NUMERO: 1350 ANNO: 2014

# A P P U N T I

STUDENTE: Toscano

MATERIA: Programmazione e Controllo della Produzione + temi + Eserc., Prof.Alfieri_Cantamessa

01/10/2013

Giovedì prossimo → caso ⇒ 'Kristen's Cookies'
divisi in due squadre.

Materiale:
- Testo assemblato → e-book ⇒ 'Programmazione e controllo della produzione' Alfieri, Cantamessa
(cartoleria alla cecid)
- dispense lotto economico
- capitolo 4 logistica

ESAME: (ricevimento su appuntamento)
3 feb | 20 feb
- venerdì mattina
- alcuni lunedì

---

incontro tra domanda e offerta → Matching supply with demand

aggiustamento di prezzo → domanda ≠ offerta
↳ sintomo che qualcosa non va.

non è istantaneo, ci vuole tempo perchè si verifichi
ci sono parecchie dinamiche dietro

non funziona, dunque è pericoloso

esempi:
- 2006 - Nintendo, 'Wii'

domanda molto maggiore di quella che ci si attende
↓
offerta non sufficiente

Commendatore Rossi acquista le Wii e le rivende ad un prezzo più alto → l'aggiustamento di prezzo non è stato efficiente nè per i clienti, nè per i produttori.

- 2007 - Dell perde quote sull'HP

tempi allungati generando revoche di ordine e acquistando ~~un ottima~~ un'immagine negativa agli occhi dei clienti

- numero di pazienti non rientra nei posti disponibili negli ospedali. (quantità)

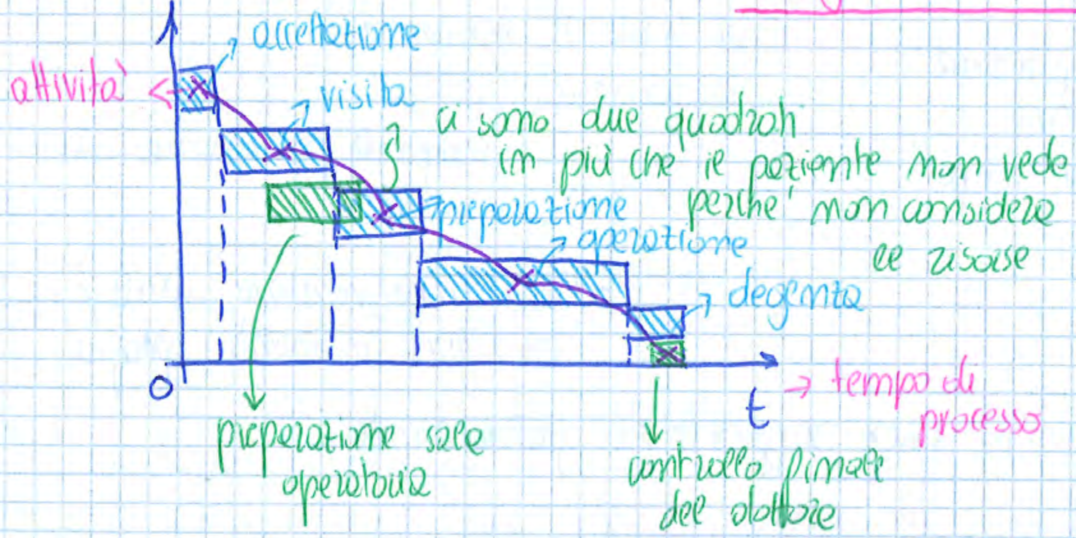
Non posso migliorare uno senza peggiorare l'altro, si parla di trade-off.
Per avere efficiente devo collocarmi sulla curva
↳ muoversi sulla curva non implica fare investimenti, ma solo decidere come usare le risorse
spostare la frontiera determina dei costi

## Processo:

1) azienda ospedaliera → reparto di un ospedale → chirurgia radiologica
strumenti di una radiologia usate durante piccoli interventi non invasivi. → tempi di recupero più veloci per il paziente
→ minimizzazione dei tempi di degenza o dei rischi per il paziente e ottimizzazione della funzionalità della struttura.

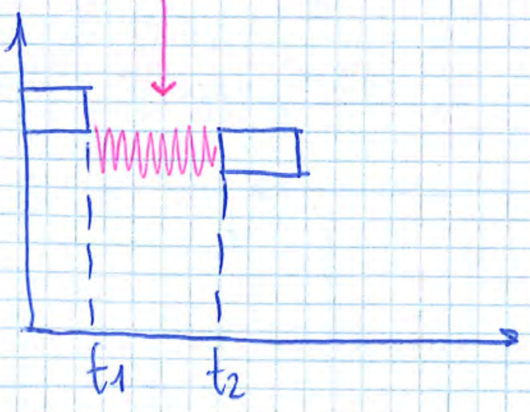
- dall'occhio del paziente:
- dall'occhio del sistema:

## Diagramma di Gantt




Cammino critico: attività che se ritardate ritardano tutto il processo

Ci sono dei tempi d'attesa tra le varie attività!




↳ queste attese sono sintomo di mis-matching tra domanda e offerta causate da:
↳ risorse scarse (limitate)
↳ tempi variabili

Come faccio a valutare la criticità di una situazione?

Per valutare si guardano i valori medi.
Rappresento un sistema in aggregato se guardo i valori medi.

CT piccolo → LS grande : ho interesse a minimizzare il flow time.
il limite di riduzione del CT e' il tempo di processo.
vanno sommate le attività che sono sul cammino critico per calcolare il tempo di processo, ovvero le attività che non possono essere sovrapposte.

WIP costa, quindi non lo vogliamo → WIP piccolo, ma non può essere pari a zero.
↓
il WIP ottimo e' quello che mi permette di avere il massimo TH con il minimo CT, ma così ci sono troppi gradi di libertà.

$\boxed{WIP = TH \times CT}$ → LEGGE DI LITTLE → legame delle misure di performance in termini €
↳ ha validità universale

le logiche di servizio possono variare, la legge di Little e' universalmente valida.
Il problema e' che ho una sola equazione con 3 incognite ⇒ due vanno stabilite. → posso decidere di avere lo stesso WIP con TH ↑ e CT ↓ o con TH ↓ e con CT ↑

La seconda equazione deve venir fuori dal sistema preso in considerazione.
Little serve quando abbiamo due valori e vogliamo calcolare il terzo.
Quando determinare un valore e' complicato (oneroso), mentre per le altre due non lo e' posso usare Little.

Se provassi ad applicare la legge di Little ad un fruttivendolo avrei il problema che il fruttivendolo vende frutti differenti! Quindi che si fa?
C'e' un'unità che aggrega tutto → l'unità monetaria

$$\begin{array}{ccccc} WIP & = & TH & \times & CT \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ € & & €/t & & t \\ (\text{costo}) & & (COGS) & & \end{array}$$

CT → tempo medio in cui un pezzo sta in mg
→ giorni di magazzino
→ quanto tempo ci mette un investimento a trasformarsi in ricavo.

COGS → costo delle merce che ho venduto

pipeline inventory → accumulo di oggetti presente perchè il tempo di processo non è nullo.

lavorando sulla durata del CT posso ridurre il WIP, in questo caso.

2) scorte di stagionalità → prodotti venduti in un determinato periodo, ma prodotti durante l'anno per problemi di capacità produttiva.

per ridurre queste scorte aumentare la capacità produttiva

sono dovute alla stagionalità delle vendite ma anche alla stagionalità dei prodotti necessari per produrre qualcosa che si vende tutto l'anno.

3) avere costi di trasporto o di produzione mi inducono a lavorare a lotti. sia chi produce che chi riceve accumula scorte

scorte di ciclo

4) scorte di sicurezza → produco di più a causa dell'indeterminatezza della domanda

5) In una linea di produzione sono necessari dei buffer che servono a disaccoppiare gli stadi, in questo modo si evita che un ritardo in uno stadio determini ritardo su tutta la linea.

scorte di disaccoppiamento

↳ sono necessarie sia con operatori umani, sia con macchine

scorte in WIP

---

09/10/2013

Matrice prodotto - processo: ?

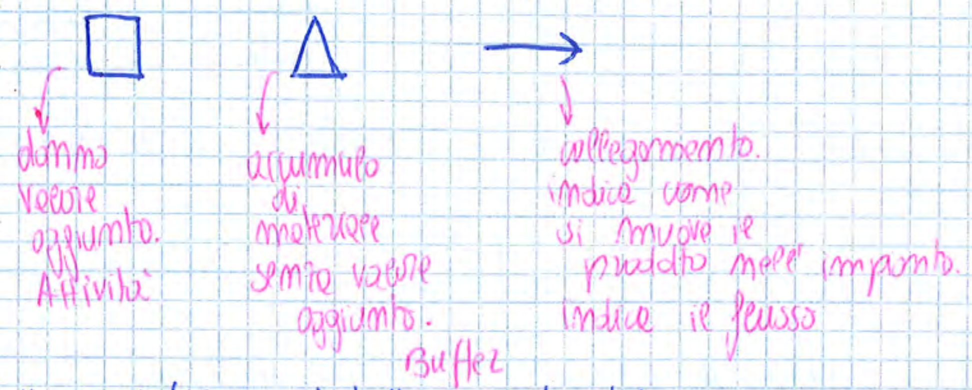
Differenzia i processi in base a due aspetti: volumi di produzione e tipologie di sistema produttivo.

## Valutare la capacità di un processo:

Non è il TH, può esserlo oppure no.

esempio:

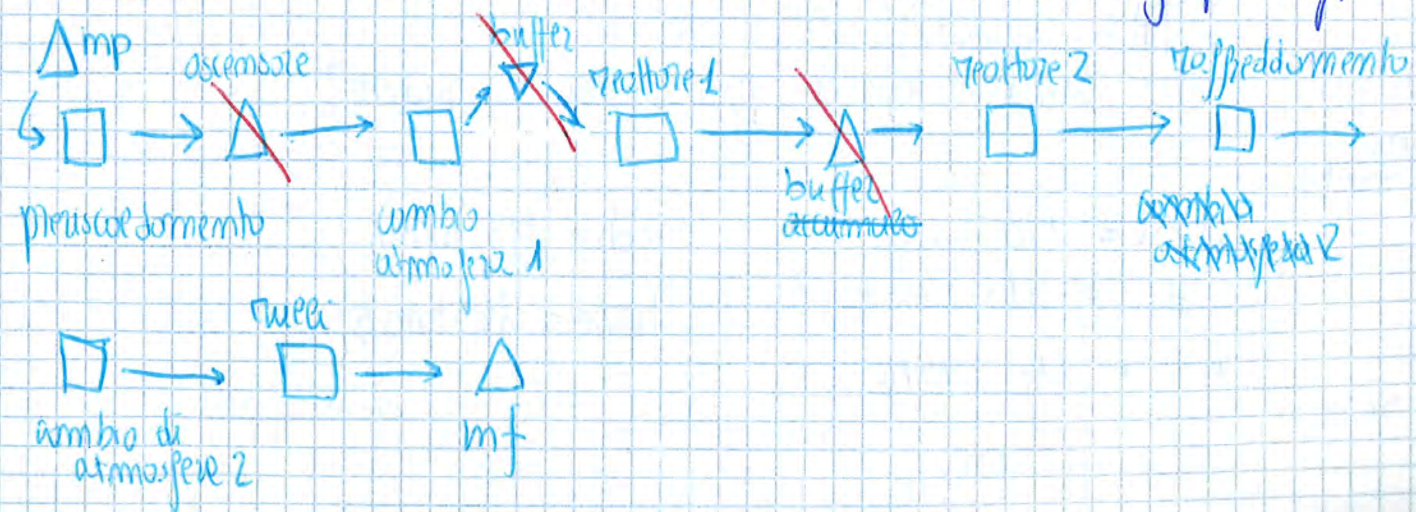
Azienda che produce barre di ferro.
Disegniamo un diagramma del flusso del processo (process flow diagram)




Ciò che ci interessa è tutto o parte del processo
1) dobbiamo scegliere a cosa, a quale parte del processo, siamo interessati
2) dobbiamo scegliere la flow unit (unità)

Dunque cosa modellizzo e l'unità ~~a~~ a cui faccio riferimento.

> Il materiale preriscaldato, poi caricato su un ascensore e portato ad un livello dell'impianto dove il materiale viene trasferito in un'altra atmosfera (dentro contenitori), in un reattore, o in un processo di riduzione, questo reattore è in grado di processare 28 t di materiale in 15 min. Un secondo reattore può contenere 200 t per 1 h. Dopo la seconda reazione, l'idrogeno ad alta velocità viene fatto passare sul materiale per portare al temp a 686°C. Dopo sostituisco l'idrogeno con un gas neutro, faccio passare il materiale tra rulli e metto le lastre ottenute in un mg prodotti finiti.



capacità processo = 100 tons/h = CdB

1 materiale suff, domanda non minore

dunque è più corretto definire:

$$\boxed{\text{flow rate} = \min[\underbrace{\text{capacità, input}}_{C.C.}, \underbrace{\text{domanda}}_{D.C.}]}$$

- Quando TH = capacità ⟶ capacity-constrained o supply-constrained
- Quando TH = domanda ⟶ demand-constrained

Come determino il tempo di processo?

legge di Little

$\frac{X}{TH}$ → è valida solo se funziona a regime → nel caso in cui non ci troviamo in questa situazione va aggiunto un qualcosa in più → $\frac{X}{TH} + Y$

produzione continua

Utilizzo (Utilisation rate):

riguarda l'uso delle risorse.

$$\boxed{U = \frac{TH}{\text{capacità}}}$$

- se siamo in un caso di CC → U = 1
abbiamo un ottimo utilizzo, il massimo possibile

- se $U < 1$ ho un mis-match dovuto ad una domanda minore dell'offerta.
- se $U = 1$ non so se la domanda è uguale all'offerta o se è maggiore dell'offerta

Come faccio a determinare in quale dei due casi mi trovo?

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 13 di 302

| Attività | tempo | n° lavoratori | capacità | I-U |
|---|---|---|---|---|
| Archiviazione | 3 min/c | 1 | 1/3 = 20 c/h | 18/20 = 0,9 |
| Branchmarking | 8 min/c | 2 | 2/8 = 15 c/h | 9/15 = 0,27 |
| datori lavoro | 15 min/c | 3 | 3/15 = 12 c/h | × 14/12 = 1,17 |
| contatto allegati | 20 min/c | 2 | 2/20 = 6 c/h | 3/6 = 0,5 |
| lettere | 2 min/c | 1 | 1/2 = 30 c/h | 18/30 = 0,6 |

risorsa scarsa

CdB

Per individuare il CdB devo calcolare l'utilizzo e per farlo ho bisogno della domanda → la risorsa più scarsa non coincide con il CdB.

| | Domanda (curr./h) |
|---|---|
| Cons. | 3 |
| staff | 11 |
| Tirocini | 4 |

se per le 3 tipologie ci fosse tempi diversi

Il flusso è unico → $I\text{-}U = (3+11+4)/20$

↓

la capacità va considerata come min/h e allo stesso modo la domanda.

| Capacità | Domanda | I-U |
|---|---|---|
| 60 min/h | 84 min/h | 84/60 × |

L'unità di tempo è più flessibile perché avrei gli stessi risultati sia con tempi uguali che con tempi diversi.

Il CdB non è un concetto statico, è statico solo se lo lego alla risorsa.

Siamo in un caso di supply-constrained. ×

(domanda > capacità)

| Attività | Domanda | Capacità | I-O |
|---|---|---|---|
| Ascensore | 15 | 100 | 15/100 |
| Imm. USA | 10 | 10 | 10/10 |
| Imm. non USA | 5 | 3 | 5/3 → risorsa CdB utilizzata |
| Bagagli | 15 | 10 | 15/10 → risorsa utilizzata |
| Dogana | 15 | 20 | 15/20 |

Dall'aeroporto usciranno 10 pass/min (13 → 10) perché lo stadio CdB sono i bagagli, mentre l'attività CdB è l'immigrazione non USA.

10+3

Ma di questi 10 quanti sono USA e quanti non USA?
Se la situazione fosse costante, sempre così, ci sarebbero code infinite.
Il processo in queste situazioni sarebbe instabile, ovvero insostenibile.
La prima cosa da fare è calcolare gli utilizzi e se qualcuno di essi è > 1 bloccare l'analisi assumendo il sistema come instabile.
Tornando alla domanda precedente, non possiamo sapere il mix di pass che usciranno in quanto dipende dalle valigie che escono per prime. Se però assumiamo che i bagagli dei pass. USA hanno la precedenza allora saranno tutti USA, se invece assumiamo che abbiano la precedenza i pass non USA avremo 3 pass non USA e 7 pass. USA.

Mettiamo che io voglia avere in uscita la stessa proporzione che ho in entrata → si potrebbe fare, ma in questo caso dovrei avere 3 pass non USA e 6 pass USA: 6+3=9, in questo modo non sfrutto al massimo il CdB! L'unica soluzione sarebbe o non sfruttare al massimo il CdB oppure aumentare la capacità delle risorse, ma in ogni caso mi genererebbe dei costi.
L'equità si ha quando c'è il concetto di livello di servizio.

Se considerassi tempi diversi dovrei usare l'unità di tempo come unità aggregante e non più il numero di pass.

Capacità

Op 1: 4,6 u/h

Op. 2: 5,45 u/h

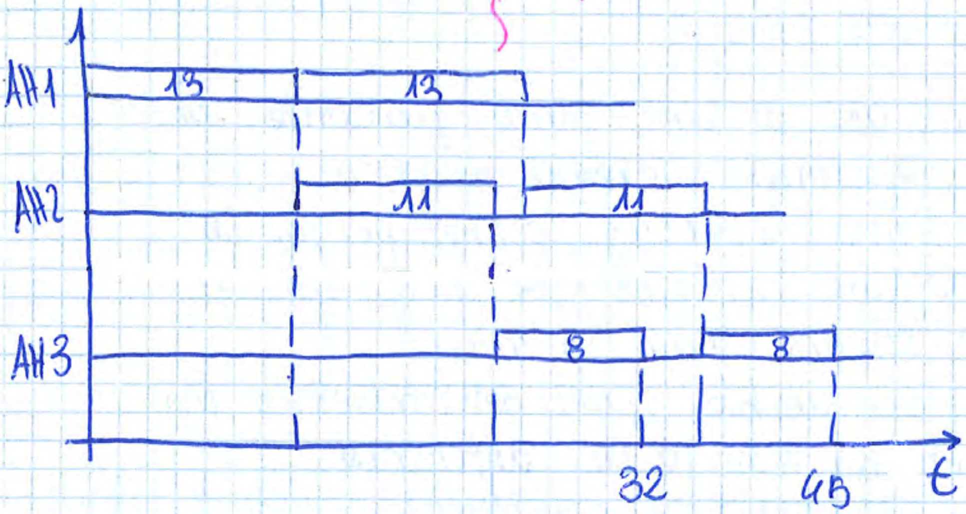
Op. 3: 7,5 u/h

3,57 u/h

- Quanto tempo impieghiamo a produrre una unità finita?

se il sistema è vuoto ci vogliono 32 min

la prima attività è il CdB




$$\boxed{CT = \frac{1}{TH}}$$ → cycle time

tempo di attraversamento del sistema da parte di un'unità

CT = flow time se WIP = 1

Quanto tempo impiego a far uscire x unità dal sistema?

$$\boxed{t = 32 + 13(x-1) = 32 + \frac{(x-1)}{TH} = T_0 + \frac{(x-1)}{TH}}$$

tempo di attraversamento del sistema vuoto $T_0$

se i tempi sono piccoli e le quantità molto grandi posso trascurare alcuni dati e ottengo:

$$t = \frac{X}{TH}$$

Il transitorio è importante se guardo poco in avanti.
In banca, ad esempio, questi dati non potrebbero essere trascurati perché ogni giorno partono da zero.

# 1° caso - Kristen's Cookie Company

1)
6 min → lavaggio + miscelazione

2 min → per mettere un biscotto nel vassoio

10 { 1 min → biscotti nel forno + impostare termostato e timer
   { 9 min → tempo di cottura per 1 dozzina

5 min → raffreddamento biscotti

2 min → confezionamento 1 dozzina

1 min → pagamento

1 scatola = 1 dozzina

$t_0 = 26$ min/dozzina

cicle time = $\frac{1}{TH} = 10$

2)
4h/notte di lavoro

capacità:
1/3
1/2
1 } 1/10 → CdB
1/9 }
1/5
1/2
1

$t = t_0 + \frac{(x-1)}{TH} \Rightarrow$

$240 = 26 + \frac{(x-1)}{(1/10)} \Rightarrow$

$x = \left(\frac{240-26}{10}\right) + 1 \sim 22$ dozzine

3) supponiamo che 1 dozzina venga venduta a 11 $
il guadagno sarà pari a:

$\frac{11 \times 22}{4} = 60{,}5$ $/h ⇒ ~ 30 $/h per ciascuno.

Analisi caso: 10/10/13

Contesto ⇒ Campus universitario dove si studia anche di molto

questo business non mi costa praticamente nulla.

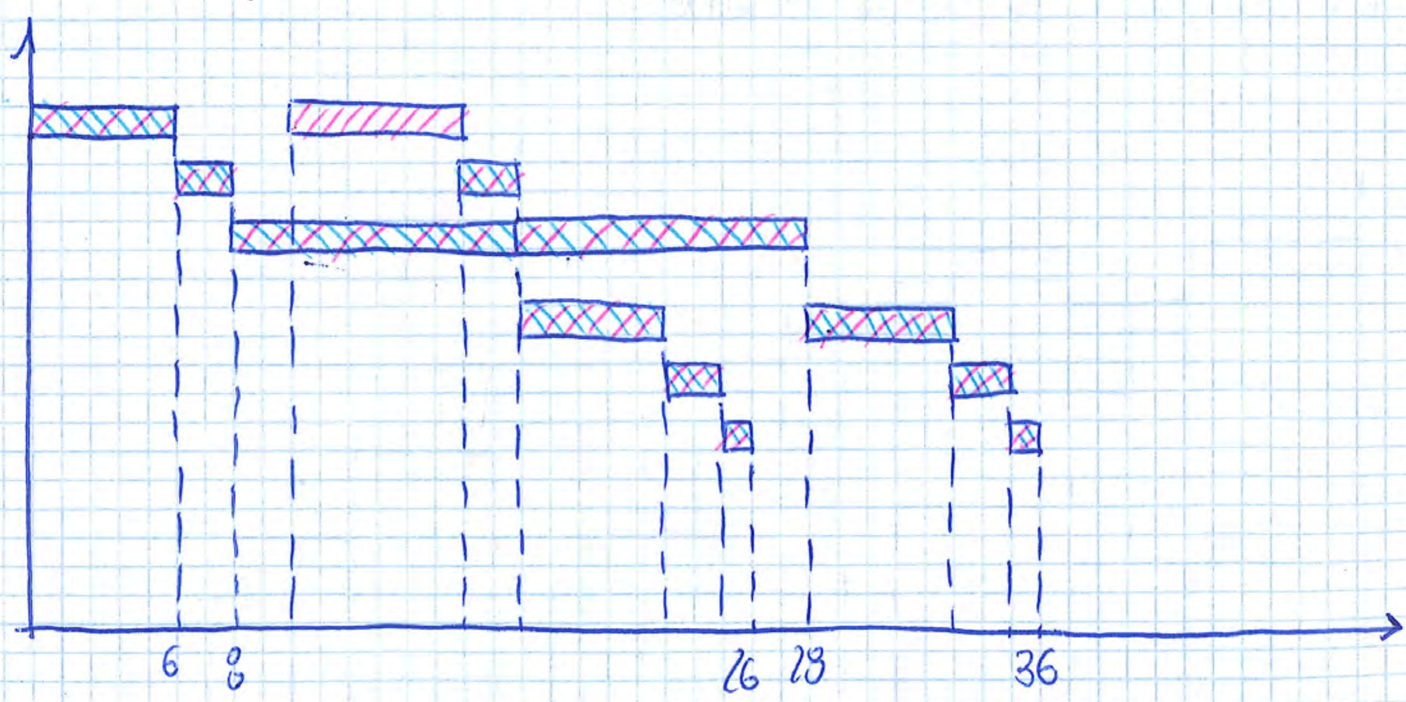
Quanto costa il mio tempo? Come faccio a quantificarlo?
Noi diamo valore al nostro tempo. Quanto mettersi a fare i biscotti rallenta il raggiungimento del mio obiettivo? Il nostro obiettivo ha un costo elevato, noi paghiamo per cercare di raggiungerlo. È giusto valutare quanto costa il nostro tempo. Si tratta di valutazioni relative.

Successivamente va fatta un'indagine di mercato.

Nel momento in cui affermo che non lo farei sto già supponendo che il mio tempo valga più di quanto potrei guadagnare vendendo biscotti.

> Diagrammi di Gantt

ordini da 2 dozzine:



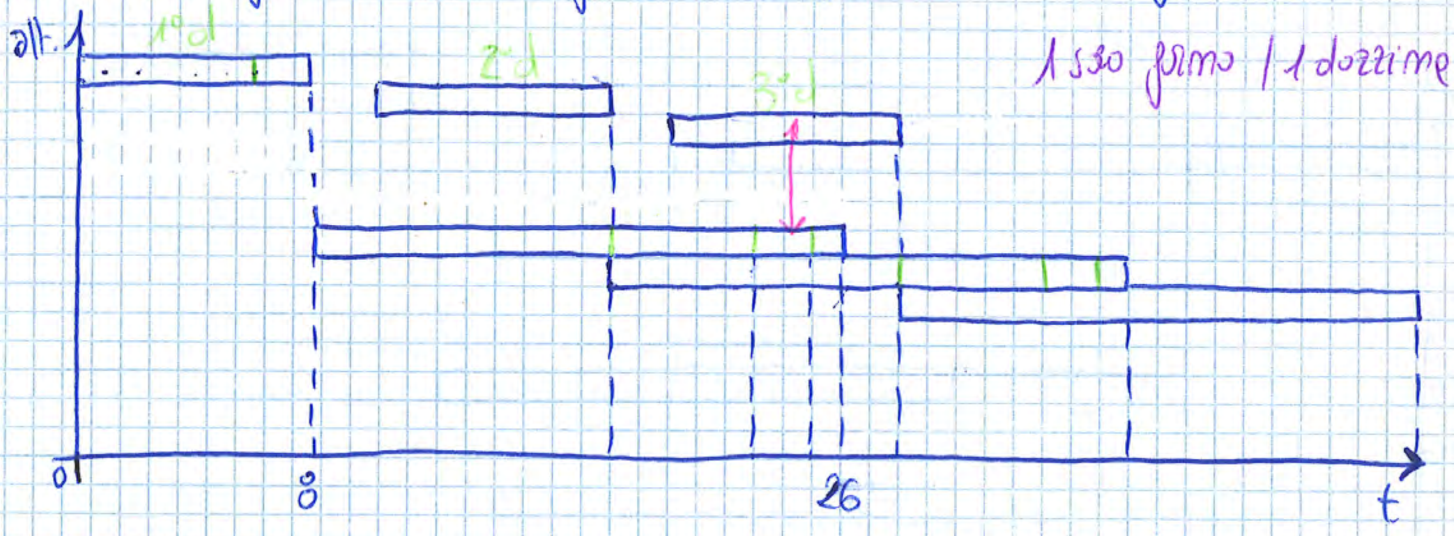

due dozzine uguali o di gusti diversi ci mettono lo stesso tempo. Il tempo totale è uguale perché il CdB è il forno, tutti gli altri tempi sono mascherati da quest'ultimo. Ciò che cambia è il mio tempo perché se sono uguali mixo solo una volta e mi resta più tempo per fare altro → c'è una differenza che non si vede guardando al

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 302

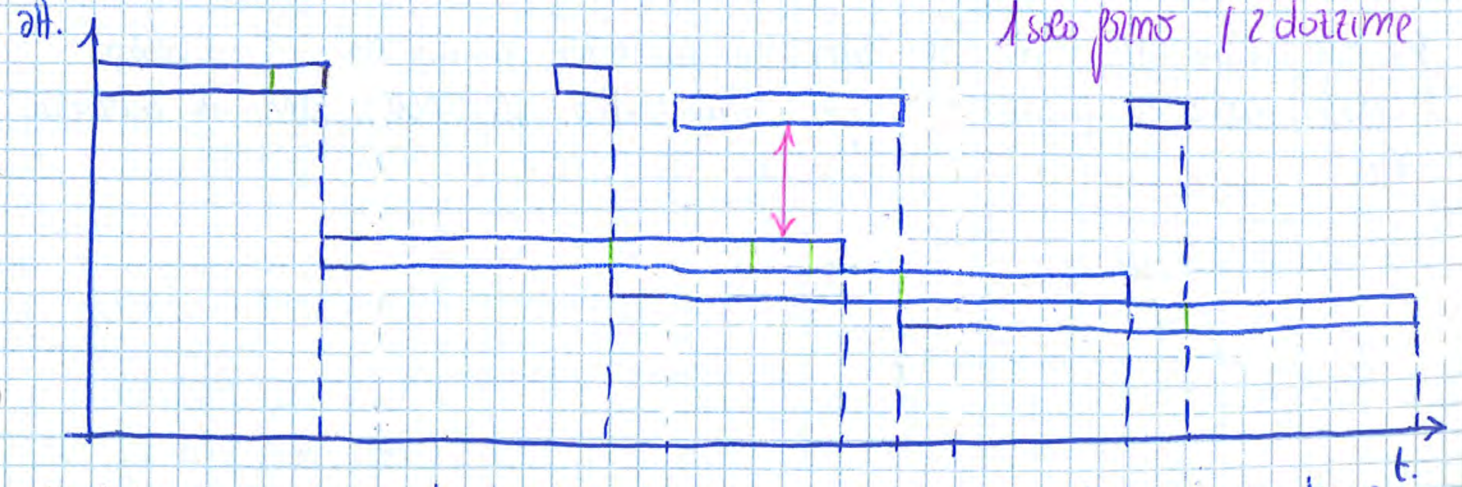
Cosa succede se aumento i mixer? Il CdB torna ad essere il forno.
Il CdB cambia per ragioni interne → cambio le risorse o per ragioni esterne → cambio il mix d'ordini.

