 pz/g bisogna cercare di aumentare la capacità

$N_s$ = numero lotti tra 2 setup $= \frac{60h}{2h} = 30$ ← n° medio di lotti che riesco a fare tra 2 setup succ.

$t_e = t_o + \frac{t_s}{N_s} = 120 + \frac{120}{30} = 124'$ → tempo medio tra 2 guasti = tempo medio riparazione

$\sigma_e^2 = \sigma_0^2 + \frac{\sigma_s^2}{N_s} + \frac{(N_s - 1)}{N_s^2} t_s^2$

$\sigma_s = C_{s1} \cdot t_s = 1 \cdot 120$

→ $\sigma_e^2 = 135 + \frac{(1 \cdot 120)^2}{30} \frac{(30-1)}{30^2} 120^2 = 1079 \ m^2$

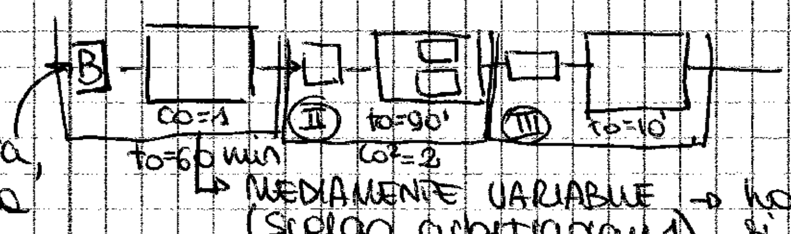
$C_e^2 = \frac{1079}{1242} = 0{,}070$ $\quad C_e = 0{,}265$ →

↳ limito i momenti in cui si può guastare la macchina
(la macchina si può guastare solo qnd fa setup)

③ $r_a = 10$ ordini/giorno
↳ tasso di arrivo nella linea

$r_e = \frac{10}{16}$ ordini/ora $= \frac{10}{16 \cdot 60}$ ordini/min =
↳ 2 turni da 8 ore

3 REPARTI = 3 STAZIONI = 3 CODE




↳ MEDIAMENTE VARIABILE → ho 2 operatori che si alternano su un'unica macchina
(scelgo arbitrariamente 1)

Ⓘ
$C_o = 1$
$T_o = 60$ min

B = buffer

Ⓘⓘ 2 operatrici nello stesso turno → 2 macchine in // identiche

$t_o = 90'$
$C_o^2 = 2$

98 → in 2 → è possibile perché riduco i miei costi di trasporto (ho maggior probabilità di successo)

**CM** l'unico caso che considero per P2 (284) → in 2

IL LT è 2 gg ci sono già ad uno stato avanzato di produzione

**C1**

**C2**

CALCOLO DEI COSTI → GUARDO CH $h = 0{,}3$

P001 $(3+52+13+13+52) \cdot 0{,}3$ → sommo tutti gli CH

il totale di tutti i 5 codici 2886,6 €

Costo magazzino x periodo: da calcolare

**CM 1**

| | 1 | 2 | 3 | 4 (816) | 5 | 6 (969) | 7 | 8 (561) | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FL | / | 316 | | 816 | | 969 | | | |
| CA | 284 | 252 | | | | | | | |
| OH 300 | 300 | 140 +300 | 140 +300 | 300 +140 | 300 | 300 | 300 | ~~300~~ | 300 |
| FN | / | / | | 676 | | 969 | | 187 | |
| OP | / | / | | 676 | | 969 | | 561 | |
| OR | / | 676 | | 969 | | 561 | | | |

SS = 300 pz
$I_0$ = 300 pz
CA = 284 × t=1
252 × t=2
L4L
LT = 4 week

**CA 1** codice livello 2

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FL | 62 | 808 | 39 | 1241 | 52 | 884 | 78 | 187 | 0 |
| CA | / | / | | | | | | | |
| OH 410 | 358 | 550 | 511 | 270 | 218 | 334 | 256 | 69 | 69 |
| FN | / | 450 | / | 730 | / | 666 | / | / | |
| OP | / | 1000 | | 1000 | | 1000 | | | |
| OR | 1000 | | 1000 | | 1000 | | | | |