Per migliorare il processo posso contrarre alcuni tempi, ad esempio: accelerare il raffreddamento, ridurre i tempi di mixaggio usando tipo dosaggi fissi in modo da essere più veloci.
Se non posso intervenire su CdB, posso ridurre intervenendo sugli altri tempi.

E se fossimo da soli?
Faccio un Gantt con attività fatte da una persona su una riga.




In questo caso non è possibile fare tutto il lavoro → bisognerebbe dilatare i tempi → mixer per la 3° dozzina coincide con il pacchettamento e il pagamento della seconda.




Neanche in questo caso è possibile lavorare da soli senza allungare notevolmente i tempi → mixer per il secondo ordine coincide con l'impacchettamento della prima dozzina.

## Costo del lavoro:

15/10/13

linea a 3 stadi, ogni stadio 1 solo lavoratore

$1\,h \rightarrow 12\,€$

$12 \times \frac{13+11+8}{60}$ ? → no, perché se calcolo il costo del singolo scooter non considero che i lavoratori possono avere periodi non produttivi.

(l'operatore deve essere pagato per tutte le ore se è flessibile (impiegato in altre attività quando è libero)

In realtà l'operatore deve essere pagato per tutto il tempo che sta sulla linea, anche se non fa nulla.

$$\boxed{\text{costo unità} = \frac{\sum \text{stipendi}}{n^\circ \text{ unità prodotte}}}$$

→ considero solo il costo del lavoro

Es:

35h/w   base temporale = settimana   d = 125 u/w

$\sum$ stipendi = $3 \times 35\,h/w \times 12\,€/h$

n° unità prodotte = flow rate (settimanale) → devo considerare se il sistema è demand o capacity constrained.

$$\text{Costo unità} = \frac{3 \times 35 \times 12}{125} = 10{,}08\,€/u$$

$$\neq \frac{32\,min}{60} \times 12 \sim 6$$

$$\boxed{\text{Idle time}_i = CT - \text{processing time}_i}$$

→ tempo libero

supponiamo che CT = 13, allora ricavo che:

$i=1$   $Id = 0$

$i=2$   $Id = 2$

$i=3$   $Id = 5$

C'è qualcosa che non va? Calcoliamo il numero di scooter che riesco a produrre in 35h: → 160 s/sett > D

se produco 160 scooter i miei idle times sono quelli, altrimenti c'è del tempo in cui non faccio nulla.

↘ utilizzo della linea

in realtà non ha tanto senso calcolarlo

l'utilizzo può anche essere calcolato come $U = \frac{TH}{\text{capacità}}$

BILANCIAMENTO:

per produrre uno scooter ci vogliono 32 min, che non sono riducibili.
Vogliamo produrre 700 u/w anche se la capacità è di 160 u/w.
700 u non le produrrò mai, ma più di 160 u sì perché la capacità è influenzata dagli idle times che vanno eliminati.
se ho tempi liberi non sto producendo al massimo delle mie capacità.
Produrre 160 u* deriva dai 13 del CdB. * $\frac{60 \times 35}{13} = 161,5$
Ma se ogni attività contribuisse per 1/3:


il tempo ciclo ~~aumentare~~ diminuirebbe, ~~m~~ quindi il flow rate aumenterebbe.

$$CT = \frac{32}{3} < 13$$

prima di porsi il problema di aumentare la capacità produttiva, che costa tanto, non posso fare modifiche più soft?
Le linee che funzionano meglio sono quelle bilanciate → devo cercare di tendere il più possibile a quel 32/3.
Bilanciare una linea vuol dire ridistribuire il lavoro → bilanciare una linea automatizzata può essere molto più difficile che bilanciarne una che non lo è. L'unico problema con i lavoratori potrebbe essere che non sono in grado di svolgere diversi compiti, ma questo è un problema superabile, basta un corso di addestramento

Proviamo a bilanciare la linea:

Worker 1 : 792 (−162)    Worker 2 : 648 (−18)    Worker 3 : 450 (+180)

630 ciascuno

Con 3 linee: 567 u/w

per arrivare a 700 posso fare degli straordinari, altrimenti faccio 4 linee avendo capacità in più.
L'opzione con straordinari deve essere fattibile → devo tener conto del fatto che non posso far lavorare gli operai 24 h al giorno.
Per 8 u in più per ogni linea al giorno sto chiedendo 1,5 h di straordinari al giorno che è una quantità ragionevole.
A questo punto va fatta l'analisi dei costi:
Quanto costa lo straordinario? Quanto costa capacità non usata?
Infine confronto tutto con il costo di un'eventuale terziarizzazione.

Ma dato che la linea non è perfettamente bilanciata, posso andare ad aggiungere operatori solo dove ho bisogno → aumento la capacità in modo differenziato.
Quanti operatori sono necessari su ciascuna linea

capacità = 700 u/w per ogni stazione

$$\text{capacità} = \frac{n° \text{ risorse}}{\text{tempo processo}}$$

1)
$n°$ risorse = $\underbrace{700\ u/w}_{\text{capacità}} \times \underbrace{0{,}006\ w/u}_{\text{process time}} = 4{,}4 \sim 5$ prima
↳ $79 \div (60 \times 60 \times 35)$

$n°$ risorse = $700\ u/w \times 0{,}0049\ w/u = 3{,}46 \sim 4$ dopo
↳ $623 \div (60 \times 60 \times 35)$

2)
$n°$ risorse = $700\ u/w \times 0{,}005\ w/u = 3{,}6 \sim 4$ prima

$n°$ risorse = $700\ u/w \times 0{,}0047\ w/u = 3{,}34 \sim 4$ dopo

3)
$n°$ risorse = $700\ u/w \times 0{,}0036\ w/u = 2{,}5 \sim 3$ prima

$n°$ risorse = $700\ u/w \times 0{,}005\ w/u = 3{,}69 \sim 4$ dopo

Se l'operatore è imperfetto non ho alcun vantaggio a ribilanciare la linea.
Se l'operatore è perfetto, se non ho costi, mi conviene bilanciare la linea
↳ in questo modo riesco ad organizzare gli straordinari nel modo migliore possibile, evitando di aver bisogno di più straordinari su una linea piuttosto che su un'altra.

1) moltiplicare le linee
2) moltiplicare gli operatori per linee (risorse)
3) specializzazione.

Riepilogando:

d = 700 p/w

| | sbilanciamento | bilanciamento |
|---|---|---|
| replicazione linee | 5 linee × <br> 4 + straordinari | 4 linee × <br> 3 + straordinari |
| aumento risorse | 5, 4, 3 | 4 ∀ attività |
| | | |

$$\left( \times \ \frac{700}{161} = 4{,}38 \quad \times \ \frac{700}{189} = 3{,}7 \right)$$

---

(29-31 ottobre → caso) 17/10/13

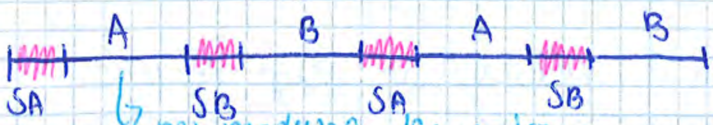
se bilanciamo la linea secondo un determinato CT ci aspettiamo che la linea funzioni perfettamente → non è sempre così per alcuni motivi:

- variabilità
- processamento in lotti → dovuto alla presenza di un set up

Operazioni che pesano in termini di tempo e soldi, tendiamo a fare in minor numero di volte possibile

Tempo continuo in cui la macchina si riscalda viene perso.
Per passare dalla prod di un pezzo ad un altro devo cambiare utensile, ciò mi fa perdere del tempo. → per questo ciò che produco un lot di pezzi A e un lot di pezzi B, piuttosto che A, B, A, B di modo da risparmiare su questi tempi → ciò che vedo all'uscita non è ciò che avevo stimato perché volte se lavoro a lotti, lo è in media.

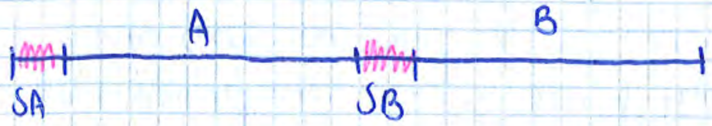
set up ⇒ due risvolti ↗ tempi ↘ costi } non necessariamente a tempi elevati corrispondono costi elevati




Batch = 120 → produco 120 flow units

↳ per produrre 120 scatole

$120\,s/6h = 20\,s/h = 700\,s/w$




Batch = 300 → produco 300 flow units

$300\,s/12h = 25\,s/h = 875\,s/w$

Nel primo caso le zone colorate coprono quelle non colorate → il set up copre molto tempo, mentre negli altri casi è la produzione che copre più tempo.
Le attività non produttive (set up) vanno considerate nel ciclo di produzione.
↳ la capacità deve tener conto di questi tempi che incidono su di essa.
Questi tempi non dipendono da quanto devo produrre, per questo la loro incidenza varia nei 3 casi. → All'aumentare dei tempi di set up diminuisce il numero di pezzi prodotti anche se i tempi sono gli stessi.
Sarebbe meglio avere lotti piccoli, ma si va incontro a maggiori tempi di setup. → l'unico modo per ridurre il lotto è ridurre il set up.
Se si dice che bisogna lavorare con lotto unitario, bisogna essere nelle condizioni per farlo.

Le quantità che produco devono tener conto della domanda → matching tra domanda e offerta → la domanda è spalmata lungo tutto il processo, non la vedo solo a produzione conclusa.
Il mismatching genera numerosi problemi che generano costi.

$\boxed{\text{SMED}}$ → single minute exchange of Dies

↳ ogni operazione di setting della macchina e dell'operatore si deve esprimere in un'unica cifra, ovvero < 10 min.
Tempo dedicato al setup deve essere più ridotto possibile a causa dell'impatto che ha sulla capacità.
Ho due tipi di operazioni di setup:
- ↳ setup di tipo interno → la risorsa deve essere inattiva.
- ↳ set up di tipo esterno → la risorsa può anche operare.

- cap. max: $\text{Capacità} = \dfrac{1}{p}$ $s=0$

I batch ci sono perché esistono i setup.
Perché non lavoriamo con un batch più alto possibile?

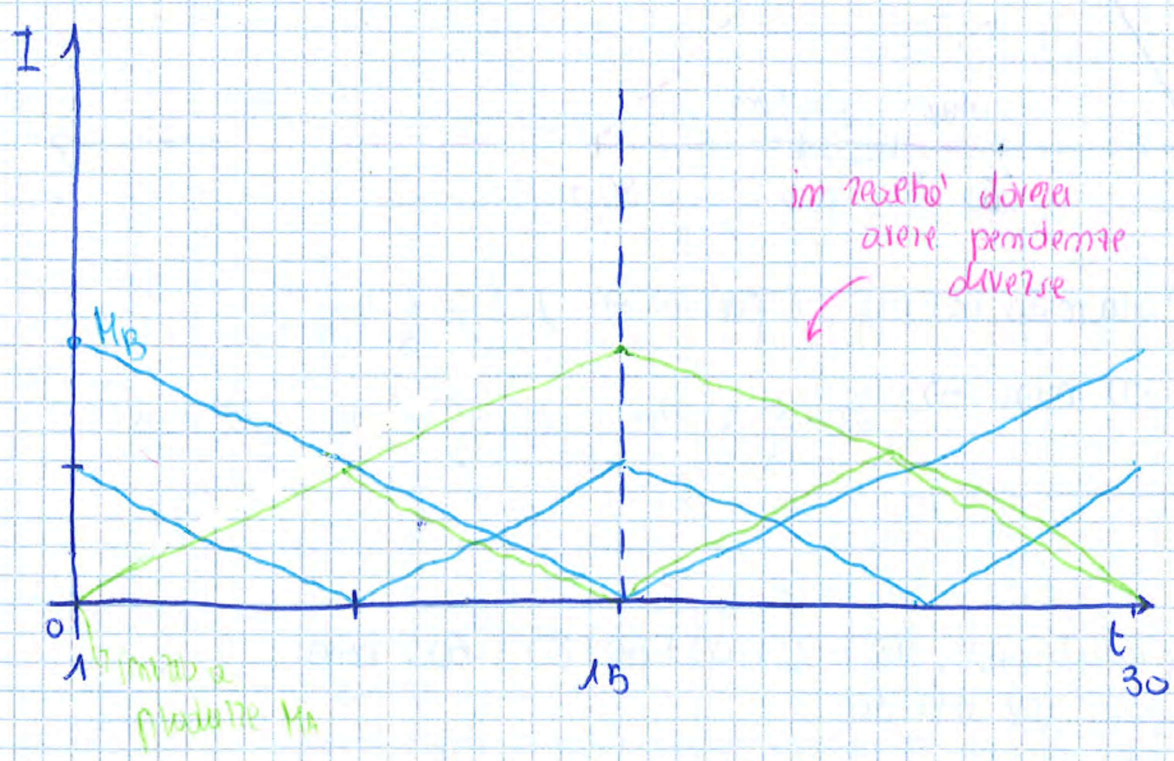
① Esempio:

$M_A \rightarrow$ domanda $400\ u/g$

$M_B \rightarrow$ domanda $400\ u/g$

produco $M_A$ da 1-15 del mese
produco $M_B$ da 16-fine mese

Devo produrre in modo da soddisfare la domanda di $M_A$ e $M_B$ di tutto il mese.




Se produco a settimane alterne ho più triangoli ma più bassi

All'aumentare del lotto aumenta il mg → tanto più un lotto è grande tanto più aumenta il mismatch tra domanda e offerta.
Inoltre lotti grandi aumentano il flow time e dunque riducono il LS.
Questi sono gli aspetti del batch grande.

18/10/13


$d = 700\ u/w$

$B_a = 100$

$\text{capacità} = \dfrac{B_a}{s + p \times B_a} = 0{,}33$

$CT = 3\ \text{min}$

$\hookrightarrow \text{capacità} = \frac{1}{3}\ u/\text{min}$

$s = 120\ \text{min}$

$p = 2\ \text{min}$

Il flow rate dell'assemblaggio è quello del CdB
Il CdB va identificato tra le stazioni dove non lavora il Batch, perché se la stazione dove c'è batch ha una bassa capacità aumento il batch, o al contrario nella situazione opposta

Per trovare il lotto ottimale:

$$\boxed{\dfrac{B_a}{s + pB_a} = \overset{TH}{\text{flow rate}}}\ (\text{CdB tra le altre stazioni})$$

Nel nostro caso:

$$\frac{B_a}{120 + 2 \cdot B_a} = \frac{1}{3} \rightarrow B_a = \frac{120 \cdot 3}{3} = 120$$

$$\boxed{B_a = \frac{s \cdot TH}{1 - p \cdot TH}}$$

tempo di setup e di processo della flow unit

se $B_a > 120$ l'assemblaggio non riesce a stare dietro alla produzione,
se $B_a < 120$ non si riesce a soddisfare la domanda di $170\ u/w$.

---

Altra situazione: prodotti che non necessitano dell'assemblaggio → direttamente immessi nel mercato.

CASO 1:

TH (desiderato) = 205 litri/h

$s = 30+30+30 = 90$ min

$$B = \frac{1{,}5 \times 205}{1 - \frac{1}{300} \times 205} = 971 \text{ litri}$$

$$A = 971 \times \frac{100}{205} = 473{,}66 \text{ litri}$$

$$C = 971 \times \frac{75}{205} = 355{,}24 \text{ litri}$$

$$D = 971 \times \frac{30}{205} = 142{,}1 \text{ litri}$$

- Il B aumenta perché è aumentato il TH desiderato
- se le TH è aumentato aumenterà anche il CT, dunque passerà più tempo tra una prod. di A ed un'altra, per questo produco più quantità di tutti e 3 i prodotti anche se la domanda di A e C è la stessa

CASO 2:

TH (desiderato) = 175 litri/h

$s = 90$ min

$$B = \frac{1{,}5 \times 175}{1 - \frac{1}{300} \times 175} = 630 \ell$$

$$A = 630 \times \frac{85}{175} = 306 \ell$$

$$C = 630 \times \frac{60}{175} = 216 \ell$$

$$D = 630 \times \frac{30}{175} = 108 \ell$$

- Aumenti più piccoli perché non è aumentato TH, ma ci sono stati perché, all'aumentare della varietà, aumenta CT perché ci sommano più setup. Infatti aumenta la quota di A e C anche se la domanda è minore! Dunque dobbiamo stare attenti ad aumentare la varietà: deve essere sostenibile.

O si tiene sotto controllo la varietà, oppure riduciamo i setup (SMED) → non si può avere varietà e setup alti → troppo costoso.

Se avessimo avuto process time diversi:

$$p = \frac{1}{300} \times \frac{100}{175} + \frac{2}{300} \times \frac{75}{175} \quad \text{se} \quad p_A = \frac{1}{300} \text{ h}/\ell \quad p_B = \frac{2}{300} \text{ h}/\ell$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 41 di 302

Se la risorsa non è CdB il setup incide poco.
Costi di set up sono costi veri.

- costo vero e proprio → persona specializzata che viene da fuori
- costo per della merce che viene buttata
- costo più tipico dei sistemi di approvvigionamento (fornitori) → costo fisso dell'ordine.

Costi che prescindono dalla quantità

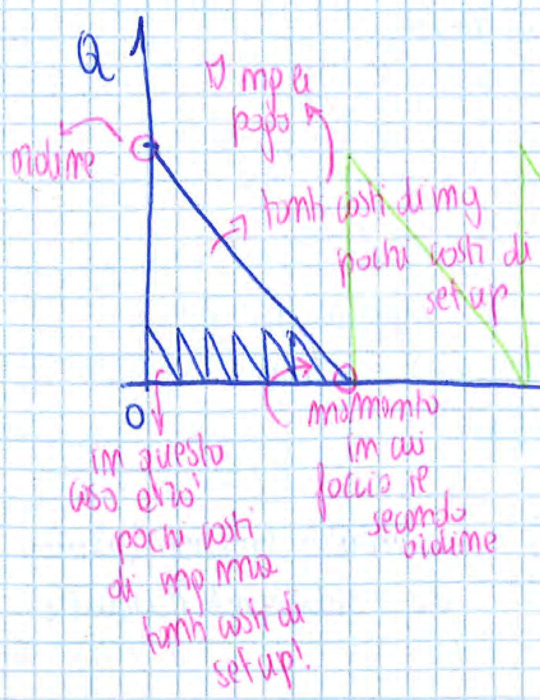
In fatto di costi, due tipologie di situazioni:

EOQ

Vanno fatte una serie di assunzioni:

1) sistema fisso, deterministico, noto a priori e frazionabile nel continuo!
2) sistema con capacità infinita
3) $LT = 0$
4) non ci sono economie di scala → prezzo unitario sempre lo stesso.
5) Indipendenza prodotti che deriva dalla capacità infinita

Con queste assunzioni e con i costi di set up che ho definito so già che se ordino tanto o produco tanto i costi di setup sono bassi.




Devo cercare il batch che mi permette di spendere il meno possibile sapendo che:

$$\boxed{C_{tot} = C_{setup} + C_{mag}} + \cancel{C_{acq}}$$

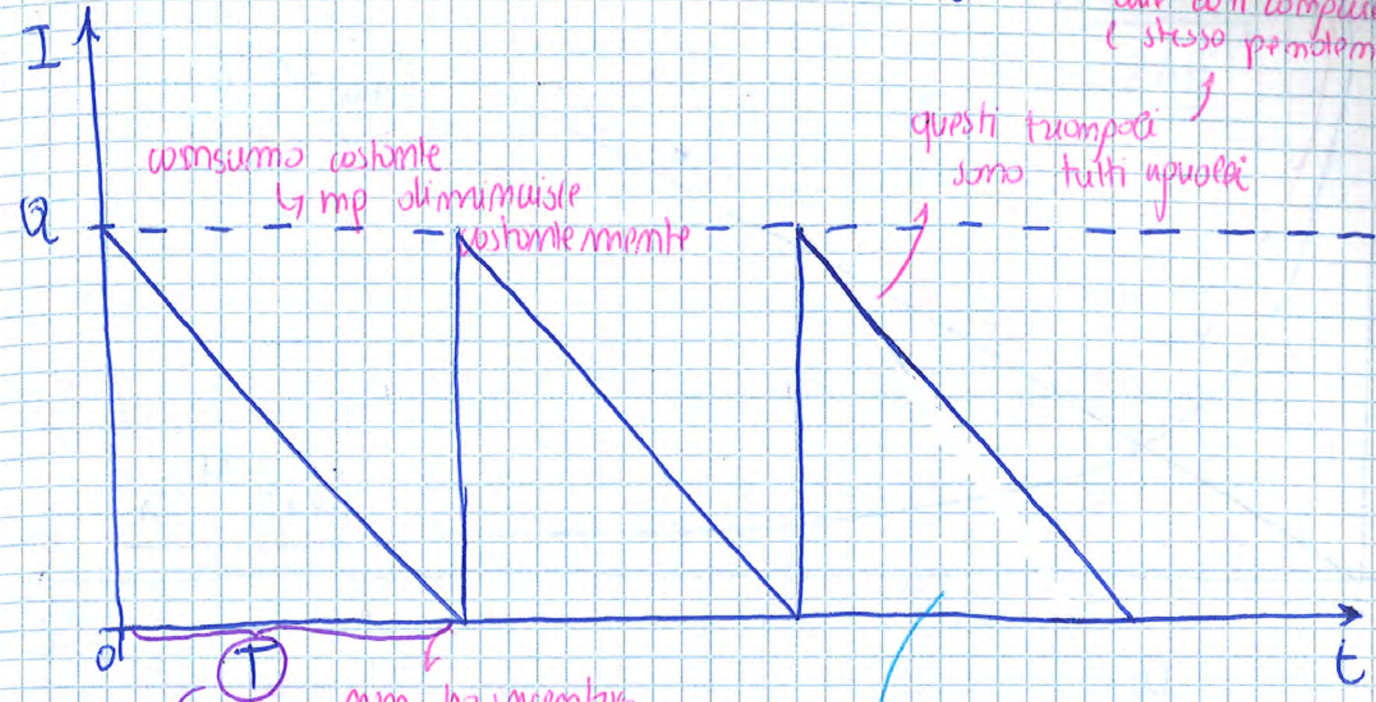
è un costo fisso

questi due costi insieme variano a seconda della quantità

non lo considero perché non varia al variare della produzione

$\boxed{\text{lotto economico o EOQ}}$

Cerchiamo di capire l'andamento del nostro mg:




periodo di riordino

non ho incentivo ad ordinare prima che le mp arrivi a zero perché LT = 0

↳ periodo tra due ordini successivi

$$\frac{1}{T} = \frac{D}{Q}^{*}$$

$$\boxed{T = \frac{Q}{D}} \qquad \frac{[Q]}{[Q]/[t]} = [t]$$

↳ vale sempre, ma se tutto è deterministico e costante posso scegliere o Q in base ad un certo T o viceversa.

Quanto mi costa un triangolo?

mg varia nel tempo

$$C_{tot} = A + \left(\int_0^T I(t)\,dt\right)h = A + \frac{Q}{2}Th$$

↳ questo è il costo per ciclo di riordino

Per svincolarci dal ciclo di riordino, calcolo il costo totale per unità di tempo: divido tutto per l'unità di tempo → T

$$C_{tot} = \frac{A}{T} + \frac{Q}{2}h = \boxed{A\frac{D^{*}}{Q} + \frac{Q}{2}h}$$

supponiamo di stimare costi non reali → $\tilde{A}, \tilde{D}, \tilde{h}$

da cui ricavo una quantità non ottima ⇒ $\hat{Q} = \sqrt{\frac{2\tilde{A}\tilde{D}}{\tilde{h}}}$

la quantità viene stimata con i costi che ho calcolato male, ma poi i costi che darò effettivamente sono quelli veri $(A, D, h)$:

$$\tilde{C} = \frac{A \cdot D}{\tilde{Q}} + \frac{h}{2}\tilde{Q}$$

→ a questo punto confrontiamo i due costi:

$$\frac{\tilde{C}}{C^*} = \frac{\frac{AD}{\tilde{Q}} + \frac{h}{2}\tilde{Q}}{\sqrt{2hAD}} = \sqrt{\frac{A^{\cancel{2}}D^{\cancel{2}}}{2\tilde{Q}^2 hA\cancel{D}} + \frac{\cancel{h}\tilde{Q}^2}{8\cancel{h}AD}} =$$

$$= \frac{1}{\tilde{Q}}\sqrt{\frac{AD}{2h}} + \tilde{Q}\sqrt{\frac{h}{8AD}} = \frac{1}{\tilde{Q}}\sqrt{\frac{2AD}{4h}} + \frac{1}{2}\tilde{Q}\sqrt{\frac{h}{2AD}} =$$

$$= \frac{1}{\tilde{Q}}\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2AD}{h}} + \frac{\tilde{Q}}{2}\frac{1}{Q^*} = \frac{1}{2}\frac{Q^*}{\tilde{Q}} + \frac{1}{2}\frac{\tilde{Q}}{Q^*}$$

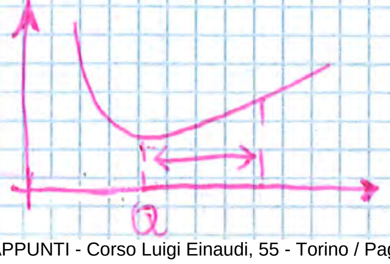
$$\boxed{\frac{\tilde{C}}{C^*} = \frac{1}{2}\left(\frac{Q^*}{\tilde{Q}} + \frac{\tilde{Q}}{Q^*}\right)}$$

supponiamo di trovarci in una situazione in cui $\tilde{Q} = 2Q^*$

Troviamo che: $\frac{\tilde{C}}{C^*} = 1{,}25$ → abbiamo un aggravio del 25%.

che, considerando che il nostro errore è stato del 100% non è poi così tanto.

Ciò significa che la curva è molto piatta nell'intorno dell'ottimo



Per trovare quel livello basta moltiplicare la domanda per unità di tempo per il LT.

$$\boxed{D \cdot LT = R}$$

$\boxed{\text{Modello } (Q;R)}$ → ordino la quantità Q nel momento in cui il tuo mp arriva al livello R.

Quando arrivo al livello R ordinerò una quantità pari a

$$Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$$

supponiamo che $T = 10gg$ e $LT = 17gg$:

$D = 20\ u/gg$ e $Q = T \cdot D = 200\ u$

con questi dati ho $R = 17 \cdot 20 = 340\ u$

$\boxed{IP = \text{mp fisico} + \text{ordini emessi precedentemente e non arrivati} - \text{ordini da evadere}}$ (OH)

$$\left[LT - \left(\frac{LT}{T}\right)_{div}\right] = \mathcal{E} \Rightarrow \boxed{\mathcal{E} \cdot D = R}$$

nel nostro caso → $R = 7 \times 20 = 140\ u$

se $LT = 23\ gg$ → $R = 3 \times 20 = 60\ u$

Quanto vale R se $LT = 5$, $LT = 15$, $LT = 31$, $LT = 2$

---

24/10/13

$\boxed{\tilde{R} = \underbrace{(LT - kT)}_{mod} \cdot D}$ dove $k = \left(\frac{LT}{T}\right)_{div}$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 49 di 302

da cui $C_{tot}(\text{per 1 ciclo}) = A + \frac{h}{2} Q T \left(1 - D/p\right)$

riportando il costo all'unità di tempo:

$$C_{tot} = \frac{A}{T} + \frac{h}{2} Q \left(1 - D/p\right) = \boxed{\frac{AD}{Q} + \frac{h}{2} Q \left(1 - D/p\right)}$$

$$Q^* \rightarrow \frac{dC_{tot}}{dQ} = 0 \rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2ADp}{h(p-D)}} = \sqrt{\frac{2AD}{h(1-D/p)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2AD}{h}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1-D/p}} = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \sqrt{\frac{p}{p-D}} = \boxed{EOQ \cdot \sqrt{\frac{p}{p-D}}}$$

A parità di costi, all'aumentare del tasso di produzione la quantità da produrre si avvicina sempre più all'EOQ.