FOQ 1000 pz

**CA2**

2x OR(P1) + 1(OR)(CM)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FL | 124 | 676 | 78 | 969 | 104 | 561 | 156 | / | / |
| CA | | | | | | | | | |
| OH 447 | 323 | 347 | 269 | / | 596 | 35 | 544 | 544 | 544 |
| FN | / | 353 | / | 700 | 104 | / | 121 | | |
| OP | | 700 | / | 700 | 700 | | 700 | | |
| OR | 700 | | 700 | 700 | | 700 | | | |

POQ = 700 pz
LT = 1 sett

TABELLA di tempi β

| STAZ 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Capacità tot richiesta | 435 | 160 | 705 | 205 | 255 | |
| Capacita' dispon | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | |
| Δ +/- | 45 | 320 | -225 | 275 | 225 | |

$$\frac{\text{disp} - \text{richiesta} =}{\Delta}$$

bisogno di straordinario
4 h → 1 turno ~ 240 h
i 225 ~~forse~~ sono anticipabili al periodo 2
↳ devo spostare le unità di prodotto sia su 2 che su β → è fattibile

si può usare lo straordinario → ANTICIPO non 225 ma anticipo unità

Gli anticipi non devono violare le capacità di β

ES 4)

1. SILVER-MEAL (LUC) → 620 ⊗ più conveniente → costi fissi + costi mag
2. L4L = 800 → costi fissi
3. FOQ = 960 → costi " + " "

ES 3

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 100 | 30 | 20 | 50 | 20 | 30 | 10 | 50 | FL = FN |
| $Q_t$ | 100 | 50 | / | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | → OP |
| $I_t$ | / | 20 | / | / | 30 | / | 40 | 40 | → OH |

Costo tot = $C_A + C_I$

→ $A \cdot (n°\ \overset{7}{\text{ordini}})$ → quante caselle piene $Q_t$

+

→ $h \cdot (20+30+40+40)$

= 700 + 960

ES n° 6) REGOLA WW - MRP con Wagner Whitin

Si procede normalmente fino al primo tabb ??

A

| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dt | 1 | 0 | | | | 50 |

→ faccio qst riga nel I° periodo metto i° t.n.

1) Opzione 1 produci 1 in t=3 e 50 in t=8

2) Opz 2 produci 50+1 in t=3

non avrebbe senso produrre

1) Costo totale = 248 + 248 = A + A =

2) Costo totale = 248 + 50·5·1 =

periodi in cui vengono tenuti in magazzino

diventa conveniente accorpare gli ordini

Quindi riporto nella tabella le conclusioni

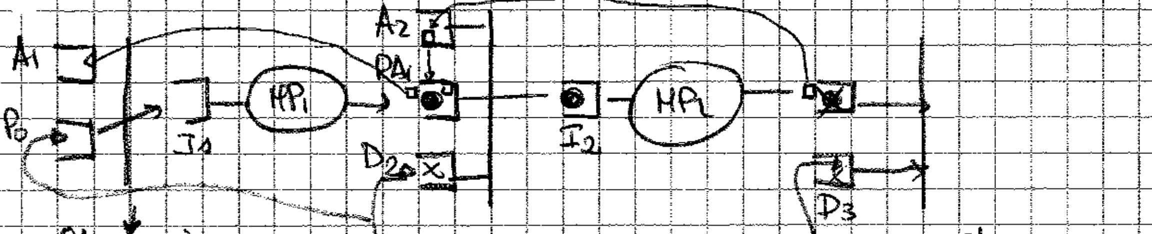
B

Se ho un unica domanda l'unica opzione è produrre in quel periodo x quel periodo

Avrei un ritardo

L'extended avrà 2 parametri

- n° di kanban
- livello di partenza delle scorte (come base stock)




l'insieme dei buffer che alimentano le stazioni di sincronizz. si chiamano = stazioni di collegamento

Quando arriva la domanda faccio come nel b. stock
l'info arriva a tt le stazioni
Ma ne accodo alla produzione se ho un pezzo fisico in PA e un cartellino di autorizzazione

la domanda è subito mandata indietro → REATTIVITÀ BASE STOCK
ma controllo le WIP come nel kanban → se una stazione si blocca non produco → non accumulo WIP

↳ Per ogni stazione devo però stabilire il n° di kanban e il livello delle scorte

$k_i$ = n° di cartellini x stazione i-esima
$s_i$ = pezzi già fatti (livello di scorte alla stazione i)

$k_i - s_i$ = cartellini liberi

Nell'EXTENDED KANBAN avrò $k_i \geq s_i$

Se il n° di cartellini è infinit. grande l'estended kanban → si riduce al base stock

se $k_i \to +\infty$ (ho sempre cartellini e se ho pezzo fisico e ho domanda produco)

se $s_i \to 0$ EXTENDED KANBAN = KANBAN

Se conosco bene il sistema e so (gestire) i tempi di produzione e se riesco, in termini probabilistici, posso simulare il sistema.

↳ x stabilire i parametri

14/04

3

MEDIA: stato equivalente dell'uniformità del mio sistema
↳ momento primo, punto centrale

VARIANZA: lo spostamento medio dalla media

NON posso eguagliare MEDIA & VARIANZA (al quadrato) poiché non hanno stessa unità di misura
la VARIANZA nell'unità di misura non ha alcun significato fisico

↳ x qst uso deviazione standard

MEDIA $t$ , DEV. STANDARD $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ — MISURA DI VARIABILITÀ

la misura che daremo di variabilità → $\boxed{\text{COEFFICIENTE DI VARIAZIONE } c,\ CV}$

$$CV = \frac{\sigma}{t} = \frac{\text{deviazione standard}}{\text{media}}$$

se non c'è varianza $CV=0$ → deviazione standard $=0$

$C^2 = \frac{\sigma^2}{t^2}$ → COEFFICIENTE DI VARIAZIONE AL QUADRATO

in quasi tutte le formule useremo $C^2$ →

SE $C < 0{,}75$ → SISTEMA A VARIABILITÀ BASSA
SE $C > 1{,}33$ → SISTEMA A VARIABILITÀ ALTA
SE $0{,}75 \le C < 1{,}33$ → " " " MEDIA

SCELTA ARBITRARIA

→ se è un processo mediamente variabile e non ho $\sigma$ o $t$ → uso un qualsiasi valore di C (ad es. 1)

→ un processo ESPONENZIALMENTE DISTRIBUITO → alta variabilità ($C=1$)

$\boxed{\text{VARIABILITÀ}}$ → le macchine sono soggette a variazioni di temperature, umidità

↳ NATURALE: dipende dai fattori difficili da quantificare (variabilità molto bassa)

se indico come $t_0$ media e $\sigma_0$ come deviazione

↳ $C_0 = \frac{\sigma_0}{t_0} < 0{,}75$

↳ GUASTI → la macchina si rompe con il job dentro
↳ NON PREEMPTIVI (non possono accadere durante processo)
↳ PREEMPTIVI (possono accadere durante processo

↳ SETUP → rattrezzaggio

↳ fermi macchina NON PREEMPTIVI (che non accadono durante il processo)

TEMPO EFFETTIVO MEDIO DEL GUASTO

$t_e = \frac{t_0}{A} \geq t_0$ $A = 1 \rightarrow MT = 0 \rightarrow$ NO GUASTI

+ ALTO è A → $t_e \geq t_0$

+ BASSO è A → $t_e \geq t_0$

$\sigma_e^2 = \left(\frac{\sigma_0}{A}\right)^2 + \frac{(m_r^2 + \sigma_r^2) A\, t_0}{A\, m_r}$ → DEVIAZIONE STANDARD DEI GUASTI