Devo sempre avere:

$\boxed{p > D}$ → altrimenti non possiamo trovare una soluzione, il sistema diventa impossibile, bisogna cambiare il sistema o rilassare l'assunzione di soddisfacimento totale della domanda.

se ho:

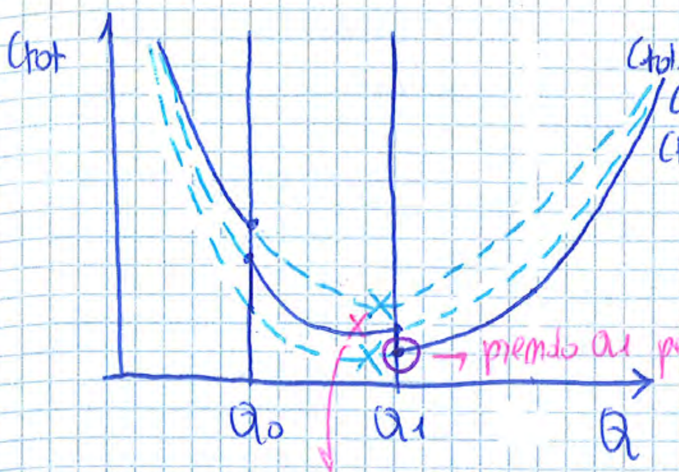
$p = D$ → ottengo un numero infinito → vuol dire che non accumulo mai, dunque non posso produrre a lotti (nel deterministico).

Se mentre produco contemporaneamente consumo devo produrre un lotto più grande, tanto più grande quanto è più lenta la produzione, altrimenti non riesco a soddisfare la domanda → Nell'EOQ invece ho subito quello che ordino.

Se $p \rightarrow \infty$ ci ritroviamo nello stesso caso dell'EOQ. → retta crescente sempre più ripida e il triangolo scaleno tende a diventare rettangolo.

Supponiamo che $r$ sia dipendente da $Q$.

$r$ = costo unitario → il costo di acquisto diventa rilevante da indipendente diventa dipendente a causa di sconti.




→ Bisogna prendere il costo ammissibile al prezzo più basso.

Conviene partire dal prezzo più basso, se la quantità trovata è valida posso fermarmi perchè quello è il punto minore rispetto a tutti i minimi delle funzioni di costo → procedo come i gamberi.

Se trovo valido $EOQ_{n-3}$ $Q_{n-4} \leq Q < Q_{n-3}$.
A questo punto verifico che sia il minimo tra:

$$\left.\begin{array}{l} C_{tot}(Q_{n-3}) \\ C_{tot}(Q_{n-2}) \\ C_{tot}(Q_{n-1}) \\ C_{tot}(Q_n) \end{array}\right\}$$

considero solo i punti di separazione per verificare se non ce ne sia uno che porti ad un costo minore.

Devo considerare sia gli EOQ che i punti di frontiera per ridurre i passaggi.

② In questo caso non ho la curva che salta, cambiano le pendenze ma non ho più le discontinuità → è una funzione continua, certamente più complessa, ma che posso derivare. → ma il problema è che cambiando le pendenze avrò punti in cui la funzione sarà continua ma non derivabile.

$$C_{tot} = \begin{cases} \frac{AD}{Q} + \frac{v_0 r}{2} Q + v_0 D & Q \leq Q \\ \boxed{\frac{AD}{Q} + \frac{\bar{v}_1 r}{2} Q + \bar{v}_1 D} \times & Q_0 < Q \leq Q_1 \\ \frac{AD}{Q} + \frac{\bar{v}_2 r}{2} Q + \bar{v}_2 D & Q_1 < Q \leq Q_2 \end{cases}$$

In questo modo riesco a scrivere funzioni totali per ogni tratto. Da qui posso procedere nell'individuare l'EOQ come nel caso degli sconti 'all unit discount'.

× vediamo come possiamo riscrivere questa funzione di costo:

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

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

$$\boxed{(A + k_1) \frac{D}{Q} + \frac{v_1 r}{2} Q + v_1 D + \frac{k_1 r}{2}}$$

tutti gli intervalli avranno questa struttura

l'EOQ dell'intervallo n sarà pari:

$$\boxed{EOQ_n = \sqrt{\frac{2(A + k_n)D}{v_n \cdot r}}}$$

se $n=0 \Rightarrow k=0$, mi trovo nel caso standard dell'EOQ

$T = Q/D$ → le parti in $t_1$ le soddisfo subito, quelle in $t_2$ le soddisfo in ritardo, ma comunque tutte le domande è soddisfatte in T.

costo di backlog

$$A + \frac{h}{2}(Q-B)t_1 + \frac{b}{2}Bt_2$$

il costo d'acquisto in questo caso non lo considero perché non influisce a seconda della quantità.

$$\boxed{t_1 = (Q-B)/D} \qquad \boxed{t_2 = (T-t_1) = B/D}$$

sostituendo nella funzione di costo → $A + \frac{h}{2}\frac{(Q-B)^2}{D} + \frac{b}{2}\frac{B^2}{D}$

per svincolarsi dal ciclo di riordino

riporto all'unità di tempo → $\boxed{\frac{AD}{Q} + \frac{h}{2}\frac{(Q-B)^2}{Q} + \frac{b}{2}\frac{B^2}{Q} = C_{tot}}$

$$\frac{AD}{Q} + \frac{h}{2}\left(\frac{Q^2}{Q} + \frac{B^2}{Q} - \frac{2QB}{Q}\right) + \frac{b}{2}\frac{B^2}{Q}$$

1 $\quad \frac{\partial C_{tot}}{\partial Q} = 0 \qquad$ 2 $\quad \frac{\partial C_{tot}}{\partial B} = 0$

1
$$-\frac{AD}{Q^2} + \frac{h}{2} - \frac{h}{2}\frac{B^2}{Q^2} - \frac{b}{2}\frac{B^2}{Q^2} = 0$$

$$\frac{h}{2} - \frac{1}{Q^2}\left(AD + B^2\frac{h}{2} + B^2\frac{b}{2}\right) = 0$$

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

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

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD + B^2(h+b)}{h}} = \sqrt{\frac{2AD + h^2Q^2/(h+b)}{h}}$$

2
$$\frac{hB}{Q} - h + \frac{bB}{Q} = 0$$

$$\boxed{B^* = \frac{hQ^*}{h+b}}$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 57 di 302

(2) $d = 1000\ u/sw$ $\quad A = 500€ \quad h\% = 1\%$

$$\begin{cases} Q < 10'000 & c_1 = 4€ \\ 10'000 \leq Q < 50'000 & c_2 = 3{,}75€ \\ Q \geq 50'000 & c_3 = 3{,}5€ \end{cases}$$

$$EOQ_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot 500 \cdot 1000}{3{,}5 \times 0{,}01}} = 5345{,}2\ u \rightarrow no$$

potevo evitare i calcoli, sarebbe venuto di certo un numero più piccolo

$$EOQ_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 500 \cdot 1000}{3{,}75 \times 0{,}01}} = 5163{,}98\ u \downarrow no$$

$$EOQ_1 = \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 1'000}{4 \times 0{,}01}} = \underline{\underline{5'000\ u}}$$

$$C_{tot_1} = \sqrt{2Ad\ 4 \times 0{,}01} + 4 \times d = 4'200\ €$$

$$C_{tot_2} = \frac{500 \times 1000}{10'000} + \frac{0{,}01 \times 3{,}75}{2} \times 10'000 + 3{,}75 \times 1000 =$$

$$= \underline{\underline{3987{,}5\ €}}$$

$$C_{tot_3} = \frac{500 \times 1000}{50'000} + \frac{0{,}01 \times 3{,}5}{2} \times 10'000 + 3{,}5 \times 1000 =$$

$$= 4'385\ €$$

$$Q^* = Q_2 = 10'000\ u$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 302

# 1° caso - Blanchard

19/10/12

- Non vendono azioni perche' il proprietario vuole mantenere la proprieta' e non possono più chiedere prestiti perche' le banche hanno saturato le quantità di soldi che potevano prestare all'azienda
  ↓
  Bisogna pensare a come, cambiando le logiche di mg, a portarlo a livelli più bassi.
- ROP e' di 3,5 sett. Con l'EOQ calcolo la quantità ottima che e' diversa per ogni prodotto, con il ROP determino il livello di riordino.
- Bisogna verificare se e' il caso di ricalcolare i parametri calcolati nel 1972.

1) Ricalcoliamo le quantità usando le EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{V \cdot r}}$$

$$ROP = \frac{3,5}{52} \times D$$

> 3,5 sett e' il ROP, riordino ogni ~~3,5 sett.~~ volta che ho una scorta che mi copre 3,5 sett di domanda.

D → domanda prevista in base a metodi previsionali.

A → blending setup + changeover size + label + order =

$= BE^{1} / \cancel{\text{tempo processo}} + \frac{BE^{2}}{\cancel{350}}$ + $\frac{(BE + lavoratori)}{\text{idle time}}$ + $\frac{\text{impiegati}}{\cancel{350}}$

salario Bob e Eliot

35×10

1 diverso per ogni prodotto.

2 uguale per tutti

35 ppm di setup che mi servono → in quel tempo produco 10 items.

n° imbottigliamenti in 1 anno.

gli stipendi di BE non dipendono dalla produzione, ma sono fissi essendo nostri dipendenti → non dipendono dai setup perchè i parametri in parte si compensano e soprattutto perchè il modello è robusto.

Dunque l'inefficienza non è dovuta all'errore sui parametri

BE continuano a tenere il ROP ma non usano più l'EOQ!

Nelle EOQ i tempi di setup non contano perchè la capacità è infinita quindi è come se valessero zero.

Violiamo troppe assunzioni → la domanda non è costante e la capacità non è infinita.

La capacità non è carente, è inflessibile!

con 168 item vado a saturare completamente le mie capacità

↳ produco un giorno ogni tre. → due giorni per il setup.

I tempi di setup non sono trascurabili. ↳ la capacità è alta ma non infinita, quindi non opero a tempo zero.

Avendo un unico ROP ma domande diverse per ogni prodotto genera inefficiente.

se ho capacità infinita il setup mi costa solo in termini di soldi, non di tempo.

In questa situazione non posso usare l'EOQ.

BE accorpano per size, utilizzano il ROP come inizio produzione, se due taglie raggiungono insieme il ROP per decidere quale produrre guardano la domanda passata.

Non siamo più nel deterministico, quindi devo determinare sia T che Q, in quanto non dipendono più l'uno dall'altro.

O stabilisco il tempo lasciando Q variabile o viceversa.

se la domanda non è deterministica va sempre prevista.

BE usano tutti e due i metodi insieme → fanno un pastrocchio.

Uniscono due cose che non possono stare insieme: o produco ogni 4 settimane oppure produco quando viene raggiunto il ROP.

Il loro modello è corretto ma lo aggiustano nel modo sbagliato quando capitano le mille eccezioni. → metodo strutturato con un principio, non ~~come~~ con una formula.

unisconono la logica periodica con quella continua → il loro errore è fare un mix.

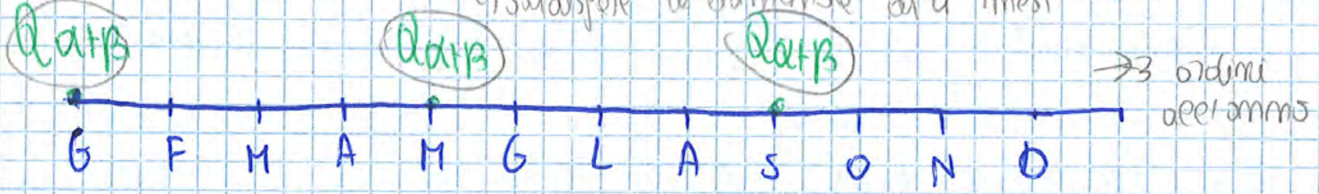
Ce ne rendiamo conto disegnando la situazione sulla linea temporale.
Per il prodotto α la domanda annuale è di 1200 u/y, quindi dovrei ordinare ogni 4 mesi per soddisfare la domanda.


Per il prodotto β la domanda annuale è di 3600 u/y, quindi dovrei ordinare ogni 3 mesi per soddisfare la domanda.
Il costo totale sarà:

6 volte all'anno = ogni 2 mesi ⇒ $\frac{1}{T} = \frac{1}{2}$

$$C_{tot} = 1 \cdot \frac{400}{2} + \frac{16}{27} \cdot \frac{900}{2} + 800 \cdot \underbrace{0{,}5}_{6/12} = 866{,}6 \text{ €}$$

Se ordinassi $Q_\beta = 1200$ u avrei questa situazione, per risparmiare sui costi di ordinazione: per fare un unico ordine per α e per β
soddisfare la domanda di 4 mesi




3 volte all'anno = ogni 4 mesi ⇒ $\frac{1}{T} = \frac{1}{4}$

$$C_{tot} = 1 \cdot \frac{400}{2} + \frac{16}{27} \cdot \frac{1200}{2} + 800 \cdot \underbrace{0{,}25}_{3/12} = 755{,}55 \text{ €}$$

Il costo totale è minore! Trattare i problemi separatamente mi causa un aggravio che potrei evitare tramite una condivisione dei costi → ciò si verifica perché A è molto più alto degli h! In caso contrario non avrei quest'incentivo ad accorpare.

Ma siamo sicuri che sia questo il costo ottimo?
In questo caso il mix ottimo di α e β ~~rispecchia~~ deve rispecchiare il mix di domanda: per ogni unità di α → 3 unità di β.
Questo mix con unità ben definite si chiama bundle.
Con il bundle calcolo il lotto economico, come se fosse un prodotto singolo.

BUNDLE = 1α + 3β

$A = 800$ €  $D = 100\ B/m$  $h = \left(1 + 3 \cdot \frac{16}{27}\right) = \frac{25}{9}$ €

uguale alla domanda dell'elemento che entra nel bundle con il coeff più basso.

In questo caso abbiamo tanti item $\rightarrow i = 1, \dots, N$
che non condividono niente.
Il numero di ordini è l'inverso della frequenza di ordini:

$$\frac{1}{T} = \frac{D}{Q}$$

$\rightarrow$ ogni prodotto ha la sua domanda
$\rightarrow$ ogni prodotto ha la sua quantità } frequenze diverse

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{D_i}{Q_i} \leq F \Rightarrow \text{Vincolo}$$

Essendoci questo vincolo, mi concentro su i costi di mg che devo minimizzare:

$$\text{f.o: } \min \sum_{i=1}^{N} h_i \frac{Q_i}{2} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} h_i Q_i$$

s.t

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{D_i}{Q_i} \leq F$$

Si tratta di un modello non lineare perché Q compare con coeff $-1$, dunque il simplesso non può essere applicato, neanche il branch and bound. Dunque, butto via il vincolo, ovvero lo includo nella funzione obiettivo $\rightarrow$ in questo modo torno ad avere un modello non vincolato che posso ottimizzare con le derivate. Per farlo devo aggiungere un pezzo che mi fa aumentare il costo se violo quel vincolo:

$$\boxed{\min \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} h_i Q_i + \lambda \left( \sum_{i=1}^{N} \frac{D_i}{Q_i} - F \right)} \Rightarrow \text{funzione Lagrangiana}$$

$$\mathcal{L}(Q_1, Q_2, \dots, Q_n; \lambda)$$

costo di penalità legato al vincolo

$$\lambda \geq 0$$

dove $\lambda$ è il moltiplicatore di Lagrange, mentre il meccanismo di inserire il vincolo nella f.o è detto rilassamento Lagrangiano. $\lambda$ è il prezzo ombra, rappresenta in modo implicito il costo di riordino $\rightarrow$ se ordinare costa tanto cercherò di ordinare il meno possibile, allo stesso modo se $\lambda$ è molto alto cercherò di sforare il meno possibile.
Per ottimizzare derivo rispetto alle quantità e rispetto a $\lambda$.

Questo metodo sembra avvicinarsi alle problematiche di Blanchard, ma la differenza sostanziale è che in questo caso i prodotti non interagiscono → non ho tempi di setup → In Blanchard l'accorpamento di taglie mi permette di aumentare la mia capacità. È un ibrido tra questo e quello di prima: il vincolo solo sul cambio taglia → condivisione del setup non lotto costi ma lotto ordini. Ma la lagrangiana non è utilizzabile nel caso Blanchard.

---

Rilassamento assunzioni EOQ → Domanda costante
si passa dal continuo al discreto: problema di dimensione lotti
si tratta di problemi più generali con domanda deterministica ma non cost.
Non posso più avere una funzione di costo da ottimizzare.
Trovare la soluzione ottima in questi casi sarebbe molto difficile

---

Contamessa

14-15 Nov 3-5-6 Dic
19-21-22 Nov 10-12-13 Dic
26 Nov

17/11/13

Prossimo caso → Behniana

Domanda non costante, ma deterministica → non c'è più un tasso di domanda.
L'orizzonte temporale viene diviso in intervalli → time bucket ed assumo che la domanda sia costante in un time bucket. Qual è la sua dimensione?
Deve essere il più grande possibile compatibilmente con l'assunzione della domanda costante → più time bucket ci sono, più si complica il problema.
In un problema di medio termine si predilige la settimana:

$d_t$ con $t = 1, \dots, T$

$h, A$

Non possiamo più scrivere una funzione di costo non a tratti perché non siamo più nel continuo.
Quello che vogliamo minimizzare è: ① LOTTO ECONOMICO MONOPRODOTTO SENZA CAPACITÀ:

$$\min \sum_{t=1}^{T} (h \underbrace{I_t}_{\text{livello mg}} + s \delta_t)$$

introduco una variabile binaria che vale 1 se ordino in quel tb, 0 se non ordino. ⇒ $\delta_t$ → 1 se ordino in t; → 0 altrimenti

$$x_{it} \leq M_{it}\, \delta_{it} \quad \forall i,t$$

$$M_{it} = \sum_{\tau=t} d_{i\tau}$$

$$x_{it},\ I_{it} \geq 0 \quad \forall i,t$$

$$\delta_{it} \in \{0;1\} \quad \forall i,t$$

Ci sono molte variabili binarie (quelle che mi danno fastidio, non le continue), essendo i prodotti indipendenti conviene usare il primo modello per ogni prodotto. In presenza di vincoli di capacità devo per forza usare il secondo modello → i prodotti non sono più indipendenti, devo considerarli insieme → devo fare delle scelte.
Il vincolo che li fa interagire deve avere una sommatoria su ogni $i$.

③ LOTTO ECONOMICO MULTIPRODOTTO CON VINCOLO DI CAPACITÀ

$\tau_{im}$ (parametro noto (es. tempo di processo)) = quantità di risorsa $m$ (scarsa) necessaria per una unità di $i$ (produzione)

$$\sum_i \tau_{im} x_{it} \leq C \quad \forall t$$

capacità che assumiamo sia la stessa

rispetto che va controllato periodo per periodo → il tempo non si recupera.

se anche le setup consumano risorse:

modello multitem con tempi e costi

$\tau'_{im}$ = quantità di risorsa scarsa $m$ consumata per il setup

$$\sum_i (\tau_{im} x_{it} + \tau'_{im}\, \delta_{it}) \leq C$$

il setup lo pago

$\min \sum\sum hI$ ← posso avere o solo tempi, o solo costi o tutti e due

$\sum (\tau x + \tau' \delta) \leq C$

non è detto che lo pago il setup

Questi modelli garantiscono già per sé il soddisfacimento della domanda:
se $I_t \geq 0 \Rightarrow I_{t-1} + x_t - d_t \geq 0 \Rightarrow I_{t-1} + x_t \geq d_t$

la domanda viene sempre soddisfatta, non c'è bisogno di vincoli.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 71 di 302

Cosa succede se i clienti non aspettano, dunque avrò ~~perdite~~ vendite perse?
Ie mp non sarà mai negativo, ma dovrò aggiungere anche i costi di produzione o acquisto, inoltre avrò una perdita di immagine, che genera costi → essendoci tutti questi costi vanno considerati anche i ricavi → la f.o. diventa una funzione di massimizzazione dei profitti. Prima abbiamo sempre minimizzato i costi perché i profitti erano costanti, ora però non è più costante.

quantità di i venduta durante t — costi mp — costi di prod/acqu.

$$\max \sum_i \sum_t p_i v_{it} - \sum_i \sum_t (h_i I_{it} + s_i \delta_{it} + c_i x_{it}) -$$

prezzo di vendita (noto) — costi setup — anche questo diventa incidente

penalità per la mancata vendita

$$- \sum_i \sum_t p_{v_i} (d_{it} - v_{it})$$

s.t.

non tengo la domanda, ma la quantità venduta

$$I_{it} = I_{i,t-1} + x_{it} - v_{it} \quad \forall i,t$$

$$v_{it} \le d_{it} \quad \forall i,t$$

vincolo di capacità non cambia

$$\sum_i (r_{im} x_{it} + r'_{im} v_{it}) \le C \quad \forall t$$

rimane uguale

$$x_{it} \le \left( \sum_{\tau=t}^{T} d_{i\tau} \right) \delta_{it} \quad \forall i,t$$

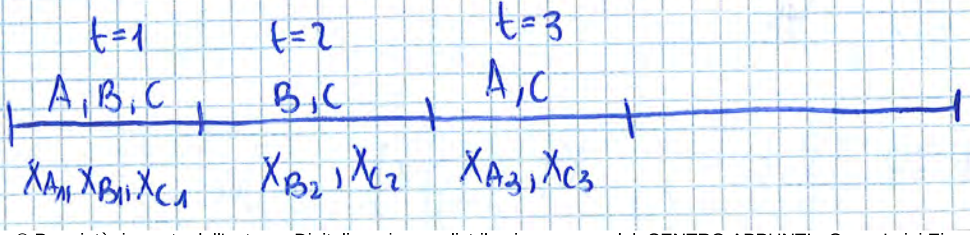
$$x_{it}, I_{it}, v_{it} \ge 0 \quad \forall i,t$$

$$\delta_{it} \in \{0;1\} \quad \forall i,t$$

Consideriamo un altro aspetto:

$\delta_{B1} = 1$

$\delta_{B2} = 1$



$$J_{it} \geq x_{it} - x_{i,t-1} \quad \forall i,t$$

↳ in questo modo se può essere zero andrà a zero, se la differenza è meno -1 essendo per forza $J_{it} \geq 0$ andrà a zero, se è 1 sarà 1, non metterà un valore più grande.

Cosa succede se aggiungo oltre ai costi, il tempo di setup che è più piccolo del tb?

$$J_{it} \geq 0 \quad \forall t,i$$

---

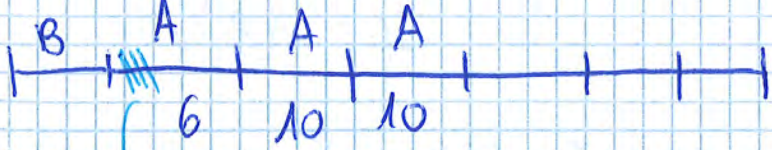
8/11/13

Lot sizing è perché quando non mi dice la sequenza, che invece è data in una pianificazione di breve → modelli di scheduling.

- lot → perché c'è ancora il concetto di lotti
- scheduling → perché abbiamo un sequenziamento.

Il vincolo della big M non c'è più perché se produco so quanto produco. In questo modello, inoltre, la variabile J può anche non essere binaria. Il tempo di soluzione è esponenziale → aumentare le variabili binarie lo aumenta notevolmente.

- tempo di setup più piccolo del tb:




↳ questo tempo devo dedicarlo al setup, quindi non produrrò più 10 ma 6.

In questa condizione cambia:

s.t. $I_{it} = I_{i,t-1} + p_i x_{it} - r_i J_{it} - d_{it} \quad \forall i,t$

In questo caso il setup occupa un tempo che servirebbe a fare 4 unità di A → $r_A = 4$ → parametro noto

es: $\Delta t = 1h$ tempo processo = 2 min tempo set up = 10 min

$p_i = 30$ unità $r_i = 5$ unità

In genere $a_{ij} < A_j$. Infine il costo di mantenimento in mg e' $h_i$.

$I_{i0} \rightarrow$ mg iniziale

$H_i \rightarrow$ mg finale che voglio ottenere, mg target.
↳ per evitare gli effetti di bordo → il bordo rappresenta la chiusura dell'azienda

Vogliamo massimizzare il profitto assumendo che i clienti non vogliono aspettare.

VARIABILI:

$I_{it}$ = livello di mg di i in t

$\begin{cases} i = 1, \dots, N \text{ prodotti} \\ j = 1, \dots, J \text{ fornitori} \\ t = 1, \dots, T \text{ periodi} \end{cases}$

$I_j$ → insieme di prodotti venduti dal fornitore j

$I_i$ → insieme dei fornitori che vendono il prodotto i

$x_{ijt}$ = quantità di i acquistata j durante t.

$v_{it}$ = quantità di i venduta in t

$\delta_{jt}$ → 1 se acquisto da j in t
→ 0 altrimenti
↳ se acquisto da un fornitore

$\gamma_{ijt}$ → 1 se acquisto i da j in t
→ 0 altrimenti
↳ se acquisto uno specifico prodotto da un dato fornitore

PARAMETRI:

$d_{it}$

$p_i$ = prezzo vendita i

$c_{ij}$ = costo d'acquisto i da j

$A_j$ = costo fisso dal fornitore j

$a_{ij}$ = costo fisso prodotto i dal fornitore j

$I_{i0}$ = mg iniziale i

$H_i$ = mg finale per i

$h_i$ = costo mg per prodotto i

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 77 di 302

time bucket settimanale.

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 12 | 14 | 16 | 8 | 2 | 20 | 24 | 3 | 7 | 15 |

se l'orizzonte temporale e' troppo breve, rischio di fare errori.
la prima cosa di cui mi devo occupare → $\boxed{\text{Orizzonte di pianificazione}}$

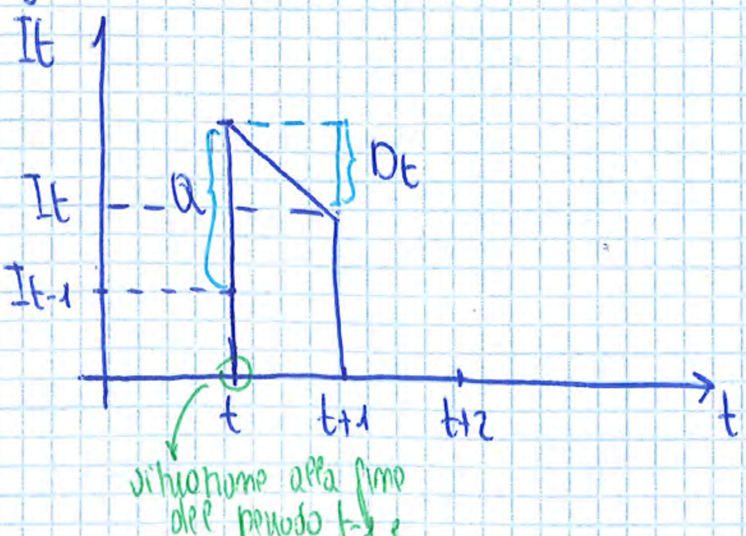
se e' breve ⇒ miopia
se e' lungo ⇒ non più deterministico
→ dovrei trovare il giusto trade off tra i due casi.

supponiamo che io decida di ordinare da ora per la decima settimana.
Alla seconda settimana mi accorgo che i numeri sono cambiati → ripianifico.
Tra altre due settimane stessa storia, dunque ciò che e' importante e' anche il $\boxed{\text{periodo di pianificazione}}$.

Dunque, noi facciamo dei piani, ma essendo l'orizzonte > del periodo attuo solo una parte del piano ⇒ $\boxed{\text{Rolling horizon}}$

Problema: trovare la politica di riordino "ottima" che minimizzi i costi di setup / riordino e i costi di mg.

si tratta di un sistema dinamico → stato che evolve nel tempo dato dal livello del mg.



situazione alla fine del periodo t-1 e all'inizio del periodo t.

$t = \{1, \dots, T\}$ time bucket

voglio minimizzare alcune variabili decisionali in funzione di alcuni parametri

⇓

Var. Dec → $I_t$ = mag, $S_t$, $Q_t$

Par → $h$, $A$, $D_t$

> EURISTICA 2: $EOQ = \sqrt{\dfrac{2A\bar{D}}{h}}$

$$\bar{D} = \frac{10+15+5+20+5+10}{6} = 10{,}83 \text{ pezzi/t}$$

meglio multiplo di 5

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot 50 \cdot 10{,}83}{0{,}5}} = 46 \sim 45 \text{ pezzi}$$

ogni volta che ordino devo ordinare questa quantità

Quantità costante, periodo variabile

si considera che $I_0 = 0$

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D$ | 10 | 15 | 5 | 20 | 5 | 10 |
| $I_t$ | 35 | 20 | 15 | 40 | 35 | 25 |
| $Q_t$ | 45 | 0 | 0 | 45 | 0 | 0 |
| $S_t$ | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

costi mg = 85 €

costi setup = 100 €

costi tot = 185 €

Il problema è che ordinandolo 45 il mg non va a zero. → ordinare quantità prefissate senza guardare la domanda non va bene!

> EURISTICA 3: PBQ (periodic batch quantity)

$$EOQ \Rightarrow \boxed{PBQ = \frac{EOQ}{\bar{D}}} = \frac{46}{10{,}83} \sim 4$$

↳ lotto economico per il periodo di riordino

Quantità variabile, periodo costante

→ ovviamente troppo piccolo

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D$ | 10 | 15 | 5 | 20 | 5 | 10 |
| $I_t$ | 40 | 25 | 20 | 0 | 10 | 0 |
| $Q_t$ | 50 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 |
| $S_t$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

→ ordino quanto mi serve per resistere tot periodi

costi mg = 47,5 €

costi setup = 100 €

costi tot. = 147,5 €

Evito di avere residui di mg → soluzione più furba.

$f_7 = 0$

$f_6 = \min_{j \geq 6} (C_{66} + f_7) = \min_{j \geq 6} (50+0) = 50$ → se devo ordinare in 6 "conviene" ordinare quanto serve in 6.

$f_5 = \min_{j \geq 5} ( C_{55} + f_6 \ ; \ C_{56} + f_7 ) = \min_{j \geq 5} (50+50 \ ; \ 55+0) = 55$

se devo ordinare in 5 conviene ordinare quanto serve in 5 e in 6

$f_4 = \min_{j \geq 4} ( C_{44} + f_5 \ ; \ C_{45} + f_6 \ ; \ C_{46} + f_7 ) =$

$= \min_{j \geq 4} ( 50+55 \ ; \ 52,5+50 \ ; \ 62,5 ) = 62,5$

$f_3 = \min_{j \geq 3} ( C_{33} + f_4 \ ; \ C_{34} + f_5 \ ; \ C_{35} + f_6 \ ; \ C_{36} + f_7 ) = \min_{j \geq 3} ( 50+62,5 \ ;$

$60+55 \ ; \ 65+50 \ ; \ 80 ) = 80$

$f_2 = \min_{j \geq 2} ( C_{22} + f_3 \ ; \ C_{23} + f_4 \ ; \ C_{24} + f_5 \ ; \ C_{25} + f_6 \ ; \ C_{26} + f_7 ) =$

$= \min_{j \geq 2} ( 130 \ ; \ 52,5+62,5 \ ; \ 72,5+55 \ ; \ 80+50 \ ; \ 100 ) = 100$

$f_1 = \min_{j \geq 1} ( C_{11} + f_2 \ ; \ C_{12} + f_3 \ ; \ C_{13} + f_4 \ ; \ C_{14} + f_5 \ ; \ C_{15} + f_6 \ ; \ C_{16} + f_7 ) =$

$= \min_{j \geq 1} ( 50+100 \ ; \ 57,5+80 \ ; \ 62,5+62,5 \ ; \ 92,5+55 \ ; \ 107,5+50 \ ;$
$127,5 ) = 62,5+62,5$ → questa è soluzione migliore da prendere all'inizio, poi dal punto 4 in poi fai ciò che conviene in quel punto, in questo caso sarebbe ordinare fino alla fine.

Il punto da 4:

$$C(4,4) = \frac{50 + 20 \cdot 0{,}5}{1} = 60\ €/tb$$

$$C(4,5) = \frac{50 + 10 + 5 \cdot 2 \cdot 0{,}5}{2} = 32{,}5\ €/tb$$

$$C(4,6) = \frac{50 + 10 + 5 + 10 \cdot 3 \cdot 0{,}5}{3} = 26{,}6\ €/tb$$

Dunque ordinerò da 1 per coprire fino a 3 e da 4 fino a 6.

> EURISTICA 5: **LUC** (least unit cost)

Guardo quanti pezzi vado a coprire. → distribuisco il costo sui pezzi, non sul numero di time buckets.

$$\boxed{C(t';t'') = \frac{A + \sum_{t=t'}^{t''} (t - t' + 1) \cdot h \cdot D_t}{\sum_{t=t'}^{t''} D_t}}$$

$$C(1,1) = \frac{50 + 10 \cdot 0{,}5}{10} = 5{,}5\ €/pezzo$$

$$C(1,2) = \frac{50 + 10 \cdot 0{,}5 + 15 \cdot 2 \cdot 0{,}5}{25} = 2{,}8\ €/pezzo$$

$$C(1,3) = \frac{50 + 5 + 15 + 5 \cdot 3 \cdot 0{,}5}{30} = 2{,}58\ €/pezzo$$

$$C(1,4) = \frac{50 + 5 + 15 + 7{,}5 + 20 \cdot 4 \cdot 0{,}5}{60} = 2{,}35\ €/pezzo$$

$$C(1,5) = \frac{50 + 5 + 15 + 7{,}5 + 40 + 5 \cdot 5 \cdot 0{,}5}{55} = 2{,}36\ €/pezzo$$ stop

15/11/13

## PIANIFICAZIONE AGGREGATA:

Si colloca ad un livello decisionale (tattico) livello intermedio (livello sup → strategia, livello inferiore → operativo):

decisioni che hanno una forte implicazione, che sono soggette ad una forte incertezza ← **strategia** → cosa fare, con quali mezzi e quali investimenti fare
(deve prevedere in ed nel tempo) (annuale)*

↓

Bisogna cercare di usare nel miglior modo possibile le risorse che abbiamo ← **tattico** → data la strategia, decidere come usare gli asset nel medio termine
(nel medio termine) (mensile)*

↓

**operativo** → cosa faccio oggi
(orizzonte breve) (settimanale)*

*le scale temporali, però, dipendono fortemente dal contesto.

- Quali sono le variabili decisionali? Sapendo che alcune cose sono decidibili e altre sono state decise.

- Prima cosa: decidere cosa decidere → in base alle scelte imposte da decisioni prese a monte (non assolute)
Ciò che è decidibile diventa una variabile, ciò che è stato deciso è un parametro. → nulla è una variabile e un parametro in senso assoluto, dipende dal contesto in cui operiamo

- Qual è l'orizzonte temporale in cui operiamo?
Da 1 anno fino ad una settimana

- Quali sono le variazioni rilevanti?
È qualcosa che ci potrà a capire meglio i punti precedenti.

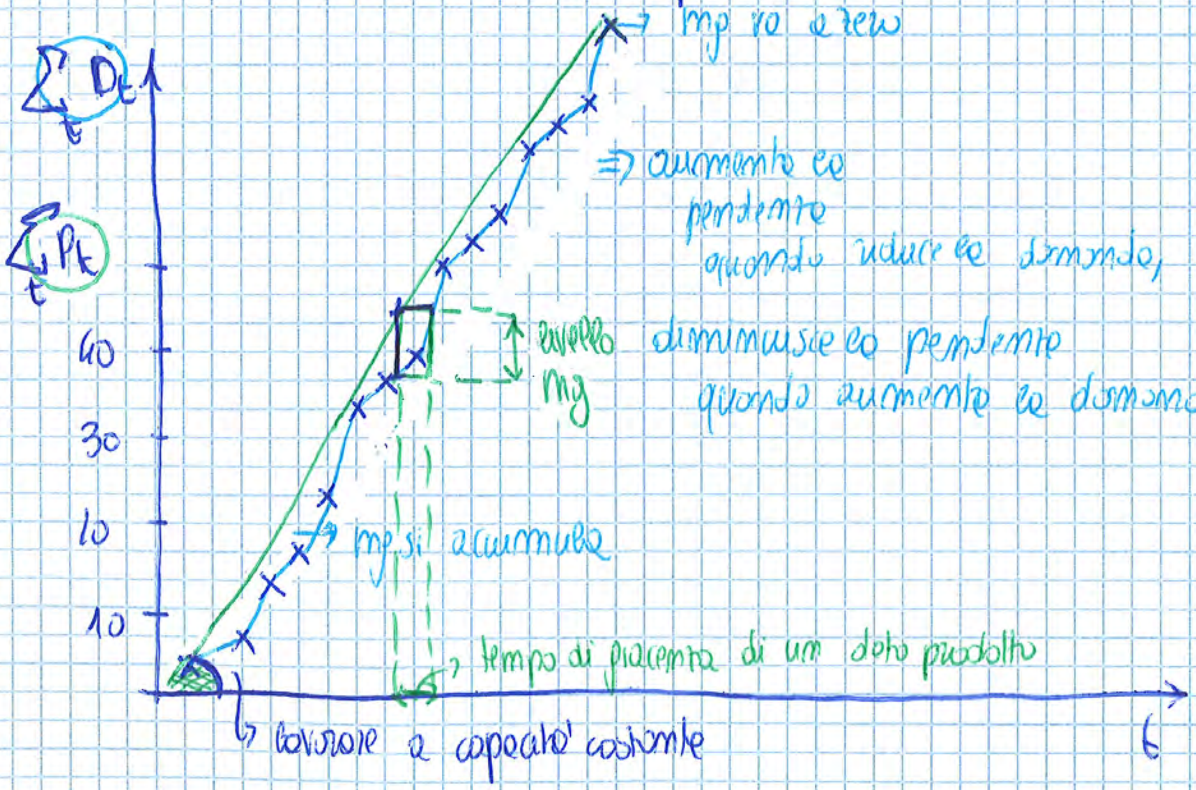
- Livello di aggregazione:

può succedere per particolari prodotti particolarmente ricercati
se i clienti sono disposti a pagare questi costi in più, bene.
- oppure se per avere una capacità pari al picco non devo fare investimenti particolari

⇒ una scelta del genere dipende dal costo di mp, dai margini e dalla natura del processo (intensivo di capitale e intensivo di lavoro).

2 → ho mp e posso avere il caso di backorder o di mancate vendite
↳ produco a massima efficienza, mantenendo la produzione costante.

In realtà, non si ragiona tanto sul livello di domanda, ma sul livello della cumulata della domanda e della produzione.




Ovviamente esistono anche soluzioni intermedie.

↳ straordinari → deve essere pagato, anche più del lavoro normale e ci sono vincoli su di esso. Può essere pagato ad ore o a turni.

↳ part time → sia orizzontale (lavoro tutti i giorni metà giornata) che verticale (lavoro in modo non uniforme nel corso del tempo es: 8h in inverno, 4h in estate), anche il part time ha un costo.

↳ cassa integrazione (CIG) → si versano dei soldi in un fondo, quando ci sono imprevisti l'azienda paga i lavoratori prendendo i soldi dalla cassa. Può essere ordinaria o straordinaria.

↳ contratti a monte ore

↳ ferie obbligatorie

3) flessibilità funzionale

es: ad un dipendente faccio fare più cose, compiti diversi → bisogna istruirlo per renderlo competente

Uso delle persone in maniera qualitativa, non quantitativa.
Per avere risorse flessibili devo avere costi in più.

4) flessibilità salariale

Quando ho domanda pago più i lavoratori, quando la domanda scende pago di meno.

↳ premi di produzione

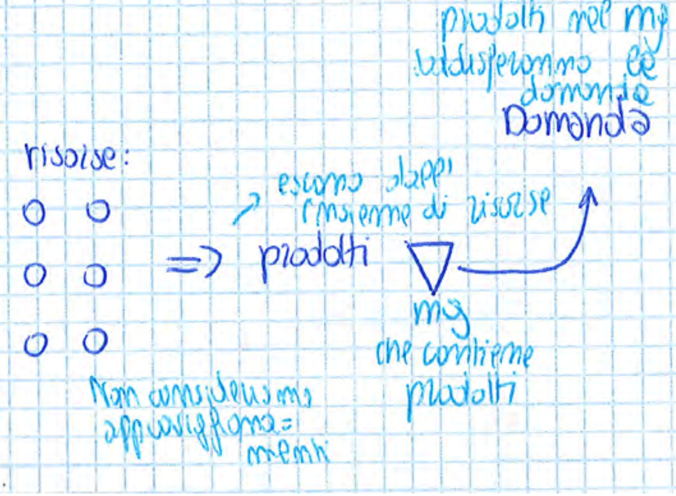
↳ cottimo → vieni pagato a pezzo, non ad ore, quindi il salario non è più fisso ma variabile.

↳ contratti di solidarietà → nascono in momenti di crisi.

## MODELLI DI PIANIFICAZIONE:

Modello base:

- tanti tipi di prodotto
- diverse risorse responsabili della produzione senza flessibilità tecnica (modi diversi di fare la stessa cosa)
- domanda nota



19/11/13

Come caso base, ma c'è la possibilità di ottenere una quantità di $\boxed{\text{lavoro straordinario}}$:
limitata $\forall t$

$$\bigcirc^{i} \xrightarrow{x_{ij}} \underset{mg}{\nabla}^{j} \longrightarrow D_{jt}$$

**Insiemi:**

$t = 1, \dots, T$ tb

$j = 1, \dots, n$ prodotti

$i = 1, \dots, m$ risorse

Se la domanda va soddisfatta per intero, vuol dire che i ricavi sono dati → minimo costo

$$\min \sum_{it} O_{it} \cdot co_i + \sum_{jt} I_{jt} h_j$$

s.t.

in questa formulazione si fa riferimento al mg di inizio periodo

$$I_{j,t+1} = I_{j,t} + x_{jt} - d_{jt} \qquad \forall j,t$$

risorse consumate per produrre le quantità

aggiungo lo straordinario alla mia capacità

$$\sum_j x_{jt} r_{ij} \le R_i + O_{it} \qquad \forall i,t$$

$$O_{it} \le O_i \qquad \forall i,t$$

se qui mettessi $O_i$ non potrei pagare lo straordinario (è presente nella f.o.)

$$x_{jt}, I_{jt} \ge 0 \qquad \forall j,t$$

$$O_{it} \ge 0 \qquad \forall i,t$$

**Parametri:**

$R_i$ = disp. $i$ $\qquad r_{ij}$ = q. di $i$ per fare $j$

$d_{jt}$ = domanda di $j$ in $t$

$h_j$ = costo mantenim. $j$

$O_i$ = max straordinario su $i$

$co_i$ = costo unitario straordinario

**Variabili:**

$x_{jt}$ = quantità

$I_{jt}$ = mg di $j$ in $t$

$O_{it}$ = quantità di straordinario

Supponiamo di aggiungere la possibilità di fare $\boxed{\text{backorder}}$:

Il mg può andare in negativo in presenza di backorder, ma non posso definire una variabile negativa perché molti software commerciali leggono solo variabili positive, inoltre non è molto elegante definire un'unica variabile che indichi due cose diverse → mg / backorder. Dunque:

$$I_{jt} = \underbrace{I^{+}_{jt}}_{mg} - \underbrace{I^{-}_{jt}}_{backorder}$$

$V_{jt}, I_{jt}, X_{jt} \geq 0 \quad \forall j,t$

se ci si dimentica il vincolo 2 si vede dai risultati
↳ la f.o. assume valori strellati e le risorse saranno sempre sature, inoltre la quantità venduta sarà molto maggiore della domanda che nella f.o. andrebbe a zero non essendo correlata con nulla

Variabili:

$V_{jt}$ = quantità venduta di j in t

$I_{jt}$ = mp di j in t

$X_{jt}$ = quantità prodotto di j in t

Caso base + $\boxed{\text{straordinario}}$ + $\boxed{\text{assunzioni / licenziamenti}}$
↳ straordinario è limitato in ogni tb a una frazione della manodopera disponibile
↳ Ogni assunzione / licenziamento comporta una penale / costo.

Anche la forza lavoro diventa una dinamica, come le mg.

$$\min \sum_{jt} h_j I_{jt} + \sum_{ij} \left( MDO_{it} \cdot C_i + H_{it} \cdot CH_i + F_{it} \cdot CF_i + O_{it} \cdot CO_i \right)$$

s.t.

dinamica mg

$$I_{j,t+1} = I_{j,t} + X_{jt} - d_{jt} \quad \forall j,t$$

dinamica forza lavoro

per ogni centro di lavoro e per ogni tb

$$MDO_{i,t+1} = MDO_{i,t} + H_{i,t} - F_{i,t} \quad \forall i,t$$

vincolo di capacità

$$\sum_j X_{jt} r_{ij} \leq MDO_{it} + O_{it} \quad \forall i,t$$

percentuale della risorsa tot che posso avere in più

$$O_{it} \leq \alpha \cdot MDO_{it} \quad \forall i,t$$

impongo un vincolo sulla quantità di straordinario ammissibile

$$X_{j,t}, I_{j,t} \geq 0 \quad \forall j,t$$

$$MDO_{it}, H_{it}, F_{it}, O_{it} \geq 0 \quad \forall i,t$$

Insiemi:

i, j, t

Parametri:

$h_j$, $C_i$ = costo unitario capacità su i

$CH_i$ = costo di assunt. su i

$CF_i$ = " licenziam. "

$CO_i$ = " straordin. "

$d_{jt}$, $\alpha$

Variabili:

$X_{jt}, I_{jt}$, $MDO_{it}$ = capacità su i in t

$H_{it}$ = assunzioni su i in t

$F_{it}$ = licenziamenti "

$O_{it}$ = straordinario "

in questo modo si impone che per produrre devo essere un setup.

⊛ $x_{jt} \le M\, s_{jt} \qquad \forall j,t$

M deve essere tale da non limitare, ma allo stesso tempo non troppo grande rispetto alle dimensioni delle variabili in gioco.

## MODELLI DI ASSEMBLAGGIO:

Esiste una domanda di prodotti finiti da soddisfare per intero e senza b.o., esiste una risorsa di assemblaggio con tempi di assemblaggio noti. È nota la distinta base* che esprime i componenti necessari per produrre ogni prodotto finito. Esiste un costo di setup per l'assemblaggio (anche tempo). Esiste un costo di riordino dei componenti.

costo d'acquisto e le quantità non saranno importanti perché sono costanti, ciò che devo modellare è la grandezza del lotto a causa del costo CR

$A_{it} \rightarrow \underset{I_{it}}{\nabla}$ (mg comp.) $\xrightarrow{?}$ O (risorsa assemb.) $\xrightarrow{x_{jt}} \underset{I_{jt}}{\nabla}$ (mg PF) $\rightarrow D_{jt}$

ho dei costi di riordino

*per ogni prodotto di tipo j quanti comp. di tipo i mi servono?

$$\min \sum_{jt} I_{jt} h_j + \sum_{jt} s_{jt} \cdot cs_j + \sum_{it} IC_{it} \cdot hc_i + \sum_{it} R_{it}\, CR_i$$

**Insiemi:**

$t = 1, \dots, T$ tb

$j = 1, \dots, n$ prod. fin.

$i = 1, \dots, m$ comp.

s.t.

mg prodotti finiti

$$I_{j,t} = I_{j,t-1} + x_{jt} - d_{jt} \qquad \forall j,t$$

mg componenti

$$IC_{i,t} = IC_{i,t-1} + A_{it} - \sum_j x_{jt} \cdot \alpha_{ij} \qquad \forall i,t$$

solo una matrice che repp. quantità intere.

$$\sum_j x_{jt} r_j + \sum_j s_{jt} \cdot ts_j \le CD$$

per produrre prodotti devi fare setup

$\hookrightarrow x_{jt} \le M \cdot s_{jt} \qquad \forall j,t$

**Parametri:**

$h_j$, $cs_j$

$hc_i$ = costo di mg di i

$CR_i$ = costo riordino i

$d_{jt}$ = domanda di j in t

$\alpha_{ij}$ = per ogni prodotto j quanti i servono

$ts_j$ = tempo setup

- ogni mp ha un suo tempo di raffinazione (supponiamo)
- ci sono tempi di setup (non consideriamo i costi)

$$\min \sum_{jt} I_{jt} h_j + \sum_{it} IMP_{it}\, hMP_i + \sum_{it} A_{it} \cdot p_{it}$$

in questo caso decido cosa acquistare, le quantità di componenti e le manipolo

**Insiemi:** $i, j, t$

s.t.

$$IMP_{i,t+1} = IMP_{i,t} + A_{it} - x_{it} \quad \forall i,t$$

$$I_{j,t+1} = I_{j,t} - d_{jt} + \sum_i x_{it} \cdot a_{ij} \quad \forall j,t$$

$$\sum_i x_{it} \cdot t_i + \sum_i ts_i \cdot S_{it} \leq CD \quad \forall t$$

$$x_{it} \leq S_{it} \cdot M \quad \forall i,t$$

$$I_{j,t} \geq 0 \quad \forall j,t$$

$$A_{it},\ x_{it},\ IMP_{it} \geq 0 \quad \forall i,t$$

$$S_{i,t} \in \{0;1\} \quad \forall i,t$$

**Parametri:** $h_j$, $hMP_i$, $p_{it}$, $t_i$, $CD$, $ts_i$

$x a_{ij}$ = quantità di J ottenute con i

**Variabili:**

$I_{jt}$, $IMP_{it}$, $A_{it}$

$x_{it}$ = quantità di i raffinata in t

$S_{it}$ → 1 setup, → 0 altrimenti

---

Esercizi: 21/11/13

① MILP

M materie prime, N prodotti — assemblaggio $(m \times n)$

P classi di qualità $(n \times p)$

costi e tempi di setup, costi di riordino, costi di mp, costo prodotto-classe di qualità → valori noti.

penalità di mancata vendita; posso non soddisfare la domanda; posso soddisfare la domanda con classi maggiori ma non viceversa. (nuovo)

$QA_{it} \leq M R_{it} \quad \forall i,t$

+ non negatività
+ interezza

(2) acquisti e produzione

N prodotti, 1 linea di produzione, setup tempi e costi

domande soddisfatte

~~P fornitori~~, standing order → non c'è bisogno di ordinare

standing order → q. costante acquistata

c'è → costo d'eccezione → penalità fissa + sovrapprezzo per ogni unità in più + penale per ogni unità in meno.

Il testo non dice espressamente cosa va deciso

↳ libertà di interpretazione

deciderò il livello costante + le deroghe

**Insiemi:**

$t = 1, \dots, T$ tb

$j = 1, \dots, N$ prod.

$i = 1, \dots, M$ m.p.

$t_j$ = tempo lavorazione

$ts_j$ = tempo setup

**Parametri:**

$h_j$ = costo mg pf

$cs_j$ = costo setup

$hmp_i$ = costo mg mp

$PSO_i$ = costo standing order

$PD_i$ = penale di deroga

$PE_i$ = sovrapprezzo

$PF_i$ = penale difetto

$D_{jt}$ = domanda

$a_{ij}$ = q. di i per fare j

$CD$ = capacità

**Variabili:**

$I_{jt}$ = livello mg pf.

$S_{jt}$ → 1 setup, → 0 altrimenti

$IMP_{it}$ = livello mg mp

$QSO_i$ = quantità richiesta in standing order

$D_{it}$ → 1 se derogo, → 0 altrimenti

$QE_{it}$ = quantità in eccesso

$QF_{it}$ = quantità difetto

$x_{jt}$ = quantità prodotta

**Insiemi:**

$t = 1, \dots, T$ tb

$j = 1, \dots, n$ riserve

$j$ = miniere percorribili nel tb.

**Parametri:**

$C$ = costo di permanenza / pesca $\forall$ tb

$h$ = costo mg di bordo

$CT_j$ = costo trasporto per andare in $j$

$hc$ = costo mg centrale

$\alpha_{jt}$ = tasso di rinnovamento stock ittico

$D_t$ = domanda

$\beta$ = frazione di pesci che posso pescare dati quelli disponib.

$MAI$ = capacità mg di bordo.

$\gamma$ =

**Variabili:**

$x_{jt}$ → 1 se pesco $j$ in $t$; → 0 altrimenti

$I_{jt}$ = livello mg di bordo

$NV_{jt}$ = n° viaggi da $j$ a $t$

$IC_t$ = livello mg centrale in $t$

$QD_{tj}$ = q. disponibile

$QP_{jt}$ = q. pescata

$QS_{jt}$ = q. spedite

massimamente avremo anche il costo per il trasporto

$$\min \sum_{jt} x_{jt} \cdot C + \sum_{jt} I_{jt} \cdot h + \sum_{jt} NV_{jt} \, CT_j + \sum_{t} IC_t \cdot hc$$

s.t.

$$QD_{j,t+1} = QD_{jt}(1 + \alpha_{jt}) - QP_{jt} \qquad \forall j,t$$

$$I_{jt+1} = I_{jt} + QP_{jt} - QS_{jt} \qquad \forall j,t$$

$$IC_{t+1} = IC_t + \sum_{j} QS_{jt} - D_t \qquad \forall t$$

$$QP_{jt} \leq \beta \, QD_{jt} \qquad \forall j,t$$

$$I_{jt} \leq MAXI \qquad \forall j,t$$

$$\min \sum_t I_t^\alpha h^\alpha + \sum_t I_t^\beta h^\beta + \sum_t I_t^{\alpha-} h^{\alpha-} + \sum_t I_t^{\beta-} h^{\beta-} + \sum_t x_t^{\alpha A} cvp^{\alpha A} + \sum_t x_t^{\alpha B} cvp^{\alpha B} +$$

$$+ \sum_t O_t^B co^B + \sum_t O_t^M co^m + \sum_t IM_t \cdot hm$$

s.t. vincoli dinamici

$$I_{t+1}^\alpha - I_{t+1}^{\alpha-} = I_t^\alpha - I_t^{\alpha-} + x_t^{\alpha A} + x_t^{\alpha B} - D_t^\alpha \quad \forall t$$

$$I_{t+1}^\beta - I_{t+1}^{\beta-} = I_t^\beta - I_t^{\beta-} + x_t^\beta - D_t^\beta \quad \forall t$$

$$IM_{t+1} = IM_t + y_t - x_t^\beta - x_t^{\alpha A} - x_t^{\alpha B} - D_t^M \quad \forall t$$

vincoli di capacità

$$x_t^{\alpha A} \cdot t^{\alpha A} \le CD^A \cdot Z_t^A \quad \forall t$$

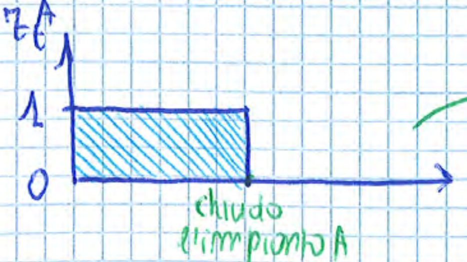
$$(x_t^{\alpha B} \cdot t^{\alpha B} + x_t^\beta \cdot t^\beta) \le CD^B + O_t^B \quad \forall t$$

$$y_t \cdot t^M \le CD^M + O_t^M \quad \forall t$$

vincoli logici

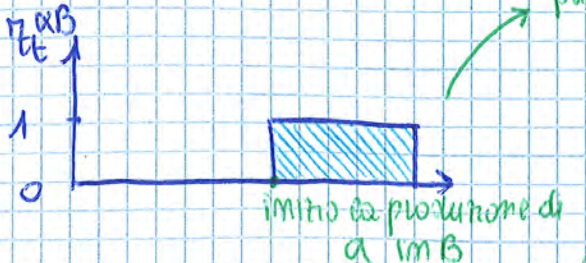
$$x_t^{\alpha B} \le M Z_t^{\alpha B} \quad \forall t$$

$$x_t^\beta \le M Z_t^B \quad \forall t$$




non può mai aumentare

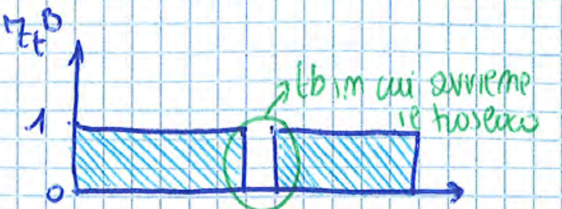
$$Z_{t+1}^A \le Z_t^A \quad \forall t$$




può solo aumentare

$$Z_{t+1}^{\alpha B} \ge Z_t^{\alpha B} \quad \forall t$$

$$Z_t^A + Z_t^{\alpha B} \le (1 - TR_t) \quad \forall t$$




quando c'è il trasloco non c'è la produzione

$$Z_t^B \le (1 - TR_t) \quad \forall t$$

collega la variabile booleana alle realtà

$$Z_t^A = Z_{t-1}^A - TR_t \quad \forall t$$

$$\max \sum_{k} VO_k z_k + \sum_{jt} QV_{jt} \cdot p_j - \sum_{jt} I_{jt} \cdot h_j - \sum_{jt} CVP_j \cdot x_{jt} - \sum_{t} CO \cdot O_t - \sum_{it} A_{it} \cdot CA_{it}$$

s.t.

$$I_{j,t+1} = I_{jt} + x_{jt} - QV_{jt} - \sum_{k} DG_{jkt} z_k \qquad \forall j,t$$

$$QV_{jt} \leq D_{jt} \qquad \forall j,t$$

$$A_{it} = \sum_{j} \alpha_{ij} x_{jt} \qquad \forall i,t$$

$$\sum_{t} x_{jt} \cdot t_j \leq CO + O_t \qquad \forall t$$

$$O_t \leq O^{max} \qquad \forall t$$

$$A_{it} \leq A_{it}^{max}$$

+ non negatività

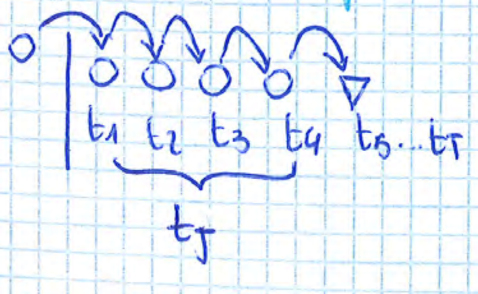
+ integralità

(6) – Non c'è assemblaggio – penalità per mancate vendite

– la stagionatura è una risorsa e dura un tempo pari a $t_j$, oltre $t_j$ si ha mp.