$\frac{\sigma_e^2}{t_e^2} = C_e^2 = C_0^2 + \frac{(m_r^2 + \sigma_r^2)(1-A)A}{m_r \cdot t_0}$

$C_e^2 = C_0^2 + \frac{m_r(1-A)A}{m_r \cdot t_0} + \frac{\sigma_r^2(1-A)A}{m_r \cdot t_0} \geq C_0^2$

compon. naturale — esiste un tempo di riparazione — tempo di riparaz. variabile

→ VARIABILITÀ DOVUTA AI GUASTI = $C_e^2 = \frac{\text{DEVIAZ. STANDARD GUASTI}}{\text{TEMPO MEDIO EFFETTIVO A CAUSA GUASTI}}$

## SETUP

$t_s$ = media del tempo di setup (tempo impiegato x il riattrezzaggio)
$N_s$ = n° medio di job tra 2 setup consecutivi
$\sigma_s$ = deviazione standard del tempo di setup

ho come dati $t_0$, $\sigma_s$ e $C_0$

$\boxed{t_e = t_0 + \frac{t_s}{N_s}}$ → tempo effettivo medio

supponendo che $N_s = 5$ → job 1 $t_0 + t_s$ → tempo di setup che si sorbisce il I in realtà poi viene distribuito
job 2 $t_0$
job 3 $t_0$
job 4 $t_0$
job 5 $t_0$

$t_e = \frac{N_s \cdot t_0 + t_s}{N_s}$

$\sigma_e^2 = \sigma_0^2 + \frac{\sigma_s^2}{N_s} + \frac{(N_s - 1)}{N_s^2} t_s^2$ → tempo setup variabile

variabilità naturale — divido la varianza di setup tra i job

$\boxed{C_e^2 = \frac{\sigma_e^2}{t_e^2}}$ → sostituendo si trova un espressione che non consente la distinzione dei fattori

→ non si separano gli effetti

→ non è scontato che $C_e > C_0$

se il numeratore aumenta proporzionalmente

Sulla M1 (prima macchina della linea) arrivano gli ordini ovvero la domanda a-arrivo che ha una sua variabilità $Ca$

Solo x la prima: $Ca$ → arrivi dall'esterno

Se la macchina non è sovrautilizzata → escono nella macchina tanti pezzi quanti entrano

Se la macchina è in grado di fare $r_e$ pezzi $r_e = \frac{1}{t_e}$ scriviamo i pezzi di uscita

Dalla $M_2$ escono $r_2$ pezzi

$$\boxed{M_1} \longrightarrow \longrightarrow \boxed{M_2}$$

$$\boxed{Cd_1^2 = Ca_2^2}$$

coeff. di variazione di uscita

Quello che esce dalla macchina 1 entra nella macchina 2
il C in ingresso in $M_2$ è uguale al C in uscita da M1

ESEMPI

① MACCHINA VELOCISSIMA

$$u = \frac{r_a}{r_e} = \frac{1}{10\,000\,000} \cong \emptyset \longrightarrow Cd^2 = Ca^2$$

$r_a$ → quantità di roba che entra
$r_e$ → capacità
$u$ → utilizzo

↳ con quale variabilità i pezzi escono dalla macchina

② MACCHINA LENTISSIMA

$$u = \frac{1000000}{1} \cong 1 \rightarrow Cd_1^2 = Ce_1^2$$

la variabilità è data dalla variabilità effettiva della macchina 1
← la macchina è sempre occupata

③ se $0 < u < 1$ situazioni intermedie

$$\hookrightarrow \boxed{Cd_1^2 = u^2\, Ce_1^2 + (1-u^2)\, Ca^2} \rightarrow \text{VARIABILITÀ IN USCITA STAZ. MONOMACCHINA}$$

determinare i coefficienti di variazioni di tutte le macchine e di tutte le stazioni → $Cd^2$