– prodotti coincidono con gli ingredienti

Dinamica del mp:




questo è ciò che avviene all'interno del mp da un punto di vista logico

Cerchiamo di capire come esprimerlo nel modello:

$$\sum_j x_{jt} \cdot t_j \le CD + O_t \quad \forall t$$

$$QV_{jt} \le D_{jt} \quad \forall j,t$$

$$A_{jt} \le A_{jt}^{max} \quad \forall j,t$$

+ non negatività
+ integralità

$$D_{t+1} = D_t + \sum_j A_{j,t-\Delta} \left(A_{j,t-\Delta} - \sum_{jt} (QV_{j,t-\varepsilon} P_j)\right) \quad \forall t$$

$$D_t \le D_{max} \quad \forall t$$

---

05/12/13

$\boxed{\text{MRP}}$ GESTIONE DELLE SCORTE CON DOMANDA DIPENDENTE:

↳ Material Requirements Planning (anni '70)

⇓

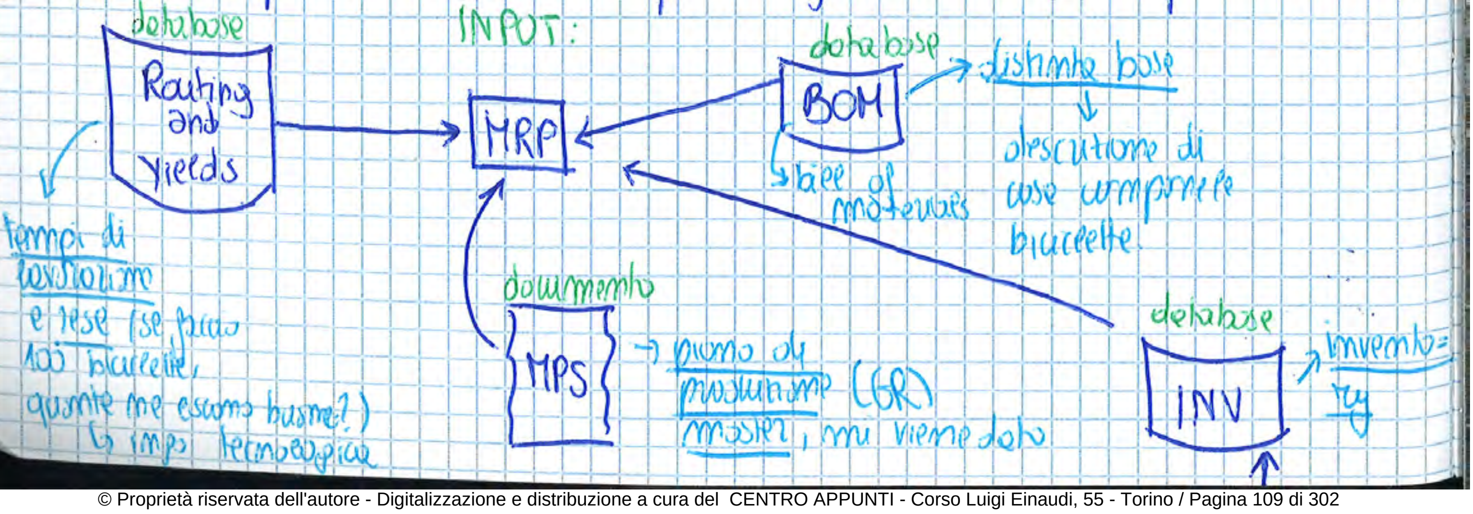
gestione delle scorte nei mg. → guardo i materiali → qui non si guarda la capacità

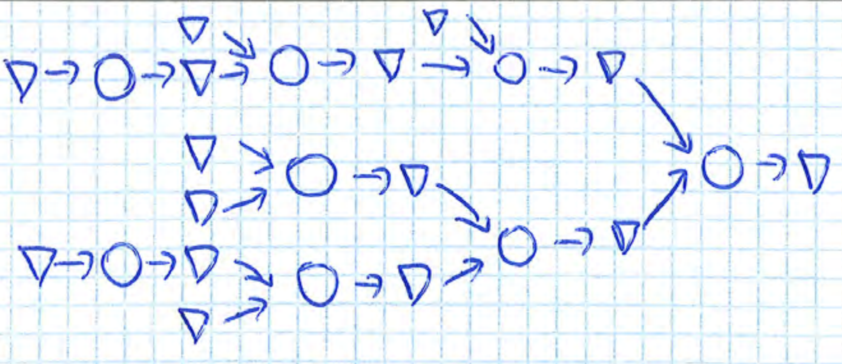
$\boxed{\text{MRP II}}$ → Manufacturing Resources Planning (anni '90)

⇓

guardo le risorse, dunque si va a guardare anche la capacità.

L'MRP è una procedura → riceve input e genera dati di output.

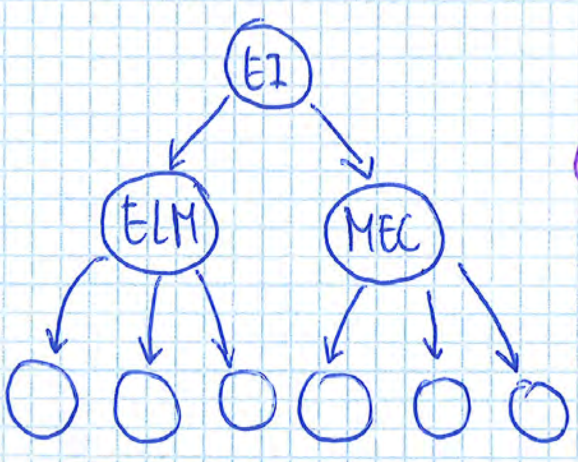




⇒ layout della mia fabbrica → lavoro del PBom.

se rimuovessi e gestire formalmente mp intermedi avrei una distinta base semplificata, se decidessi di tener conto di tutti i singoli steps avrei una distinta base più complessa e' accurata → posso decidere il livello di aggregazione, decidendo quali mp gestire formalmente.

Il modo precedente non e' l'unico per rappresentare la distinta base. Potrei ~~ridurre~~ il livello di aggregazione o usare un altro punto di vista. Ad esempio:
↳ aumentare



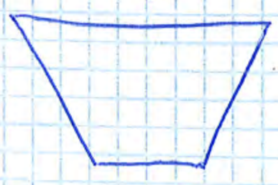

E BOM
↳ Engineering BOM

Entrambe le soluzioni sono giuste, fanno riferimento allo stesso prodotto, ma per gli impegni di produzione sarà utile sapere il primo, per gli ~~impegnati~~ altri l'altro.

le distinte basi possono essere quante voglio io.

In generale si dice che sull'EI arrive la domanda indipendente fissata da MPS.

Nel caso di raffinatura avrò più PF che MP:



Altri casi in cui partirò da tanti componenti, per giungere ad un numero limitato di moduli che posso combinare in tantissimi EI:

GR = Gross Requirement (fabbisogni lordi) → domanda

SR = Scheduled Receipt

POH = Projected on hand

NR = Net Requirement

$PO_{Rec}$ = Planned Order Receipt

$PO_{Rel}$ = Planned Order Release

PA = Planned Avaible

ruote ↓ 2 ruote x 1 bici

EOQ = 120    LT = 1

oss. ruote  oss. bici  bici

○ → ▽ → ○ ▽ → GR bici

salviamo 130 bici, dunque serviranno 260 ruote per soddisfare richieste

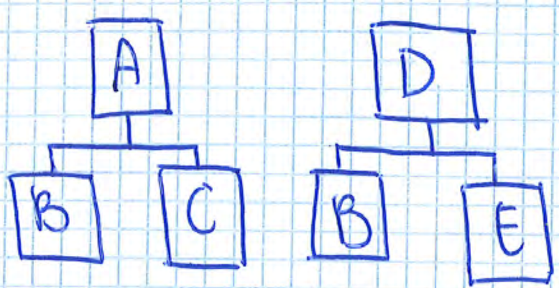
| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | | 0 | 260 | 260 | 0 | 0 | 0 |
| SR | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POH | 400 | 400 | 140 | -120 | -120 | -120 | -120 |
| NR | | 0 | 0 | 120 | 0 | 0 | 0 |
| $PO_{Rec}$ | | 0 | 0 | 120 | 0 | 0 | 0 |
| $PO_{Rel}$ | | 0 | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PA | 400 | 400 | 140 | 0 | 0 | 0 | 0 |

↗ quando lo voglio ricevere

↗ quando lo devo ordinare

Man mano che risaliamo lungo la distinta base ritroviamo un fenomeno chiamato $\boxed{\text{lamping demand}}$ → domanda a monte è fatta a blocchi (deriva dall'operazione di sizing ed explose)

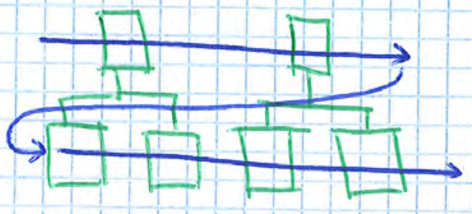
1) scorte eccessive lungo la distinta base
2) l'orizzonte di pianificazione è legato alla somma dei LT, dunque le LT porta a richiedere lunghi orizzonti di pianificazione (che sono pericolosi)




due EI

tre PP

quando ci sono più EI si lavora a zig-zag:



si fa prima MPR di A e D e poi di B, C, E

A

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PO_Rel | | 10 | 0 | 10 | 0 | 20 | 0 |

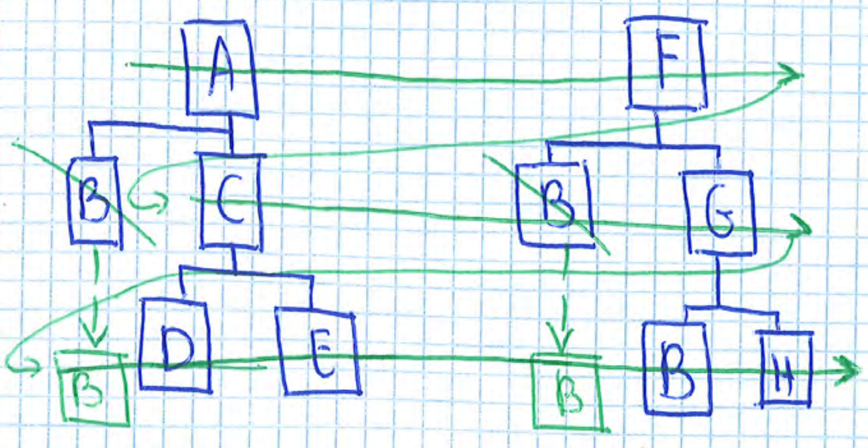
D

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PO_Rel | | 5 | 10 | 0 | 0 | 0 | 20 |

B

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PO_Rel | | 15 | 10 | 10 | 0 | 20 | 20 |

se invece avessimo:




porto B al livello inferiore, passando i GR da A, F e G ⇒ low-level coding ⇒

**Service Part Demand** pezzi di ricambio che vanno tenuti in mg

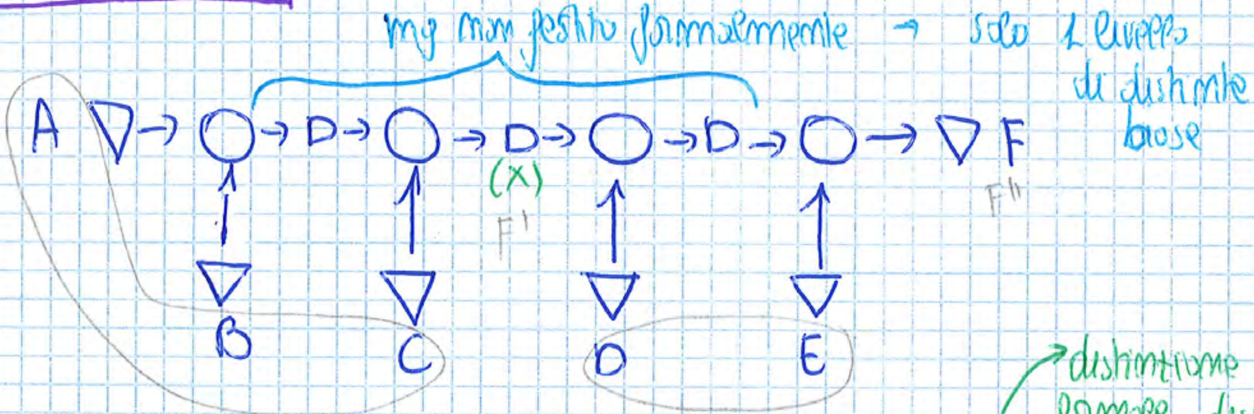
↳ normalmente le si aggiunge ai GR che arrivano da valle. → in modo uniforme

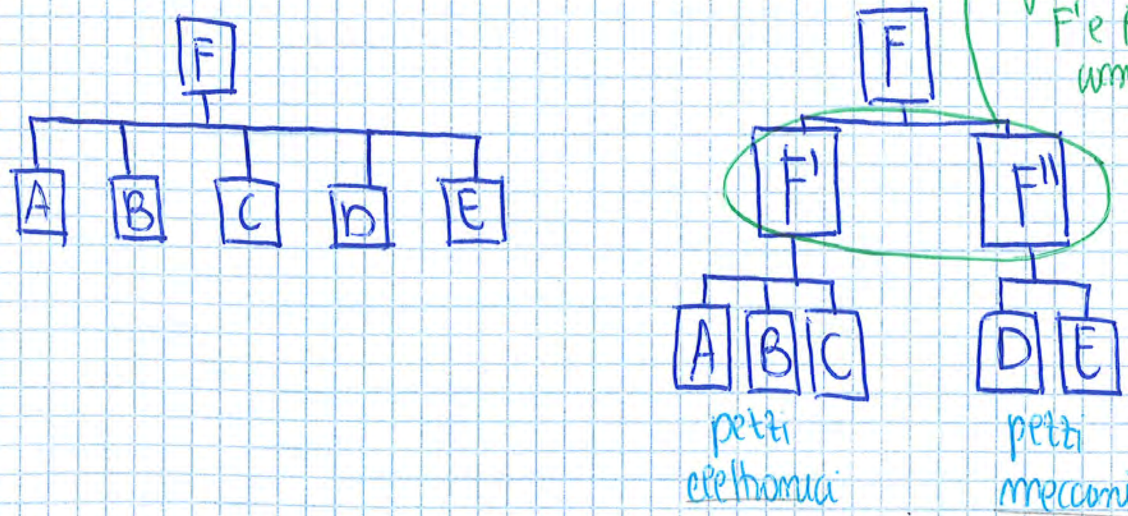
↳ pianificate

sono un buffer

**Scorte di sicurezza** → dal punto di vista dell'MRP basta aggiungere una tacca in più → non cambia nulla, tanto è tutto deterministico.

**Phantom items**




distinzione formale, distinguo F' e F'' per comodità, ma in realtà non esistono. o meglio, F' esiste e sta qua (X), F'' non c'è da solo, in ogni caso distinguo per comodità

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POH | 20 | | | | | | | | | |
| MPS | | 100 | | | 100 | | | 100 | | |
| FO | | 35 | 40 | 30 | 35 | 45 | 32 | 30 | 36 | 30 |
| ATP | | 85 | 45 | 15 | 80 | 35 | 3 | 73 | 37 | 7 |

→ 320 pezzi disponibili

→ 313 pezzi che devo vendere

↳ scarto, ciò che rimane nel mio piano.

Se il piano è stretto bisogna salire di livello e dire al capo che il piano va cambiato → è un problema di deleghe.

- Nell'ATO l'MPS è a livello di moduli.

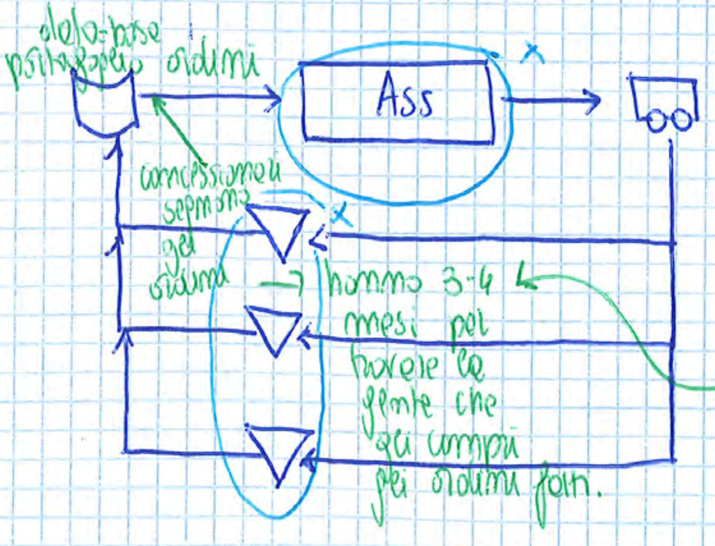
- se non voglio modificare il piano e mi chiedono 7 pezzi posso dire: 3 subito 4 ~~dopo~~ 7 sett.

- se il piano inizia ad andare stretto posso modificarlo rifacendo l'MPS e rilanciando MRP.

Es: settore automobilistico

$LT_{ATO}$ = 2-3 mesi

non sempre il cliente può aspettare il LT dell'ATO. Certe case automobilistiche lavorano sempre in ATO, case automobilistiche più "modeste" invece lavorano in ATDO (Assemble to dealer order)




le case automobilistiche fanno fare gli ordini alle concessionarie anche se ancora non hanno avuto richieste dai clienti

- se non vendo l'auto la immatricolano e la rivendono a km 0 → hanno un margine minore

- se il cliente vuole per forza una macchina di un altro colore sente un altro centri di lavoro

| | α | β | γ | LT |
|---|---|---|---|---|
| A | 5 | \ | \ | 1 |
| B | \ | 10 | \ | 1 |
| C | \ | 2 | 4 | 2 |
| D | 5 | \ | \ | 1 |
| E | \ | 6 | 4 | 2 |

ore di lavorazione

MPS:

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | 10 | 8 | 7 | 8 | 6 | 9 |
| D | | 8 | 8 | 6 | 4 | 4 | 6 |

si può fare?

RCCP → valuta la capacità considerando solo l'explode (valuta la capacità richiesta per fare questi componenti).

⇓

si può fare in 2 modi → 1) usare statistiche su uso dei CL.

CPOF = Capacity Planning using Overall Factors.

es:

centri di lavoro

| CL | h | |
|---|---|---|
| α | 3000 | 30% |
| β | 4200 | 42% |
| γ | 2800 | 28% |
| tot | 10000 | |

ore richieste dei EI:

| | |
|---|---|
| A | 21 |
| D | 25 |

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 210 | 168 | 149 | . | . | . |
| D | 200 | 200 | 150 | . | . | . |

ci sono anche altri metodi (molosi)

$\boxed{\text{CRP}}$ sulla macchina $\gamma$ : valutiamo se realmente la macchina ce la fa a produrre tot quantità per un determinato tb.

(il report di B non lo devo fare perché la macchina $\gamma$ produce solo A, C, D, E)

| A | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | | 10 | 8 | 7 | 8 | 6 | 9 |
| SR | | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POH | 0 | 0 | -8 | -15 | -13 | -19 | -38 |
| NR | | 0 | 8 | 7 | 8 | 6 | 9 |
| $PO_{Rec}$ | | 0 | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 |
| $PO_{Rel}$ | | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 | 0 |
| PA | 0 | 0 | 2 | 5 | 7 | 1 | 2 |

EOQ = 10

| D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR | | 8 | 8 | 6 | 4 | 4 | 6 |
| SR | | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| POH | 0 | 2 | -6 | -12 | -16 | -20 | -26 |
| NR | | 0 | 6 | 6 | 4 | 4 | 6 |
| $PO_{Rec}$ | | 0 | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 |
| $PO_{Rel}$ | | 10 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| PA | 0 | 2 | 4 | 8 | 4 | 0 | 4 |

EOQ = 10

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 123 di 302

1) Supponendo di scegliere la prima ipotesi: × di capacità

| $\gamma$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 24 | 24 | 24 | 24 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 24 | 24 | 0 | 0 |
| tot | 24 | 24 | 48 | 48 | 0 | 0 |

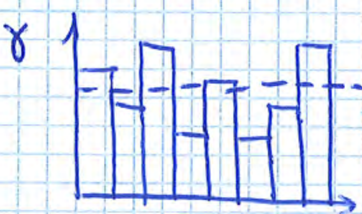
$6 \times 4$ $6 \times 4$

questo piano cerca quasi a regime costante

Escono fuori due piani × molto diversi
↓
nella realtà ci saranno tantissimi EI con tantissimi componenti → i picchi andranno a smorzarsi.
↓
È un problema solo se lavoro con pochi EI e pochi componenti.

I dati ottenuti dal CRP sono quelli del piano vero.

$\gamma$

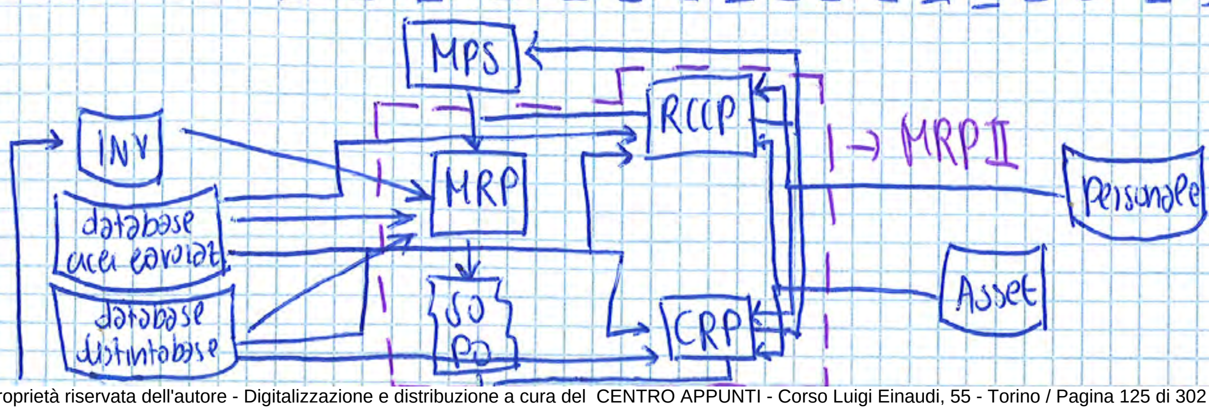


→ se la barra viene superata si può decidere di fare straordinario → quando la capacità è superata di poco.
se la capacità è superata di tanto allora il piano non sarà sostenibile e andrà rifatto.

⇓

schedulazione → dato un insieme di ordini decidere chi fa cosa e quando.

→ a capacità infinita (gestita dentro l'MRP)
→ a capacità finita (gestita dentro schedulatori specializzati)

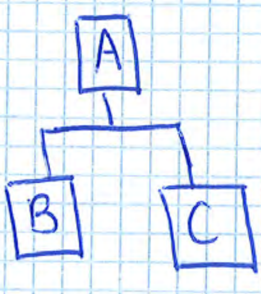



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 125 di 302

## ESERCIZI: 

10/12/13

(1) MRP componente B $\qquad h\% = 38\%$
usando POQ




| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MPS A | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| MPS B | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |

| Prodotto | A | B |
|---|---|---|
| Costo setup (€) | 180 | 400 |
| LT (sett) | 1 | 1 |
| domanda media (p/sett) | 80 | 110 |
| valore (€) | 180 | 100 |
| giacenza action bucket | 200 | 200 |
| Arrivi previsti da ordini emessi | \ | \ |
| h (€/p·sett) | 1,32 | 0,73 |

→ si basiamo per domande medie per avere maggiore stabilita'

1° calcolare POQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \qquad POQ = {EOQ}/{D} = \sqrt{\frac{2A}{h \cdot D}}$$

→ €/p · unita' di tempo

$$POQ_A = \sqrt{\frac{2 \cdot 180}{80 \cdot 1{,}32}} = 1{,}84 \text{ sett} \sim 2 \text{ sett.}$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 127 di 302

(2)

valore = 250€

usare Part-Period Balancing

h% = 22% → h = 1,06 € ~ 1€

costo setup = 80€

LT = 1 sett

action bucket = 20 pezzi

SR = 0

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MPS | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 |

| Ordinativo | Quantità | settimana |
|---|---|---|
| 10020 | 10 | 1 |
| | 10 | 4 |
| | 10 | 6 |
| 10023 | 12 | 5 |
| 10024 | 3 | 2 |
| | 3 | 3 |
| | 3 | 4 |
| | 3 | 5 |
| 10033 | 3 | 7 |
| | 3 | 9 |
| 10100 | 5 | 2 |
| | 5 | 4 |
| | 5 | 7 |

| t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POH | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MPS | | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 |
| FO | | 10 | 8 | 3 | 18 | 16 | 10 | 8 | 2 | 3 | 4 |
| ATP | | 20 | 22 | 24 | 11 | 6 | 6 | 3 | 6 | 13 | 19 |

- se mi chiedono 5 pezzi posso darli solo dopo la settimana 7, oppure potrei darne 3 subito e 2 dalla settimana 8.
- se il cliente vuole i 5 pezzi entro il periodo 4 ed è un cliente molto importante, posso prenderli da un altro ordine che è meno importante. → chiamo il cliente. → si sposta la roba da un cliente ad un altro a seconda delle necessità.
- se non riesco a stare dietro alla domanda → piano di produzione mi sta stretto → si sale di livello e il piano di produzione viene un po' gonfiato.
- Questi ragionamenti di "mp" sono usati anche per i servizi. (aerei, alberghi, ecc..)

---

## JUST-IN-TIME

→ nasce nel mondo delle auto

1° approccio: Toyota ⇒ fanno loro le loro auto e i loro processi. invece di avere fabbriche con macchine fatte da altri usano macchinari fatti da loro ⇒ gli operai capiscono il processo.
Dopo un po' diventa il fabbricante di auto non più grande per volumi, ma con i maggiori profitti. successivamente si espandono negli USA.
Si scopre che il modo di produrre è totalmente diverso e gli permette di avere maggiore efficienza, più flessibilità, ecc...

① lean production o manifacturing ⇒ JIT è una parte

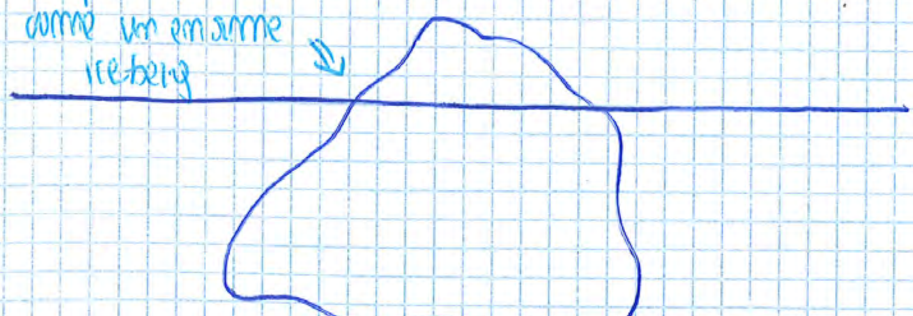
| Tecniche | Conseguenze |
|---|---|
| - celle e non reparti (group technology) | - Minori mg |
| - TPM (totale preventive maintenance) | - Maggiore puntualità |

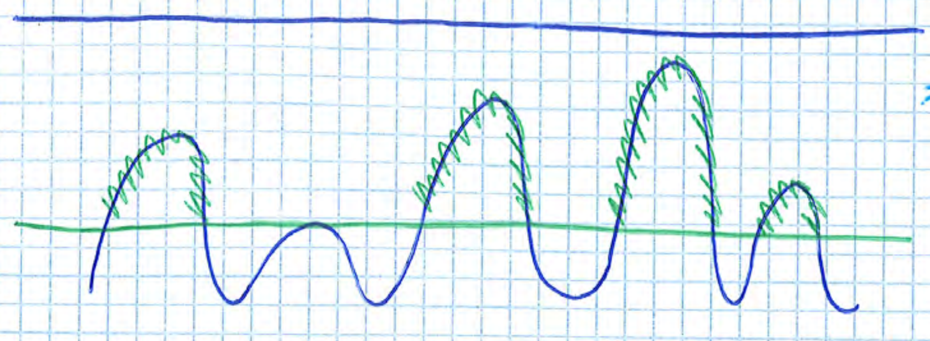
Just-in-time => produrre la quantità giusta (richiesta / corretta) al tempo giusto della qualità giusta, ma senza la copertura data dal mg dato dalle scorte.

↳ il mg non va bene perchè costa!
=> costa molto più di quanto si pensi.
ma anche perchè è uno schermo alle inefficienze.

Bisogna gestire in modo da andare all'estremo e quando c'è un problema lo si risolve subito e si fa in modo che quel guasto non si ripeta più.

la produzione è come un enorme iceberg ⇓





=> mg copre tutte le inefficienze (valli e picchi)

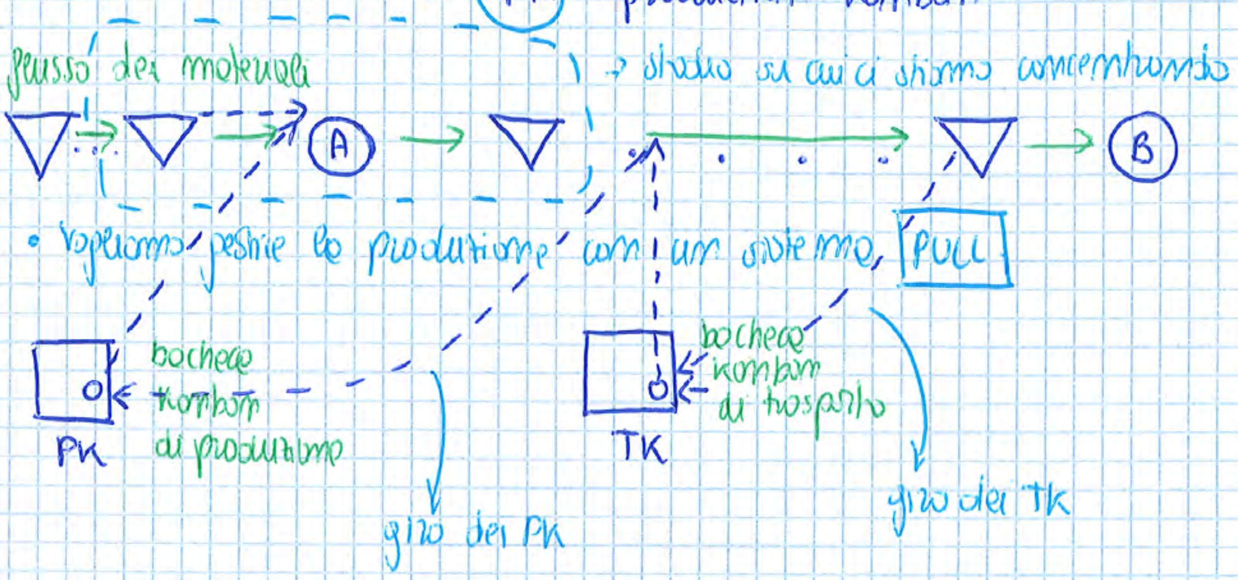
=> la cultura giapponese invece dice: mostra

# Kanban

12/12/13

è un pezzo del JIT.

- a due schede → TK = transport kanban
  → PK = production kanban



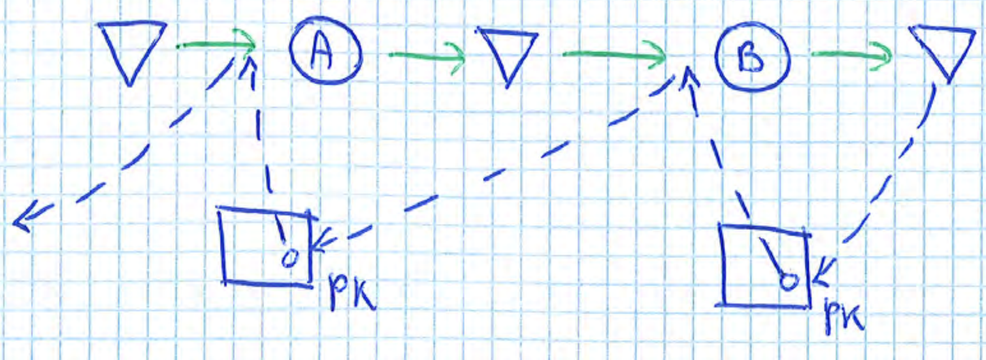

• vogliamo gestire la produzione con un sistema PULL

Regola 1) mai un pezzo senza kanban
Regola 2) prendi il pezzo dal mp di ingresso solo in presenza di un PK
Regola 3) prendi il pezzo dal mp di uscita solo in presenza di un TK

Tira la produzione dalla domanda ⇒ PULL
- se non ho il cartellino che mi autorizza non posso fare nulla.
- WIP è deciso da noi → ho tanti pezzi quanti sono i cartellini che io ho stampato.

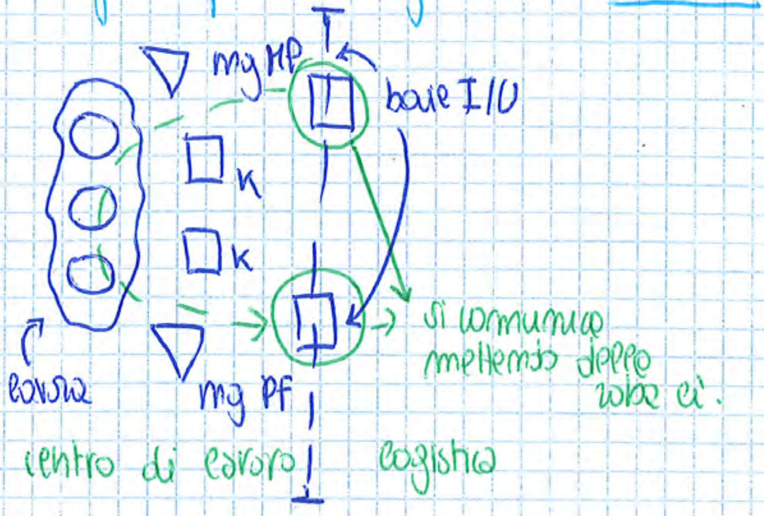
WIP = n° di PK e TK ⇒ stretto controllo.

> se l'uscita di A è vicinissimo all'ingresso di B si possono far collassare i mp di uscita e di ingresso ottenendo il kanban a una scheda → PK



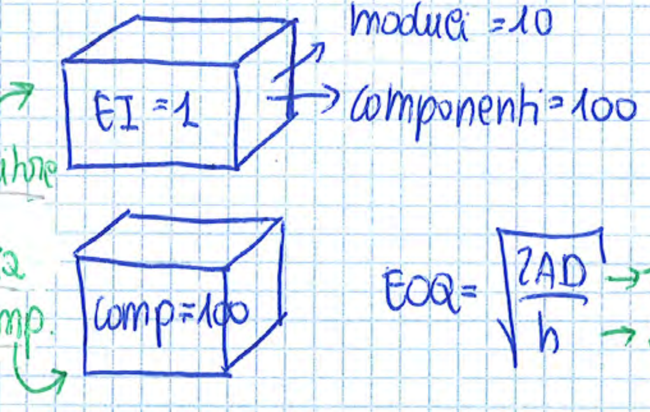

Si può fare perché i mp di uscita e di ingresso sono praticamente la stessa cosa.

la logistica può essere gestita a chiamata o con il milk run.




Supermarket → zone della fabbrica dove ci sono le scorte a scaffale.

L'ideale sarebbe avere la dimensione del lotto di trasporto e di produzione uguale. Per dimensionare i lotti si definiscono contenitori standard.




stesso contenitore usato per contenere sia EI che comp.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD \rightarrow \downarrow}{h \rightarrow \uparrow}} \Rightarrow EOQ \downarrow$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD \rightarrow \uparrow}{h \rightarrow \downarrow}} \Rightarrow EOQ \uparrow$$

⇓

vantaggi
- → semplificazione del sistema logistico
- → meno spese per le scatole
- → possiamo impilare le scatole e fare tutti i più → alta standardizzazione della logistica
- → definizione automatica dei lotti ideali.

Quanti kanban?

$\boxed{WIP = LT \cdot D}$ (Little)

↳ $n_K \cdot C$ → dimensione del contenitore

↳ numero kanban

$\Rightarrow \boxed{n_K \cdot C = LT \cdot D\,(1+\alpha)}$

$\alpha$: margine che mi voglio prendere

↳ kanban in eccesso ⇒ quanto sono inefficiente

# VSM → Value stream Mapping

Analisi processi → Flow chart, ma i flow chart nascono per rappresentare procedure informatiche.

tutto ciò che aggiunge valore è qualcosa di buono, ma ha sempre il suo opposto nel concetto di spreco.

si usa in ambito industriale e dei servizi hospitalieri.

VSM è utile perché può essere compreso da tutti, ma va a fondo nel processo.

Valore → quello che il cliente sarebbe disposto a pagare

Sprechi → attesa, mg, movimento, trasporto, cose fatte fin troppo bene (elimino ciò che funziona), difetti, sovrapproduzione.

> esercizi VSM → 6 fasi:

- preparazione
  - ↳ identifico chi sono i produttori e chi i clienti
  - ↳ definisco la famiglia del prodotto da analizzare
  - ↳ definizione del team
- come è
- come dovrebbe essere
- creazione di un piano di implementazione
- esecuzione

tempo tot - fermate

turni

$$\boxed{\text{Takt time} = \frac{\text{Effective working time / shift}}{\text{Demand / shift}}}$$

passo con cui devo far uscire i pezzi per stare dietro alla domanda

Devo creare un processo il più possibile fluido in cui faccio uscire un pezzo ogni tot minuti

Il caso dei servizi:

Il cliente e' sia cliente che e anche fornitore
- produzione e consumo non sono simultanei.

VSM come "viaggio della persona" ("agent journey" se considero altri attori nel processo).

Bisogna distinguere tra:
- Front-office process flow
- Back-office "
- Ancillary " (flussi ausiliari) → non spesimentati dal cliente che servono ad abilitare le altre attività.

Attività a valore aggiunto → quelle per cui una persona pagherebbe e che fanno reagire il cliente in modo positivo.

Attività come controlli tra clienti e compagnie

Attività senza valore aggiunto (NVA) → attese → ma e' anche mancanza di contatto.

Attività nel viaggio del cliente possono essere analizzate tramite registrazioni:
- Emozioni positive o negative
- distanza percorsa.

Possono anche essere analizzate tramite elementi:
:
:

o caso 1)
caso 2)

VARIABILI:

$I_{it}$ $\quad x_{ijt}^{(1)}$ $\quad x_{ijt}^{(2)}$

$\delta_{jt}^{(2)} \to 1$ se ~~capacità~~ acquisto da $j$ in $t$
$\to 0$ altrimenti

$\delta_{jt}^{(1)} \to 1, \to 0$ $\qquad \gamma_{ijt} \to 1, \to 0$

PARAMETRI:

$w_i$ = peso prodotto $i$
$v_i$ = volume prodotto $i$
$c_{ij}$ = costo d'acquisto di $i$ da $j$

$A_j^{(1)}$ $\quad A_j^{(2)}$

$a_{ij}$ $\quad I_{i0}$ $\quad H_i$ $\quad h_i$ $\quad C_w$ $\quad C_v$ $\quad d_{it}$

MODELLO:

$$\min \sum_i \sum_t h_i I_{it} + \sum_i \sum_{j \in I_i} \sum_t c_{ij} x_{ijt} + \sum_j \sum_t A_j^{(1)} \delta_{it}^{(1)} + \sum_j \sum_t A_j^{(2)} \delta_{it}^{(2)} +$$

$$+ \sum_i \sum_{j \in I_i} \sum_t a_{ij} \gamma_{ijt}$$

s.t.

$$I_{it} = I_{i,t-1} + \sum_{j \in I_i} x_{ijt} - d_{it} \qquad \forall i,t$$

si potrebbe pensare di spostare la capacità → è molto difficile.

es:

in media 1 chiamata ogni 5 min

$t_a$ = 5 min → tempo di interarrivo   $TH = 1/t_a$   quanto faccio

$t_e$ = 4 min → tempo di processo   $cap = 1/t_e$   quanto posso fare

↳ questi valori sembrano dire che non aspetterò mai, ma in realtà non è così.

u = 80%

La capacità c'è, ma vi è un problema di variabilità!
Questi valori sono in media, non sono valori esatti

Dove si genera la variabilità? Per esempio nei tempi di interarrivo o nei tempi di processo, potrebbe esserci variabilità nella disponibilità delle risorse (una macchina che si rompe)

Misura di variabilità → dev. standard

$$\boxed{CV = \frac{st.\ dev.}{media}}$$

↳ coeff. di variazione

se $CV > 1{,}4$ → variazione alta

se $CV < 0{,}75$ → variazione bassa

Il cv dell'esponenziale è pari a 1 (st. dev = media).

---

Cause di variabilità   12/11/13

- t. arrivo
- t. processo
- disp. risorse (guasti, setup, fattore umano)
  - ↳ non sono sempre disponibili!
  - ↳ più soggetto a variabilità
- routing

fermi macchina → la macchina è resa non più disponibile

→ questi sono meno controllabili dei setup

↳ nei sistemi più complessi non abbiamo la linea di produzione, ma abbiamo macchine diverse che devono essere messe in sequenza per realizzare un dato prodotto
↳ ogni macchina sarà usata con una percentuale diversa.

l'esponenziale semplifica nella trattazione perchè ad ogni t tutto si azzera → ad ogni tempo ci si aspetta un numero pari alla media, non di più, non di meno. Il processo degli arrivi segue una distribuzione di Poisson se il processo degli interarrivi è un'esponenziale.

② tempi di processo:

si tratta sempre di una variabilità relativa alla media. Il tempo di processo è di per sè un intertempo, dura un tot di tempo, non è un intervallo tra due istanti.
se il processo è ben controllato e stazionario. In questo caso non è richiesta l'esponenzialità. → tra i tempi di processo, in genere, c'è una correlazione.
Per il tempo è richiesta la $\boxed{\text{stazionarietà}}$

③ disponibilità risorse:

Perchè i fermi macchine impattano sulla variabilità dei tempi di processo?
↳ aumenta la variabilità del processo
I tempi si allungano, il WIP cresce e anche la varianza è aumentata. l'aumento della dev standard è sempre più alto della media, quindi il CV aumenta sempre → processo più variabile di un processo senza guasto. Si tratta di processi preemptivi → causano la preemption (interruzione) della lavorazione. Un esempio è il black-out non è un guasto, ma interrompe la lavorazione. Non è detto che sia interrotta, ma può succedere. Un altro esempio è lo sciopero sviluppo. Sono cause sia interne che esterne alla fabbrica.
Il[1] guasto è un fermo-macchina che può interrompere la produzione e che non è controllabile.
I[2] setup sono processi non preemptivi → in un qualche modo riesco a controllarli. Posso stimare, in media, quanto ancora può lavorare un utensile, essendo comunque solo una stima sono io a scegliere quando sostituirlo. Anche se non ho la certezza sull'esatto momento in cui ci sarà il setup, posso controllarlo, gestirlo secondo le mie esigenze → non mi interrompe le lavorazioni a metà.
In questo ~~caso~~ caso aumentano sia tempo medio che dev standard, ma non sappiamo a priori cosa aumenterà di più → il CV potrebbe anche ridursi.
A volte l'uso dei batch viene fatto proprio per ridurre la variabilità →

→ se aumenta sia $c_a$ che $t_e$ non so cosa succede, dipende dai numeri in gioco: e quindi non posso dire se il setup aumenta o riduce la variabilità!

Ns è collegato al concetto di lotto (non è un lotto)

A priori non si può stabilire se la variabilità aumenta o si riduce.

> Devo calcolare il $t_e$ per ogni processo, poi, note la domanda, posso calcolare l'utilizzo:

$$\boxed{U = \frac{\text{tasso domanda}}{\text{tasso produzione}} = \frac{1/\overline{IA}}{1/t_e}} = \frac{1/a}{1/p}$$

$\boxed{\text{tasso di domanda} = \text{flow rate}}$ → sistema demand constrained

e studieremo solo sistemi in cui $\boxed{U<1}$ → se mancano queste assunzioni posso dichiarare il sistema instabile.

In presenza di variabilità, $a$ e $p$ non sono costanti, per questo $U=1$ non va bene.

Una volta calcolato l'utilizzo posso ad analizzare il sistema:

$$T = t_e + T_q$$

flow time

$T_q$ → tempo di attesa in coda

$$\boxed{T_q = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{U}{1-U}\right) \cdot t_e}$$

è legato al $t_e$, all'$U$ e alla variabilità

coeff di variazione del tempo di interarrivo

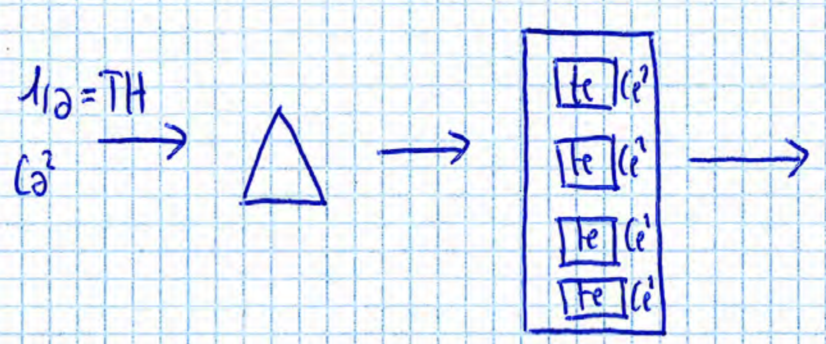
termine di variabilità

se sia i tempi di interarrivo che i tempi di processo sono exp la formula è esatta, altrimenti è approssimata, l'approssimazione non è buona se $c_a \neq 1$

Effetto dell'utilizzo è iperbolico, effetto della variabilità è quadratico.

Soluzioni: o diminuisci $t_e$ (migliorando il processo, diminuisco l'utilizzo), o agisci sulla variabilità → devo cercare di agire sulla variabilità naturale. → migliori la variabilità della macchina dipende anche dal modo in cui la facciamo funzionare.

$TH = 1/\overline{IA}$ se il sistema è demand constrained, è fisso, non posso




- ho tante risorse ed un unico flusso di clienti
- le risorse parallele cambiano la capacità del mio sistema
- ogni risorsa fa uscire $1/t_e$ pezzi per unità di tempo
- se non cambia quello che entra nel sistema ho più tempo libero.

$$\boxed{U_{II} = \frac{1/a}{1/t_e \cdot m} = \frac{U}{m}}$$

→ utilizzo di un'unica risorsa che assorbe tutto diviso il n° di risorse a disp.

si ha che:

$$\boxed{WIP = WIP_q + U_{II} \cdot m} \qquad \boxed{WIP_q = CT_q \cdot TH}$$

($U_{II} \cdot m = U$) → questo termine resta invariato

Per quanto riguarda il tempo di coda ($CT_q$), possiamo aspettarci che la variabilità non cambi, e anche il tempo di processo resti uguale, in quanto, a prescindere dal n° di risorse in parallelo, tutte sono soggette ad uno stesso te. Ciò che varia è l'utilizzo:

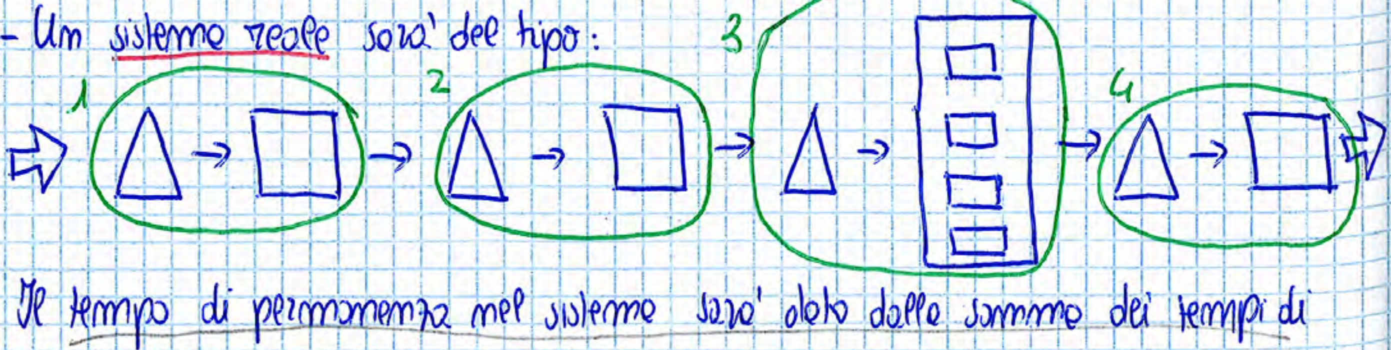
$$\boxed{CT_q = \left(\frac{Ca^2 + Ce^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{U_{II}^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{m(1-U_{II})}\right) \cdot te} \qquad \boxed{CT = te + CT_q}$$

→ resta invariato

> se $\frac{U}{m}$ è alto → l'approssimazione funziona bene

> se $\frac{U}{m}$ è basso o la risorsa quasi satura → l'approssimazione non è buona.

- Un sistema reale sarà del tipo:




Il tempo di permanenza nel sistema sarà dato dalla somma dei tempi di permanenza:

$$CT = CT_1 + CT_2 + CT_3 + CT_4 \Rightarrow CT = \sum_i CT_i$$

se m=1 :

$$f(Ca^2_{i-1} ; Ce^2_{i-1}) = 1 + (Ca^2_{i-1} - 1)(1 - U^2_{i-1}) + (Ce^2_{i-1} - 1) U^2_{i-1} =$$

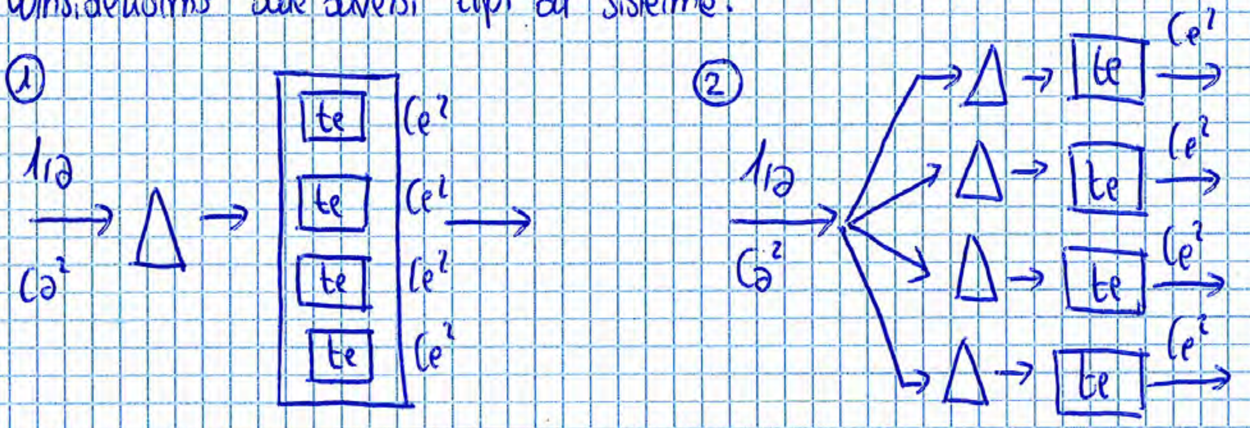
$$= \cancel{1} + Ca^2_{i-1} - \cancel{1} - Ca^2_{i-1} \cdot U^2_{i-1} + \cancel{U^2_{i-1}} + Ce^2_{i-1} \cdot U^2_{i-1} - \cancel{U^2_{i-1}} =$$

$$= \boxed{Ca^2_{i-1} (1 - U^2_{i-1}) + Ce^2_{i-1} \cdot U^2_{i-1}}$$

→ si vede chiaramente che si tratta di una combinazione lineare dei coeff di ingresso e dei coeff del servizio.

---

Consideriamo due diversi tipi di sistema:




Se ci sono molte risorse, è positivo in termini di CT e di CTq, negativo in termini di costi aggiuntivi. La presenza di questi costi in più, però, può essere utile per abbatterne altri.
Il costo fisso può essere distribuito sul maggior servizio che riesco ad offrire.
Il trade-off dell'aumento del numero di risorse ha a che fare con i costi coinvolti.
Il numero di risorse dovrebbe essere tale da permettermi di avere tempi d'attesa ragionevoli. Il problema, in ogni caso, è sempre che si fa riferimento a tempi medi d'attesa, dunque ciò significa che potrebbero esserci persone che aspettano molto meno del tempo medio stimato e persone che aspettano molto più → quel cliente che aspetta tanto è un costo.
Una situazione in cui tutti aspettano poco si verifica solo se nessuno aspetta mai, dunque le risorse sono infinite → LS = 100% → ovviamente una condizione simile non potrà mai verificarsi.
Quello che posso fare è imporre che il mio livello di servizio sia almeno pari ad un certo valore, ad esempio impongo che LS = 92%.
Il cliente contento è quello che aspetta poco!

in questo modo la variabilità non viene azzerata, però può essere controllata.
Un'altra alternativa, per quei casi in cui il sistema di appuntamenti non è possibile (es. bar, locali, ecc...) si cerca di spostare i clienti dagli orari in cui ce ne sono troppi a quelli dove ce ne sono troppo pochi facendo campagne promozionali, offerte, happy hour, ecc... limitate a determinate fasce orarie.
Il sistema di appuntamenti permette di ridurre la variabilità che vede il servente, non quella effettiva del sistema. → riesco a controllare la mia variabilità, non quella legata alla domanda.
In ogni caso bisogna fare attenzione: fissare un appuntamento ad una data molto lontana da oggi, se non sono l'unico ad offrire il servizio, rischio di farmi perdere il cliente. → Il mio controllo ha un effetto positivo in relazione alla concorrenza.

> ridurre $C_e^2$ → $C_e^2$ è dato da $C_0^2$ (variabilità naturale) + caratterizzazione dei guasti e dei setups.
se riduco $C_0^2$ → o effettuo delle modifiche sul processo (in termini di tecnologia) oppure cerco di uniformarlo il più possibile (cerco di aumentarne l'efficienza).

guasti → non sono rimediabili, ma sono sostituibili → faccio manutenzione → trasformo il guasto in setup.

setup → li posso controllare perché decido io quando arrestare il sistema. Tante interruzioni brevi hanno un effetto inferiore sulla variabilità.

---

Finora abbiamo fissato il TH e abbiamo giocato con il CT
↳ $\boxed{\text{sistema aperto}}$ → ciò che entra è uguale a ciò che esce.

$\begin{cases} TH \text{ fisso} \\ \text{buffer } \infty \\ U<1 \end{cases}$

se il sistema non fosse aperto, ma con $\boxed{\text{ingressi controllati}}$ → $\begin{cases} TH \text{ non più fisso} \\ \text{buffer limitato} \end{cases}$

Il buffer è un accumulo, una riserva di qualcosa. Facendo riferimento alla legge di Little possiamo immaginare un buffer legato ad ogni termine:

29/11/13

**Buffer nullo** → più facile da trattare del buffer limitato.

es:

$a = 3h$ → tempo di interarrivo

$te(p) = 2h$ → tempo di processo

supponiamo che tutte le distribuzioni siano (exp.)

$m = 3$
↳ risorse disponibili

1) Percentuale di tempo in cui il nostro sistema manda via i clienti?
↳ sistema saturo

2) In media quanti clienti sono serviti?

↳ TH = tasso di domanda nel caso di buffer illimitato, nel caso di buffer nullo o limitato non è così.

$$\text{capacità} = \frac{1}{te} m = \frac{3}{2} = 1{,}5 \text{ paz}/h$$

↓ tasso di cura

$$U = \frac{\text{domanda}}{\text{capacità}} = \frac{1/a}{m/te} = \frac{2}{9} = 0{,}222$$

→ molto basso

↓ trattandosi di tutti valori medi comunque non ho la garanzia di avere sempre capacità disponibile.

Probabilità di avere tutti i servizi occupati → $P_m$

sarà la probabilità di essere in stato di direction.

↓

Erlang loss function
↳ colonne: numero di risorse (m)
↳ righe: tempo di processo sul tempo di interarrivo $\left(\boxed{r = P/a = m \cdot u}\right)$

$r = 0{,}22 \times 3 \simeq 0{,}67 \rightarrow m = 0{,}0255 = 2{,}55\%$ → Il 2,55% del tempo l'ospedale è in condizione di direction

da qui possiamo ricavare il numero di clienti serviti:

$$\text{flow rate} = TH = 1/a\,(1-P_m) + 0 \cdot \cancel{P_m} = \boxed{\frac{1}{a}(1-P_m)}$$

con il buffer nullo non c'è bisogno di fare tante approssimazioni → Non ci sono attese: $WIP_q = 0$ e $CT_q = 0$ → se c'è posto il cliente entra, altrimenti viene mandato via.

→ si fanno parecchie approssimazioni in questo caso.

Nel caso di buffer limitato abbiamo limitato il WIP e quindi il CT, aumentando $L_s$ e risparmiando WIP, ma avrò clienti in meno.

Quando il buffer è molto grande rispetto ai numeri in gioco è considerato illimitato.

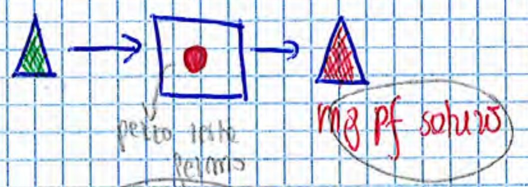
Quello che si vuole evitare è il cliente che se ne va dopo aver trovato posto, non il cliente che viene mandato via per mancanza di posto.

↳ Per aggirare questo problema, bisogna cercare di ridurre l'attesa il più possibile e bisogna cercare di non far percepire l'attesa a chi aspetta. (si cerca di distrarre i clienti) (oppure si comunica il tempo d'attesa stimato)

↳ (musica, specchi, televisione, giornali, ecc...)

**Blocking** → sistema bloccato → quando il servente ha finito di lavorare, ma non può lavorare nessun altro pezzo che potrebbe essere lavorato perché non sa dove mettere il pezzo finito.

↳ c'è l'input, c'è la risorsa, ma non essendoci più buffer libero non si può procedere.




**Starvation** → manca l'input perché, ad esempio, la macchina precedente è guasta.


Se ci fosse buffer infinito questi problemi non si verificherebbero. → sono due problemi deleteri perché hanno un impatto drammatico sul CdB. → le altre risorse recuperano, il CdB no, perché già procede al massimo della sua capacità.