Se una stazione ha m macchine

$$\boxed{Cd_j^2 = 1 + (1-u_j^2)(Ca_j^2 - 1) + \frac{u^2}{\sqrt{m}}(Ce_j^2 - 1)} \rightarrow \text{VARIABILITÀ IN USCITA STAZ. CON M MACCHINE}$$

FLOW VARIABILITY

→ 1° macchina – tasso arrivo $r_a$ (domanda) e se la macchina non è sovrautilizzata escono tanti pezzi quanti ne entrano (caso ideale)
$r_a = r_e$ (tasso di processam. pezzi)

$$Cd_1^2 = \begin{cases} Ca_1^2 \\ Ce_1^2 \\ \text{INTERMEDIO} \end{cases}$$

→ Quello che esce da 1 stazione è uguale a ciò che entra nella II → anche la variabilità tempo di interarrivo - tempo intercorrente tra 2 arrivi successivi

↳ $t_a = \frac{1}{r_a}$ → $\boxed{c_a = \frac{\sigma_a}{t_a}}$ → variabilità del tempo di interarrivo

PROCESSO SERVIZIO → $t_e$ (tempo di processi), $c_e$, $r_e = \frac{1}{t_e}$

$t_e$, $c_e$, $r_e$ → ENDOGENI (calcolati all'interno) → del servente

$r_a$, $t_a$ → ESOGENI (x la I coda) → arrivi dall'esterno della coda

Studiando la coda non ci interessa processo d'uscita = processo d'ingresso della coda successiva

↳ $r_a$ e $c_a$ della II coda saranno = a quelli in uscita dalla coda I

$r_d$ e $c_d$ → determinabili con $r_a$ $c_a$ e $r_e$ $c_e$ → tasso e variabilità di processo che sono influenzati da guasti o setup

NOTO CIÒ CHE ENTRA E NOTO CIÒ CHE SUCCEDE NEL SERVENTE

↳ determino quanto tempo in media un pezzo aspetta in coda

↳ TROUGHPUT

VALE SEMPRE LA LEGGE DI LITTLE $\boxed{WIP = TH \cdot CT}$

CAMPI

A → processo di arrivo (arrivi esponenziali)

↳ M (MARKOVIANO) — $r_a$ distribuito con poisson — $t_a$ distribuito con esponenziale

↳ G = una qualunque distribuz. che non sia esponenziale (GENERALE)

↳ D = deterministico

B → processo di servizio

↳ M

↳ G

↳ D

m → n° di serventi/macchine (qualunque valore intero ≠ 0)

b → [illegible] n° massimo di parti/job nella coda ≠ dimens. buffer

↓

comprende anche le parti in funzione nel servente

① M/M/1 ≡ M/M/1/∞ → processi arrivo markoviani, un solo servente, buffer ∞

② M/M/m → tempi esponenziali, macchine in parallelo

③ G/G/1' → distribuzioni generali dell'arrivo e del processo _ unico servente

# STUDIO DELLE CODE

NOTO IL TH = ra → devo trovare il WIP così poi applico LITTLE e trovo tempo ciclo

OBIETTIVO: trovare n° pezzi all'interno del sistema (WIP) nella coda M/M/1

I tempi esponenziali → rendono i sistemi privi di memoria in arrivo e in processo.

↓

non gli interessa quando il pezzo è arrivato prima:

se il tempo medio di arrivo di 1 pz è 1 h se il II pezzo arriva dopo 5 minuti il III arriverà sempre dopo 1 h (all'interno della probabilità futura)

Nel nostro sistema posso avere n° parti infinite (STATI) → un n° infinito di stati nei sistemi aperti ← N° STATO = n° parti nel sistema

① → ② → ③ → ④ ... ⓝ ⓝ+1 ...