Per limitare questi problemi dovrei aumentare la capacità del buffer, ma ciò ha un costo. → si cerca di proteggere il CdB → i buffer prima e dopo sono più grandi rispetto agli altri.

- Sistemi a WIP controllato:

Non limito il WIP, lo blocco: se ci devono essere n pezzi niente può uscire e niente può entrare se ce ne sono esattamente n.

**PUSH** → eseguo le operazioni perché ho un piano da seguire. Produzione è trasformiamo tutto in minuti:

$1{,}5\,h = 90\,min$

$10\,ord/g = 10/(16\cdot 60)\,ord/min$

1) $b = \bar{b}_q + f(\sigma_b)$

valore medio

dove $b_q$ è una variabile casuale che rappresenta il riempimento della coda

funzione della variabilità di b.

dipende dalla distribuzione di b.

il valore di b non può essere stimato, ma a me basta sapere che è pari a un dato valore + una funzione della variabilità.

$\bar{b}_q = WIP_q$ nel caso in cui non ci fosse un limite.

$WIP_q = CT_q \cdot TH = \frac{\overset{ca^2}{1} + \overset{ce^2}{1}}{2} \cdot \frac{\overset{u_1}{10/16}}{1-10/16} \cdot \overset{te}{60} \cdot \frac{10}{16\cdot 60}$

riferito alla prima attività

$u_1 = \frac{10/16\cdot 60}{1/60} = 10/16$

successivamente calcolo:

$ca_2^2 = \ldots$ , oppure come prima cosa posso calcolare gli utilizzi:

$u_2 = \frac{1/a}{1/te}$ $\quad u_3 = \frac{1/a}{1/te}$

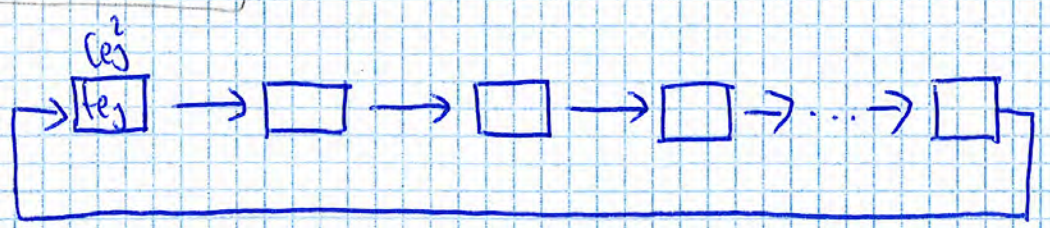
successivamente calcolo ce e te e poi posso passare al punto 2.

---

17/12/13

## Sistemi conwip:

WIP = W




→ ciò che esce deve rientrare nel sistema.

generalizzazione kanban. N° di kanban limita il buffer tra una macchina e l'altra → ciò genera fenomeni di blocking e starvation.
Nei sistemi conwip il buffer è infinito

$$U_{j,w-1} = te_j \cdot TH_{w-1}$$

dunque si ha:

$$CT_{j,w} = te_j^2\, TH_{w-1} \left(\frac{ce_j^2+1}{2}\right) + \left(WIP_{j,w-1} - te_j\, TH_{w-1}\right) te_j + te_j =$$

$$= te_j^2\, TH_{w-1} \left(\frac{ce_j^2+1}{2}\right) + WIP_{j,w-1}\, te_j - te_j^2\, TH_{w-1} + te_j =$$

$$= te_j^2\, TH_{w-1} \left( ce_j^2/2 + 1/2 - 1\right) + te_j \left(WIP_{j,w-1} + 1\right) =$$

$$= \boxed{te_j^2\, TH_{w-1} \left(\frac{ce_j^2 - 1}{2}\right) + te_j \left(WIP_{j,w-1} + 1\right)}$$

ho zero pezzi

se $w = 0 \Rightarrow CT_{j,0} = 0$

$TH_0 = 0 \quad , \quad WIP_{j,0} = 0$

se $w = 1 \Rightarrow CT_{j,1} = te_j \quad \forall j$

$$CT_1 = \sum_{j=1}^{N} CT_{j,1}$$

N = n° di macchine

WIP di sistema quanto nel sistema c'è una parte e' 1!

$$TH_1 = \frac{WIP_1}{CT_1} = \frac{1}{CT_1}$$

$TH_{j,1} = TH_1 \quad \forall j \qquad WIP_{j,1} = TH_{j,1} \cdot CT_{j,1}$

se $w = 2 \Rightarrow$

$$CT_{j,2} = te_j^2\, TH_1 \left(\frac{ce_j^2 - 1}{2}\right) + \left(WIP_{j,1} + 1\right) te_j \quad \forall j$$

$$CT_2 = \sum_{j=1}^{N} CT_{j,2}$$

$TH_2 = \dfrac{2}{CT_2} \qquad TH_{j,2} = TH_2 \quad \forall j$

$WIP_{j,2} = TH_{j,2} \cdot CT_{j,2} = TH_2 \cdot CT_{j,2}$

$$\boxed{TH_{pull} = \frac{WIP}{WIP + N - 1} \cdot \frac{1}{te}}$$

(a)

$TH = r_a \rightarrow WIP_{push} = N \cdot \frac{U}{1-U} = N \cdot \left( \frac{te \cdot r_a}{1 - te \cdot r_a} \right)$

impongo TH uguale per entrambi i sistemi

$$WIP_{pull} = TH_{pull} \cdot (WIP + N - 1) \cdot te$$

$$\hookrightarrow WIP_{pull} = \frac{TH_{pull} (N-1) te}{1 - TH_{pull} \cdot te} = \left( \frac{te \cdot r_a}{1 - r_a \cdot te} (N-1) \right)$$

poiché $N-1 < N \quad \forall N \Rightarrow WIP_{pull} < WIP_{push} \Rightarrow$ ovvero serve necessario un WIP minore nel PULL per avere lo stesso TH.

(b)

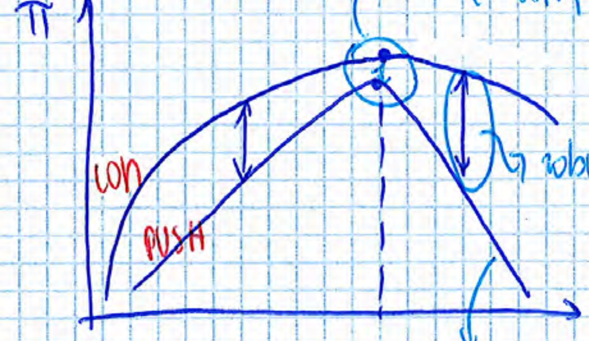
$WIP = W$ impongo il WIP uguale per entrambi i sistemi

$$TH_{pull} = \frac{W}{W + N - 1} \cdot \frac{1}{te}$$

$$TH_{push} = \frac{WIP_{push}}{Nte + WIP_{push}\, te} = \frac{W}{Nte + Wte} = \frac{W}{W+N} \cdot \frac{1}{te}$$

$TH_{pull} > TH_{push} \Rightarrow$ a parità di WIP i sistemi PULL hanno un TH maggiore

3) Profitto : $\boxed{\Pi = p \cdot TH - h \cdot WIP}$




l'ottimo per i sistemi PULL è sempre più alto rispetto a quello raggiunto dai sistemi PUSH.

→ robustezza ⇒ un sistema è tanto più robusto tanto meno mi allontano all'ottimo

discesa più ripida della salita! → se ti sposti verso dx ci perdi tanto.

3)

1) $\Pi_{PUSH} = 50 \cdot TH - 0{,}25 \left( N \cdot \frac{te \cdot TH}{1 - te \cdot TH} \right) = 50 \cdot TH - 0{,}25 \cdot 3 \cdot \frac{2 \cdot TH}{1 - 2 \cdot TH}$

pTH ottimo

$\underline{TH^*} \Rightarrow \frac{d \Pi_{PUSH}}{d TH} = 0 \Rightarrow \Pi^* = 50 \cdot TH^* - 0{,}25 \times 3 \times \frac{2 \cdot TH^*}{1 - 2 \times TH^*}$

$\Pi_{PULL} = 50 \cdot \left( \frac{WIP}{WIP + N - 1} \right) \cdot \frac{1}{te} - 0{,}25 \cdot WIP = 50 \left( \frac{WIP}{WIP + 3 - 1} \right) \frac{1}{2} - 0{,}25\ WIP$

$\underline{WIP^*} \Rightarrow \frac{d \Pi_{PULL}}{d WIP} = 0 \Rightarrow \Pi^* = 50 \left( \frac{WIP^*}{WIP^* + 2} \right) \frac{1}{2} - 0{,}25 \cdot WIP^*$

dovremmo trovare che $\Pi^*_{PULL} > \Pi^*_{PUSH}$

2)

$\Pi_{PULL} = 50 \left( \frac{WIP^*}{WIP^* + 2} \right) \frac{1}{2{,}2} - 0{,}25\ WIP^*$

$\Pi_{PUSH} = 50\ TH^* - 0{,}25 \times 3 \times \frac{2{,}2 \cdot TH^*}{1 - 2{,}2 \cdot TH^*}$

} i profitti avranno valori più piccoli

i valori ottenuti non saranno più ottimi perché nella teoria abbiamo considerato media e dev standard pari a 2 e non 2,2!

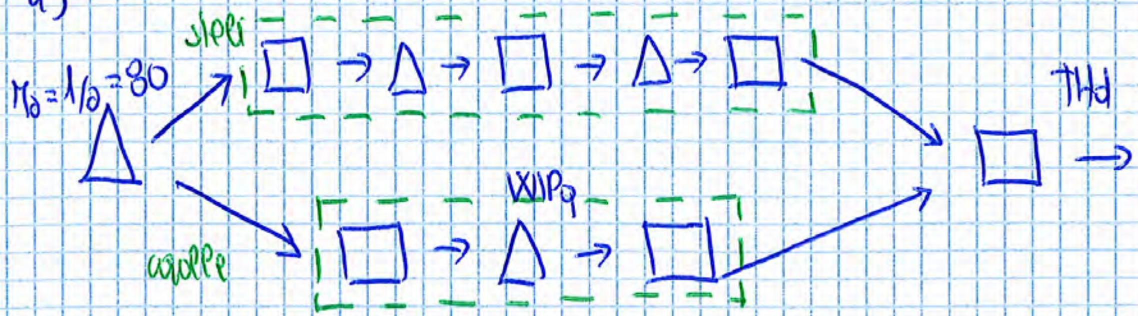
① $\frac{d \Pi}{d TH} = 50 - \left[ 0{,}25 \times 3 \times \frac{2}{1 - 2 \times TH^*} - 0{,}25 \times 3 \times \frac{2TH^*}{(1 - 2TH^*)^2} \right] = 0$

$50 - 0{,}25 \times 3 \times 2 \left[ \frac{1}{1 - 2TH^*} + \frac{2TH^*}{(1 - 2TH^*)^2} \right] = 0$

$50 - 0{,}25 \times 3 \times 2 \left[ \frac{1 - \cancel{2TH^*} + \cancel{2TH^*}}{(1 - 2TH^*)^2} \right] = 0$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 167 di 302

4)




buffer = 100000 capple = ∞ → in queste condizioni quale e' le CdB? ovvero il max che posso produrre.

upper bound = CdB

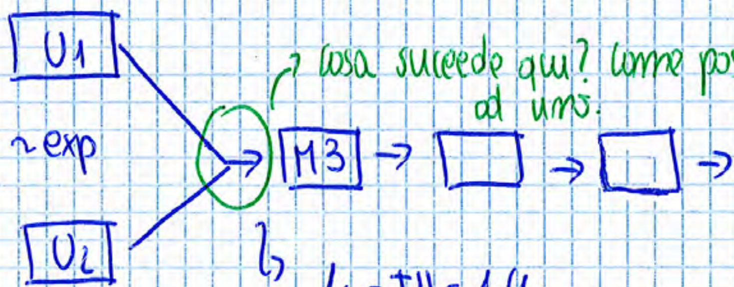
5)

$1/a = 1$ pz/h ~ exp

$C_a^2 = 1$

$1/a = 0.4$ pz/h ~ exp

$C_a^2 = 1$




→ cosa succede qui? come posso do due flussi ad uno.

↳ $1/a = TH = 1,4$

$C_a^2 = 1$

somme di due processi Markoviani

- se tutti gli (altezza) sono < 1 il sistema e' stabile
- somma di tutti i le quant'e' rispetto al CT medio?
  calcoli vanno fatti separatamente per le due famiglie da M3 in poi i CT per le due famiglie sono uguali, ma inizialmente no:

$CT_{M1}$ $CT_{M2}$ $CT_{M3}$ $CT_{M4}$ $CT_{M5}$

famiglia 1

$F_1 = CT_{M1} + CT_{M3} + CT_{M4} + CT_{M5}$

processamento totale

$P_{tot} = te_{M1} + te_{M3} + te_{M4} + te_{M5}$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 169 di 302

totale          * percentuale del totale

1300.000 −

− 130.000* − 45.000* − 130.000* − 66.000* − 78.000* − 273.000 = 579.000 $

togliamo le tasse ⟹ 289.500 $    le mance dobbiamo metterle noi
(60%)

nella peggiore delle ipotesi ci metto il doppio del tempo a ripagare l'apertura di un nuovo locale (se devo aumentare il costo del lavoro)

↳ è un buon business, vale la pena espandersi

- strategie di espansione? ⟹ quando, dove, come? → questa espansione potrebbe essere migliore di quella che c'è stata nella realtà

Come ripartiamo lo spazio tra bar e sale?

80 persone in sala (10 tavoli)
16 persone bar ($16/8 = 2$ → attesa max = $2 \times CT$)

tempo processo = 60 min     $CT = 60/10 = 6$ min

nella peggiore delle ipotesi coloro che sono al bar aspettano 12 min.

più la coda è lunga più aumenta la coda media: i primi aspettano poco, gli ultimi aspettano poco.

WIP ↑ ⟹ CT ↑ ⟹ attesa ↑

- Non può essere efficiente economico se il processo tecnologico (operations) non è buono.

# SCHEDULING:

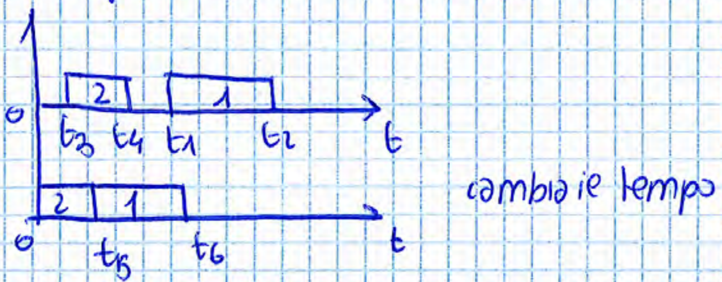
Avviene a valle del MRP → MRP dà la quantità e il tb dove devo acquistare.
- tb = settimane
- MRP non dice l'ordine con cui devo produrre pezzi diversi.

La schedulazione, all'interno della settimana prendendo gli ordini nella settimana, decide il sequenziamento e la temporizzazione. Inoltre mi dice se A, B e C li produco insieme oppure no.
L'MRP non vede la capacità, piano ammissibile per l'MRP potrebbe essere impossibile da implementare nel sistema.
Schedulazione prende l'output dell'MRP come input che tenendo conto delle capacità del sistema.
A seconda del sistema rispettare la capacità indica cose diverse.

07/01/14

Schedulare significa dare una sequenza temporizzata → quando gli oggetti devono subire un processo o un servizio.

Diagramma di Gant:



sequenza: 2, 1
sequenza temporizzata: 2 da $t_3$ a $t_4$ ($t_3 = 1$, $t_4 = 3$)
1 da $t_1$ a $t_2$ ($t_1 = 4$, $t_2 = 8$)

La scheduling è un ordinamento temporizzato, non solo ordinamento. Ciò implica ad una stessa sequenza corrispondono infiniti scheduling (posso piazzarli sulla linea del tempo, non sovrapposti, ma in infiniti modi perché il tempo è infinito).

e su orizzonti di tempo di almeno 2 mesi (8 settimane circa).
Partendo dai componenti + alti nelle distinte base si passa agli ultimi e leggendo dalle tabelle si ha l'istante in cui bisogna produrre si parla di lotti, stabiliti nelle lot sizing. Nei tempi di esecuzione (LT) si fa rientrare tutto ciò che potrebbe succedere.

> Schedulazione

Job = una unità di lavorazione, cioè 1 pezzo o un lotto

↳ una cosa che si mette in macchina che ha un tempo di processo.

tempo di processo

↳ somma tempi di processo → tempo di processo del lotto

L'MRP non basta perché non considera la capacità

Prendo gli ordini che rilascia l'MRP e a livello di reparto. Considerando le risorse, bisogna mettere in fila gli ordini. Bisogna decidere come produrli: se produrre i lotti tutti insieme o no, ecc..

Decidere come creare i job e come sequenziarli potrebbero non essere ammissibile. MRP include nei LT il setup.

La schedulazione prende la finestra temporale e gli ordini dell'MRP e cerca di sequenziare nelle finestre temporali definite dall'MRP, cercando di non debordare.

Lavoro a capacità infinita ma non vedremo mai il vincolo di capacità perché sono impliciti nei concetti di job (se la macchina lavora 1 pezzo alla volta non posso fare assortimenti)

Se il tempo tempi di completamento > data di consegna vuol dire che il problema è inammissibile, ciò significa che non c'è capacità sufficiente per rientrare nei tempi dell'MRP.

Il risultato dell'MRP non è fisico.

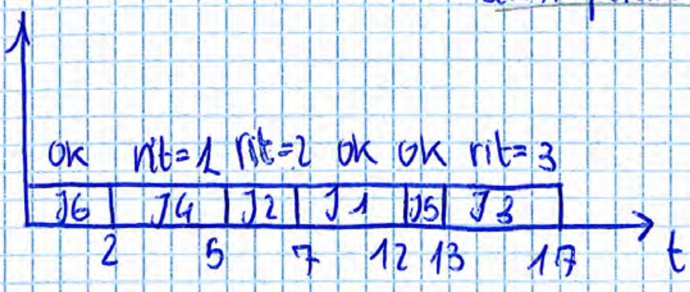
Noi prenderemo la data di consegna come data. Se bisogna controllare bisogna stimare quando si completa un job e si sceglie una data > (considerando anche la variabilità).

I clienti ↘ spesso sono flessibili in fase di contrattazione, ma una volta scelta la data bisogna rispettarla.

Si trova un piano di breve periodo ammissibile.

J6 J4 J2 J1 J5 J3 → più urgenti → con di minore

scelti perché entrambi hanno 14.




→ considero tempi di processo per ciascun job

ritardo max = 3

ritardo medio = $\frac{1+2+3}{6} = 1$ → n° job

n° job in ritardo = 3

Trovare una sequenza che abbia una soluzione migliore oggettivamente (su tutti e 3 i parametri o fissati gli altri uno migliore)?

Questa sequenza è ammissibile dal punto di vista dei tempi di rilascio?

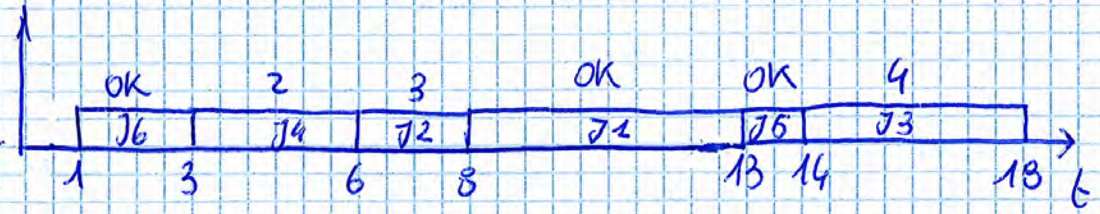
J6 non può partire in 0

J1 è rilasciato in 6 e non in 5

gli altri lo rispettano.

Si può agire in due modi:

- si ignora $r_i$ e poi si sistema la sequenza → prima i più urgenti e poi sistemo in accordo con $r_i$.




meglio uno in tempo che due in ritardo!

(se cambio 5 e 3)

→ spostare avanti di 1 per il job 6, rimane: n° job in ritardo = 3

ritardo max = 4 (aumenta)

ritardo medio = $\frac{2+3+4}{6} = 1{,}5$ (aumenta) ↑

- si fa passare il più urgente solo tra i job rilasciati in quell'istante. A zero scelgo tra 4 e 6 e scelgo 4 perché ha data di consegna tra 4 (4 e 6 sono i job disponibili subito → $r_i = 0$)

prendiamo la sequenza J6 J4 J2 J1 J5 J3 ignorando i tempi di rilascio (per ora) $r_i$

↳ supponiamo che vengano processate seguendo la stessa sequenza del primo esempio.

6 job × 2 u di tempo    5 job fino a 5, quando J4 se ne va ...

$$\frac{6\times \overset{p_i}{2}+5\times \overset{p_i}{3}+4\times \overset{p_i}{2}+3\times \overset{p_i}{5}+2\times \overset{p_i}{1}+1\times \overset{p_i}{4}}{17} = 3,14$$

post period balancing ⇒ $\boxed{\frac{\text{WIP} \times \text{n° di periodi in cui è rimasto nel sistema}}{\text{periodo}}}$

WIP max = 6 job

$$\boxed{\text{WIP medio} = \frac{\text{WIP} \times \text{n° di periodi in cui sono nel sistema}}{\text{periodo}}}$$

In media nel sistema ci sono 3,4 job, ma abbiamo visto che quella soluzione non è ammissibile.

← prendo prima i job con $p_i$ più bassi.

Se mettessi J5 J2 J6 J4 J3 J1

$$\text{WIP medio} = \frac{6\times 1+5\times 2+4\times 2+3\times 3+2\times 4+1\times 5}{17} \simeq 2,71 \downarrow$$

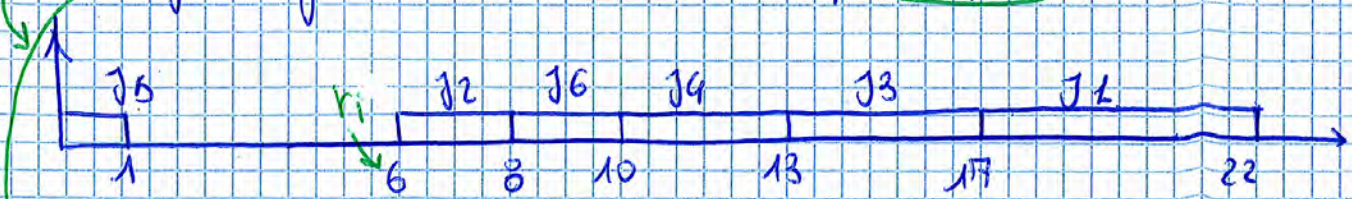
WIP medio si riduce di 0,71

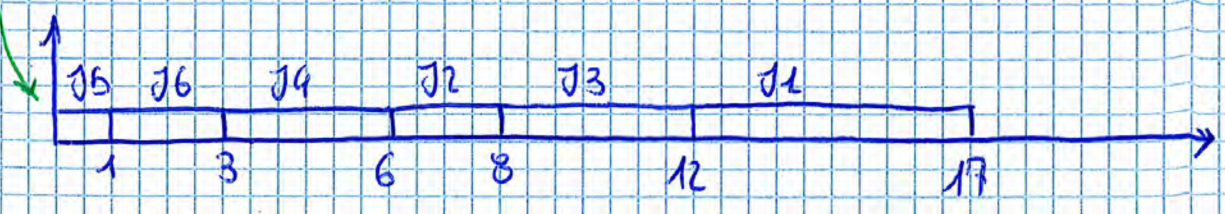
Si mettono prima i job con i $p_i$ più piccoli!

Per sequenziare si usa il tempo di processo e non la data di consegna.

Se si introduce $r_i$ si hanno gli stessi problemi di prima.

- si spostano le sequenze nel tempo
- si scelgono job con $r_i$ accettabile e $p_i$ più piccoli.



> Un molte linee o trasferte ogni x minuti si sposta la linea e se non si ha finito bisogna rimuovere.
Nel un problema di sequenziamento, bisogna avere il tempo di recuperare, bisogna sequenziare considerando i tempi, bisogna bilanciare le linee e trasferte.

> Produttori di macchine utensili → limitato n° di tipologie in cui si può investire ogni prodotto e' ≠ dagli altri.
schedulare significa stabilire cosa bisogna fare prima e cosa dopo.

Problemi ≠ tutti completamente difficili
Finora come' il tempo e' l'unica risorsa scarsa nelle aziende non sono reali, ci sono molti altri problemi.

Il problema della lateness è che non è ristretta in segno: può assumere valori positivi e negativi.

tardiness job i ⇒ $\boxed{T_i = \max\{0; L_i\}}$

In questo modo non si avranno valori negativi, se $d_i > C_i$ il ritardo sarà pari a zero.

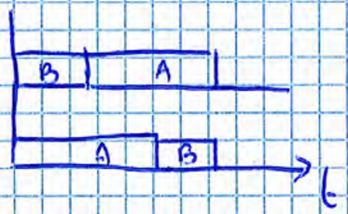
→ tardiness media → tardiness massima

$$\min \sum_i T_i / N \qquad \min T_{max}, \text{ dove } T_{max} = \max_i T_i$$

Prima di risolvere il problema di schedulazione non sappiamo quanto vale il tempo di completamento: $\boxed{C_i = \text{variabile}}$

o es:

$p_A = 6$ $p_B = 2$




$C_A = 6$ $C_A = 7$

$C_B = 7$ $C_B = 2$

se $C_i$ = var. ⇒ $L_i$ = varib. e $T_i$ = varib e $T_{max}$ = varib.

Minimizzare $L_{max}$ ha senso perché $L_{max}$ è equivalente a $T_{max}$

$$T_{max} = \max_i T_i = \max\{\max\{0; L_i\}\} =$$

$$= \max\{\max(0; L_1), \max(0; L_2), \dots, \max(0; L_N)\} =$$

$$= \max\{0, L_1, L_2, \dots, L_N\} = \max\{0; L_{max}\}$$

dunque se $L_{max} > 0 \Rightarrow L_{max} = T_{max}$

se $L_{max} < 0 \Rightarrow T_{max} = 0$

$L_{max}$ e $T_{max}$ sono due fo equivalenti.

Facendo riferimento ai valori medi:

se la media delle tardiness è maggiore di zero sarà che qualche job

$r_i$ = dato , $C_i$ = variabile , $F_i$ = variabile.

E' più opportuno minimizzare $F_{max}$ se le release sono molto diverse tra loro.

sono equivalenti: $\boxed{\sum_i C_i \approx \sum_i F_i} = \sum_i (C_i - r_i) = \sum_i C_i - \underbrace{\sum_i r_i}_{\to\ cost}$

differiscono a meno di una costante!

$\sum_i L_i$ e $\sum_i T_i$ sono equivalenti solo quando tutti i job sono in ritardo.

$$\boxed{\sum_i L_i \approx \sum_i T_i}$$

Invece l'equivalenza $\boxed{\sum_i L_i \approx \sum_i C_i}$ è sempre valida.

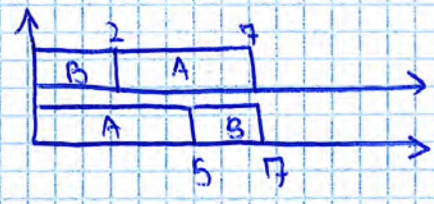
(2) Vorrei minimizzare $\min \frac{\sum_t WIP_t \cdot t}{C_{max}}$ dove t non è definito.

Non è facile minimizzarlo!

se voglio pochi job nel sistema devono uscire velocemente, dunque non li devo produrre con molto anticipo:

earliness $\Rightarrow$ $\boxed{E_i = \max\{0; -L_i\}}$

possiamo minimizzare gli anticipi: $\min \sum_i E_i$




$C_{max}=7$ $\quad \sum_i C_i = 9 \quad \frac{2\times2+5\times1}{7} = \frac{9}{7}$

$C_{max}=7$ $\quad \sum_i C_i = 12 \quad \frac{5\times2+2\times1}{7} = \frac{12}{7}$

Oppure si possono minimizzare i flow time → collegato con entrata.

---

F.O. regolare se è una funzione crescente del tempo di completamento

→ se una funzione è regolare non ho incentivo ad inutilizzare la macchina se è libera e c'è un job da lavorare. Sono sicuro che facendo partire la macchina avrò la migliore soluzione possibile → oppure la macchina è libera

4) tempi di processo indipendenti dalle sequenze.

5) non si può interrompere la lavorazione di un lotto → non è previsto la preemption.

6) le macchine sono sempre disponibili → non si guastano.

7) le macchine sono le uniche risorse → per fare il processo basta la macchina ed il pezzo.

8) le macchine sono processori singoli → una macchina fa un job alla volta.

9) non ci sono flussi rientranti e i job devono passare su tutte le macchine del layout.

10) buffer sono sempre infiniti

11) Il problema è deterministico.

Una qualunque di queste assunzioni violate va segnalata nel campo β.

$\bar{d_i}$ = dead line → particolare tipo di due date che non posso violare.
se non la rispetto l'ordine è perso perché il cliente non lo vuole più.