PROCESSI POISSONIANI → Arriva 1 pz alla volta (non arrivano pz a lotti)

- Il nostro sistema si può spostare solo sugli stati adiacenti

(es: può passare da 7 a 6 se un pezzo non è entrato ma 1 è uscito)

CONSIDERIAMO 2 STATI ADIACENTI

$$n \underset{re \cdot p_{n+1}}{\overset{ra \cdot p_n}{\rightleftarrows}} n+1$$

passo da $n \to n+1$ se un pezzo arriva con tasso ra

passo da $n+1 \to n$ se un pezzo esce con capacità re

$p_n$ = probabilità di essere nello stato n

$p_{n+1}$ = probabilità di essere nello stato n+1

$ra \cdot p_n$ = up_rate → aumento il n° di job nel sistema

$re \cdot p_{n+1}$ = down_rate → diminuisco il n° di job nel sistema

ALL'EQUILIBRIO → up_rate = down_rate

$$ra\, p_n = re \cdot p_{n+1}$$

se fossero diversi ci sarebbero punti di accumulazione degli stati del sistema

$$ra \cdot p_n = re\, p_{n+1} \Rightarrow p_{n+1} = p_n \frac{ra}{re} \Rightarrow p_{n+1} = p_n\, u$$

ALLORA

$$p_1 = p_0\, u$$

$$p_2 = p_1 \cdot u = (p_0 \cdot u) \cdot u = p_0 u^2$$

$$p_3 = p_2\, u = (p_0 u^2)\, u = p_0 u^3$$

$$p_n = p_0 \cdot u^n \longrightarrow \boxed{p_n = p_0 u^n}$$

ALL'EQUILIBRIO DEL SISTEMA

la probabilità che un sistema si trovi in uno stato n = $p_0$ (sistema NON usato) × $u$ ↑ n (n° parti nel sistema)

$TH = r_a$

DOMANDA DA ESAME ORALE

$WIP = \frac{u}{1-u}$

$CT = \frac{WIP}{TH} = \frac{u}{1-u} \cdot \frac{1}{r_a} = \frac{r_a}{r_e} \cdot \frac{1}{1-u} \cdot \frac{1}{r_a} = \frac{t_e}{1-u}$

- $u = \frac{r_a}{r_e}$
- $r_e = \frac{1}{t_e}$

$CT$ → tempo di attravers.

$CT_q = CT - t_e = \frac{t_e}{1-u} - t_e = \frac{u}{1-u} \cdot t_e$

CT = tempo medio di processamento

$CT_q$ → ct di attesa in coda

$t_e$ → tempo di attraversamento

OPZIONI

① $WIP_q = WIP - u$

$WIP_q$ = n° medio di parti in attesa

$WIP$ → n° medio di parti nel sistema

$u$ → n° medio di parti in processo

| | NON LAVORA | O LAVORA CON 1 CARICO |
|---|---|---|
| n° parti in processo | $\emptyset$ | 1 |
| probabilità che il sistema non lavora → | $1-u = p_0$ | |
| che il sistema lavora → | | $u$ |

n° medio parti in processo

$0(1-u) + 1 \cdot u = u$

$\emptyset \cdot p_0 + 1$

la coda può processare solo 1 pt alla volta

② $WIP_q = CT_q \cdot TH$ → $\boxed{\text{LEGGE DI LITTLE}}$

$= \frac{u}{1-u} \frac{1}{r_e} \cdot r_a = \frac{u^2}{1-u}$

- $\frac{r_a}{r_e} = u$

l'utilizzo è una misura del throughput

→ $u = \frac{r_a}{r_e} = \frac{TH}{r_e}$

→ misura delle prestazioni della coda

Volendo rilassare l'esponenzialità degli arrivi o dei processamenti risulta un problema

→ gli stati del sistema non sarebbero descritti dalle sole parti presenti nel sistema

↓

SAREBBERO TROPPI STATI & INGESTIBILI