- Il campo γ è la funzione obiettivo → min è sottointeso, max no.
  o es: $\gamma = C_{max}$

- Il campo α contiene il layout:

F2 (flow shop a 2 macchine)

F (flow shop)

J (Job shop)

P (macchine parallele identiche)

R ( " scorrelate)

O (open shop)

o esempi:

F || $C_{max}$ ; $1 / prec / \sum_i C_i$ ; $JS / preempt, r_i, \bar{d_i} / \sum_i w_i C_i$

somma pesata dei tempi di completamento

dovrei trovare due sequenze di job una per ogni macchina.
si può dimostrare che se il flow shop è composto da un n° di macchine < 4 (2 o 3) sicuramente una delle soluzioni ottime sarà una soluzione a permutazione = devo cercare un solo ordinamento. È un problema combinatorio, difficile e ci possono essere tante combinazioni equivalenti. la soluzione con lo stesso ordinamento di job sulle stesse macchine è una soluzione a permutazione, che viene ricercata dall'algoritmo di Johnson.

passo 1) divido i dati in due insiemi

tutti i job il cui p sulla M1 è < del p sulla M2 ← $J_1 = \{ J_2, J_5 \}$ $\quad P_{M1} < P_{M2}$

$J_2 = \{ J_1, J_3, J_4 \}$ $\quad P_{M1} \geq P_{M2}$

tempo sulla M1 > del tempo sulla M2

- se ci sono job con $P_{M1} = P_{M2}$ possiamo metterlo dove vogliamo, basta che stiano tutti sulla stessa parte.

passo 2) ordino i job all'interno dei due insiemi con i p non decrescenti nel primo gruppo e decrescenti nel secondo.

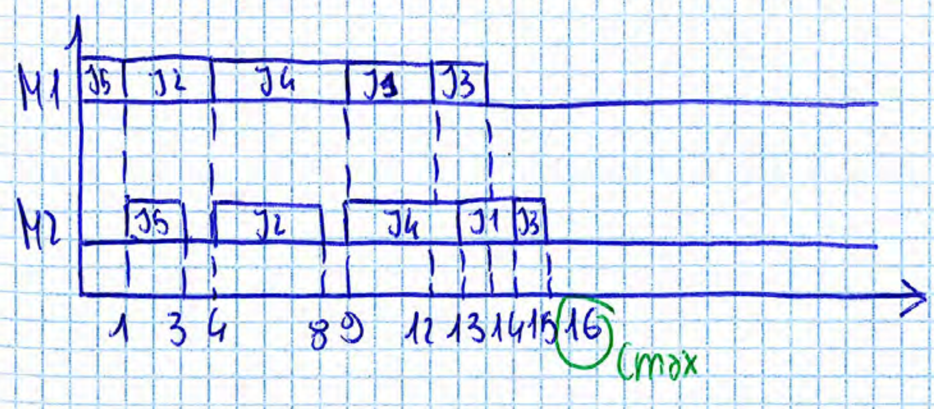
sui tempi della M1 $\qquad$ sui tempi della M2

$J_1 = \{ J_5, J_2 \}$ $\qquad$ $J_2 = \{ J_4, J_1, J_3 \}$

$P_1 < P_2$ $\qquad$ $P_1 > P_2$

unisco le due sequenze

passo 3) diagramma di gantt $\qquad$ J5 J2 J4 J1 J3



non ho segnato release time
↳ tutti job sono disponibili subito.

Nella prima sequenza ci saranno i job più veloci che la liberano prima, invece è il contrario nella macchina due per incrementare le WIP → riduco le attese → la macchina 2 avrà sempre roba da lavorare. ~~Inoltre voglio che~~

# METODI EURISTICI

## 1 Metodi iterativi

parte da una soluzione trovata a caso e poi cerca con iterazioni di migliorarla.

## 2 Metodi costruttivi one-shot

costruiscono in una volta sola la soluzione.

> Regole di dispatching → regole di priorità (banali, generali e generalizzabili)

la priorità viene definita e calcolata con i dati del problema: vengono fatti passare prima i job con priorità più alta.

- statiche: non dipende dal tempo in cui la calcolo (la funzione di priorità)
- dinamiche: la priorità varia nel tempo.

se ho una macchina singola si calcola la priorità dei job su quella macchina;
se ho un job shop calcolo la priorità di ogni job su ogni macchina;
se ho un flow shop o faccio come nel caso del job shop, o scelgo una macchina (o una a caso o il CdB) e su di essa trovo una sequenza che applicherò su tutte le altre macchine.

**SPT** = shortest processing time.

$1||\sum_i C_i$

↳ priorità è inversamente proporzionale al t. di processo
passano prima i job con t di processo più piccolo

$$\boxed{\pi_{C_M} = \frac{1}{p_{iM}}} \quad \text{CdB}$$

$$\boxed{\pi_i = \frac{1}{p_i}}$$

mi trova il minor tempo di completamento tot. su una macchina
Danno buoni risultati per WIP ed anticipo.

**LPT** = longest processing time

$$\boxed{\pi_i = p_i}$$

ha senso usarla quando ho macchine parallele identiche.

**SST** = shortest setup time

passo prima il job che mi richiede un setup piccolo da fare.

$$\boxed{\pi_i = \frac{1}{S_{ij}}}$$

$S_{ij}$ → setup rispetto a $j$ ⇒ dipende dalla sequenza

Queste sono tutte regole statiche → non cambiano mai, anche se cambia il punto in cui vengono calcolate.

**SLACK** = tempo residuo che ha un job prima di arrivare in ritardo.

↳ data di consegna meno il lavoro residuo che devo fare meno l'istante in cui mi trovo ⇒ $d_i - \tau k_i - t$

$\tau k_i$ → dipende dalla macchina su cui mi trovo ⇒ $\tau k_{iM} = \sum_{q=m}^{M} p_{iq}$

la priorità sarà per i job con slack piccolo:

$$\boxed{\pi_{iM} = \frac{1}{slack_{iM}}}$$

$d_i$ e $\tau k_i$ non cambiano ma $t$ sì, per questo è una regola dinamica.

S/RMNW slack per remaining work:

$$\pi_i = \frac{1}{S_{iM}\ \text{modificato}} = \frac{\tau k_m}{slack}$$

→ più lavoro devo fare più c'è urgenza per quel job.

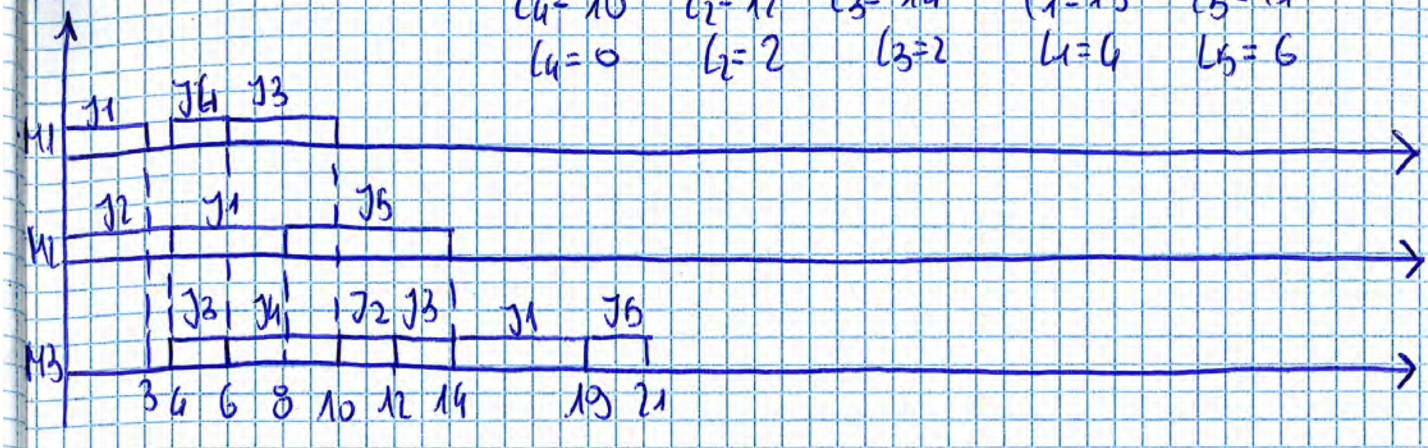
se lo slack è negativo (quindi siamo già in ritardo)?

se le penali sono commisurate al ritardo, in genere conviene far passare prima quello più in ritardo per pagare di meno.

se le penali sono fisse e dipendono solo dal fatto se sono o no in ritardo allora dovrebbe convenire far passare prima il job non in ritardo in modo da pagare solo una penale.

$C_4=10$ $\quad C_2=12$ $\quad C_3=14$ $\quad C_1=19$ $\quad C_5=21$

$L_4=0$ $\quad L_2=2$ $\quad L_3=2$ $\quad L_1=4$ $\quad L_5=6$




**t=8** $\quad J2 \to M3$, $J1 \to M3$, $J5 \to M2$

conflitto in M3. la M3 è occupata.

**t=10** $\quad J2 \to M3$, $J1 \to M3$, $J3 \to M3$. Priorità:

$S_{23}=10-2-10=-2 \qquad S_{13}=15-5-10=0 \qquad S_{33}=12-2-10=0$

Il 2 ormai è in ritardo, dobbiamo scegliere tra 1 e 3 se paghi solo il fatto di essere in ritardo. ma facciamo che il ritardo ~~...~~ sia commisurato al tempo → passa J2.

**t=12** $\quad J3 \to M3$, $J1 \to M3$

$S_{33}=-2 \qquad S_{13}=-2$

In un caso del genere la scelta è indifferente. scegliamo il job3 che almeno ci mette meno tempo.

**t=14** $\quad J1 \to M3$, $J5 \to M3$

$S_{13}=-4 \qquad S_{53}=16-2-14=-1$

passa J1 se voglio minimizzare il max, se voglio min la somma passa J5.

supponiamo di voler far passare J1 per minim. il max.

perché non ci sono job in anticipo

$C_{max}=21 \qquad \sum_i C_i=76 \qquad \sum_i U_i=4 \qquad \sum_i T_i=14=\sum_i L_i$

$\sum E_i=0 \qquad T_{max}=L_{max}=6$

le code sono destinate a crescere all'infinito nel flow lab.
Dal calcolo delle capacità e degli U si capisce che non ce la facciamo.
Il collo di bottiglia è il flow lab che ha $U > 1$.
Il secondo CdB è il Welding, ma ha capacità economica → in realtà non mi crea tanti problemi, posso lasciarlo per le operazioni finali.

Flow lab è complesso: guasti, perdite, operatori in pausa, setup, picchi e variazioni nello scheduling ed è lo studio condiviso dai magic. (condiviso da due dipartim.)
Il Flow lab è il CdB ed ha alta variabilità!
Il fatto che sia condiviso con i magic è un problema perché gli ordini hanno la precedenza e ciò crea casini.
Linee a scalo e due prodotti non mi permettono di calcolare la cap, che dipende dal mix: avrei bisogno di info di comunicazione tra il flow lab e ciò che sta prima molto precisi → Avrei bisogno di segnali pull.
Alto utilizzo suggerisce alto CT. Anche alta variabilità comporta alto $\frac{Ca^2+Ce^2}{2}$.

$$WIP = TH \times CT = 133\ u/day \times 3\ day = 400\ u$$ → quello che si vorrebbe
In realtà i dati sono molto più alti.

→ Cosa faremmo a questo punto? Dobbiamo intervenire sul flow lab, ma come?
Non possiamo cacciare i magic. Come rendiamo efficiente l'impianto con i magic? I magic funzionano come guasti → si interrompe tutto quando c'è un magic. O cosa potrei fare prima per migliorare il flow lab?

3) $t_0 = 4h/20kg$ $m_f = 20h$ $m_r = 2,5h$
$C_0 = 1$ $C_r = 1$

se aggiungiamo la fase F $\Rightarrow \frac{1}{a} = 120 kg/g$
si è già deciso che la fase F verrà aggiunta.

a) Primo caso: vedere se le due fasi già esistenti possono sostenere la domanda di 40 kg/g e poi di 120 kg/g.

la prima fase di sicuro ce la fa perché ho un utilizzo bassissimo.

flow unit = kg → calcolo tempo di processo per kg.
flow unit = 20kg → Ns = 5u
Il sistema non è stabile se voglio fare 120 kg/g, quindi non posso fare nulla → sistema capacity constrained

sistema è stabile all'inizio, ma il mercato triplicato no!
Ragiono su 40 kg/g oppure decido di lavorare con il max flow rate che mi garantisce la stabilità, tipo circa 60 kg/g. → bisogna usare multipli di 20 perché produco a lotti. → ridurre il lotto in questi non ha senso perché produrre ~~10~~ lotti da 10 kg o lotti da 20 kg ci mette lo stesso tempo.

Poi quando ~~[illegible]~~ l'attrezzatura adatta a soddisfare i 40 kg o 60 kg la 2 e la 3 sono indifferenti ~~, la variabilità e~~ in termini di capacità. Ma cambia lo schema dei guasti → guasti brevi e più frequenti sono migliori dei guasti maggiori ma meno frequenti.
Meglio la 3. la 2 mi propone variabilità maggiore all'ultima stazione. (a parità di $m_r$ avrei scelto quello con $m_f$ maggiore). la 1 la scarto perché ho $t_0$ più alto.

b) sarebbe il 60 kg/g. F ha lo stesso $t_e$ della prima, quindi si dà lo stesso TH.

c) WIP medio? per ogni fase e in totale.

4) Bisogna guardare la domanda!

Da 6 pale/h ⇒ flow rate è 6, non 6 ⇒ $\frac{B}{60}$

dunque farò:

$\frac{1}{12} = \frac{B}{120+3 \cdot B}$   $\frac{1}{12} = \frac{B}{240+5 \cdot B}$   $\frac{1}{12} = \frac{B}{10 \cdot B}$

---

| | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 | J7 | J8 | J9 | J10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{M1}$ | 2 | | | 5 | 2 | 6 | 4 | 2 | 4 | 3 |
| $P_{M2}$ | 3 | 4 | 1 | 4 | | | | 2 | 3 | 5 |
| ord | 1→2 | | | 1→2 | | | | 2→1 | 2→1 | 2→1 |

1)

$J_1 = \{J5, J6, J7\} \Rightarrow S_1 = \{J5, J6, J7\}$

$J_2 = \{J2, J3\} \Rightarrow S_2 = \{J2, J3\}$

$J_{12} = \{J1, J4\}$   $\boxed{M1} \rightarrow \boxed{M2}$

$J_1 = \{J1\}$   $J_2 = \{J4\} \Rightarrow S_{12} = \{J1, J4\}$

$J_{21} = \{J8, J9, J10\}$   $\boxed{M2} \rightarrow \boxed{M1}$

la prima macchina è la M2

$J_1 = \{J8, J9\}$   $J_2 = \{J10\} \Rightarrow S_{21} = \{J8, J9, J10\}$

2)

M1: J1 J4 J5 J6 J7 J8 J9 J10

M2: J8 J9 J10 J2 J3 J1 J4

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 201 di 302

a)

$Q = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$  $T = \frac{Q}{D}$ (T può essere un multiplo o del mese o delle 2 sett → devo arrotondare)

una volta arrotondato T ricalcolo Q!

b) devo trovare il costo totale

c) un PL, non si può più usare l'EOQ.
capacitated lot sizing.

②

5 centri di sviluppo e produzione indipendenti.
Ogni centro lavora un unico prodotto alla volta

$a = 7$ mesi  $p = 28$ mesi  $m = 5$
($\sigma = 7$ mesi)  ($\sigma = 56$ mesi)

1)

$$U = \frac{1/a}{m \cdot 1/p} = \frac{1/7}{5 \cdot 1/28} = 0{,}8$$

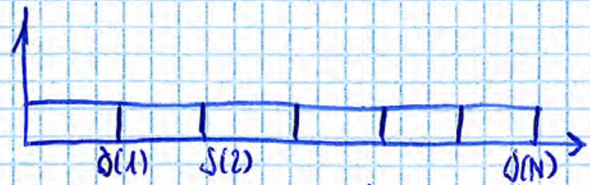
2) CT?  $CT = CT_q + te$  $te = 28$ mesi

$$CT_q = \left(\frac{Ca^2 + Ce^2}{2}\right)\left(\frac{U}{1-U}\right)te = \ldots$$ in realtà ci vuole la formula del // 

3) brevetti durano 20 anni
sviluppo pari al CT
residuo è pari a 20 − CT
deposito troppi brevetti rispetto a quanto ci metto a sviluppare il prodotto.

(4° appello)

③ $1||\sum_i C_i$ STP




Dati m job su una macchina singola il tempo di completamento max è dato dalla sommatoria di tutti i tempi di processo.

$$C_{max} = \sum_{i=1}^{N} p_i$$

se voglio sommare i tempi di completamento dei job.

$$\sum_{\delta(i)=1}^{N} C_{\delta(i)} = C_{\delta(1)} + C_{\delta(2)} + \dots + C_{\delta(N)} =$$

$$= p_{\delta(1)} + (p_{\delta(1)} + p_{\delta(2)}) + (p_{\delta(1)} + p_{\delta(2)} + p_{\delta(3)}) + \dots +$$

$$+ (p_{\delta(1)} + p_{\delta(2)} + \dots + p_{\delta(N)}) =$$

$$= N p_{\delta(1)} + (N-1) p_{\delta(2)} + \dots + p_{\delta(N)}$$

si avrà un ordinamento dal job più breve a quello con tempo di processo più lungo. somma pesata di tempi con tempi decrescenti.

② 1) $CT_q = \left(\dfrac{C_a^2 + C_e^2}{2}\right) \cdot \left(\dfrac{U}{1-U}\right) \cdot t_e$ → quanto deve aspettare prima di essere servito

$\to 1$

2) $T_{tot} = t_{transito} + CT_q + t_e + t_{transito}$ ← andata e ritorno!

1° caso = 173,35 min
2° caso = 80 min

→ se la fo in ~~embu~~ entrambi i casi, subentrerà una questione di costi.

3) Per ogni ora arrivano i clienti che andranno nel primo e quelli

5) $\frac{B}{20+1\cdot B} = 0{,}5$ (che e' la cap. del cdB)

↳ $cap_2 = \frac{1}{2} = 0{,}5$

(3) $t = 121+20\cdot 1{,}5 = 151$ min

(4) $t = 24{,}5 + \frac{19}{TH}$ (un pezzo pronto va subito alla macchina successiva)

TH = 0,5 (non abbiamo la domanda)

---

(es) 17/04/14

$d_A = 100$ lt/h $r = 300$ lt/h

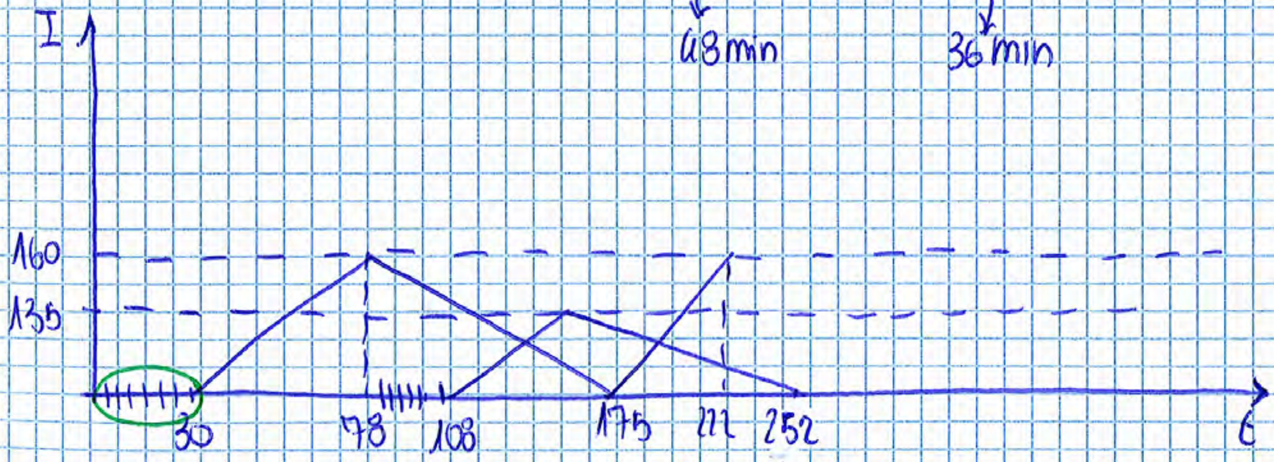
$d_C = 74$ lt/h $t_0 = 30$ min TH = 175 lt/h

B = 420 lt

240A → 48 min

180B → 36 min

setup + prod A + setup + prod B



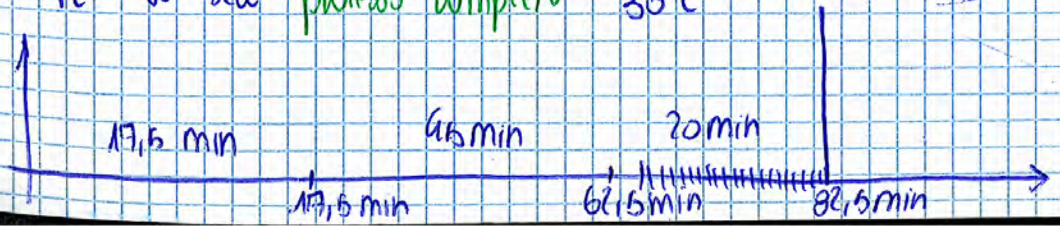

(17.2) ESERCIZI LIBRO

setup = 20 min

$P_b$ = 15 sec processo di base 70b

$P_c$ = 30 sec processo completo 30 c

$\frac{70 \text{ test}}{82{,}5 \text{ min}} = 985$



EOQ:

$D^* = 2\tilde{D}$

$C_{TOT}(D') = A\frac{D'}{Q} + \frac{h}{2}Q$

$C_{TOT}^*(D^*) = \sqrt{2AD^*h}$ ecc...

(8.5)

$\lambda_a = 30\ c/h$ $\quad$ stdev(a) = 2 min

$a = \frac{1}{30}$ $\quad h = \frac{60}{30}\ min = 2\ min$ $\quad t_e = 1{,}7\ min$, stdev = 3 min $\Rightarrow C_e = \frac{3}{1{,}7}$

b) 10% clienti entra, guarda e se ne va.
tempo medio d'attesa prima di andarsene? Escluso tempo di check-out

$$CT_q = \left(\frac{C_a^2 + C_e^2}{2}\right)\left(\frac{U}{1-U}\right)t_e \qquad t_e = 1{,}7$$

e) negozio offre anche pop corn e soda e chi aspetta in coda.

$CT_q$ in coda!

costo attese = $0{,}75 \cdot CT_q$

costo tot = $0{,}75 \cdot CT_q \cdot (W(P_q))\ TH$ ??

attese dipende dal n° di operatori ed è una funzione decr.

finché il costo atteso < costo risorse non mi conviene prendere nuove risorse.

→ costo risorse dipende dal n° di operatori ed è crescente

costo risorse = $m \cdot 10 \cdot 24$

Per calcolare il tempo di processo:

- se siamo a regime (produzione continua):

$$\boxed{CT = \frac{X}{TH}}$$

- in caso contrario:

$$\boxed{CT = \frac{X}{TH} + Y}$$

→ bisogna aggiungere qualcosa in più.

---

se $U < 1$ ⇒ domanda è minore dell'offerta.

se $U = 1$ ⇒ bisogna calcolare $U\text{-}I$:

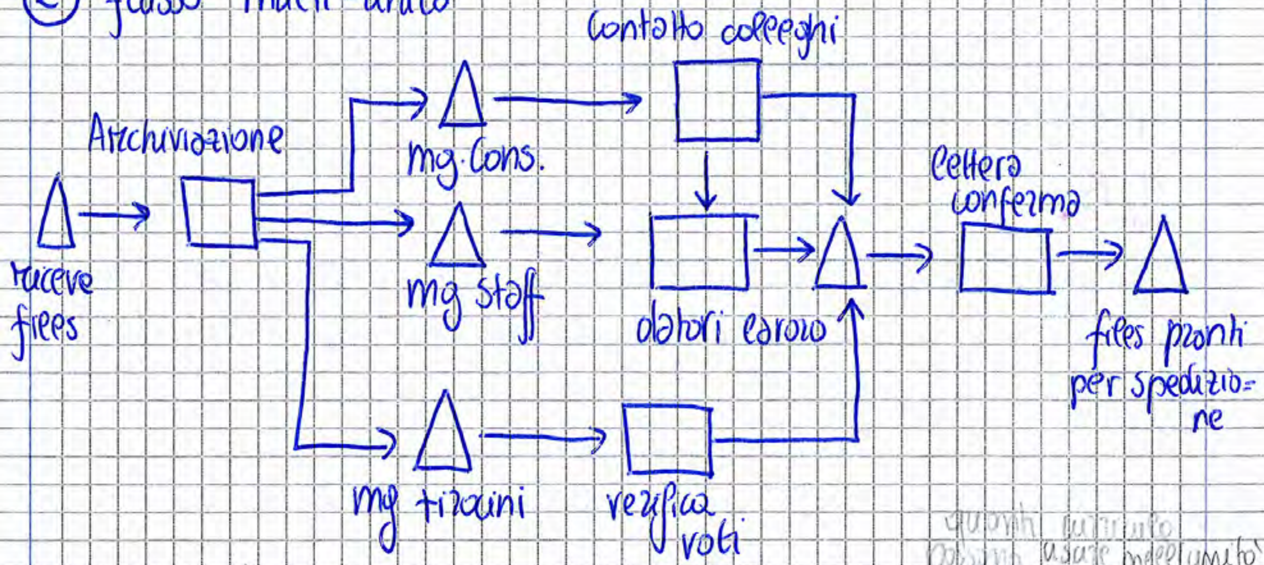
se $U = 1$ e $U\text{-}I = 1$ ⇒ domanda ed offerta coincidono

se $U = 1$ e $U\text{-}I > 1$ ⇒ domanda è maggiore dell'offerta.

| | A | | B | | C | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | U | U-I | U | U-I | U | U-I |
| Ph | 75/120 | 75/120 | 100/120 | 100/120 | 120/120 | 125/120 |
| Lh | 75/110 | 75/120 | 100/110 | 100/110 | 110/110 | 125/110 |
| 1°H | 75/112 | 75/112 | 100/112 | 100/112 | 112/112 | 125/112 |
| 2°H | 75/100 | 75/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | 125/100 |
| FH | 75/135 | 75/135 | 100/135 | 100/135 | 125/135 | 125/135 |
| Dis | 75/118 | 75/118 | 100/118 | 100/118 | 118/118 | 125/118 |
| Brip | 75/165 | 75/165 | 100/165 | 100/165 | 125/165 | 125/165 |

→ U-I più alto
⇓
CdB
↓
in questo caso ho anche la capacità più bassa.

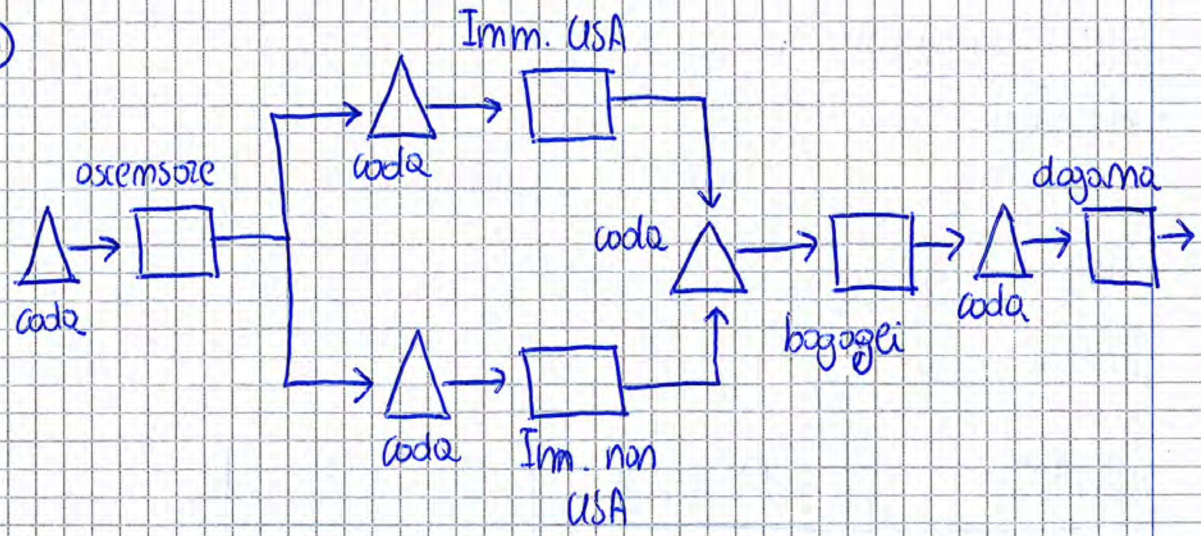
② flusso multi-unità




quanti curricula possono usare nell'unità di tempo

| Attività | Tempo | n° lavoratori | capacità |
|---|---|---|---|
| Archiviazione | 3 min/c | 1 | 1/3 = 0,33 c/min = 20 c/h |
| Branch marking | 8 min/c | 2 | 2/8 = 0,25 c/min = 15 c/h |
| Datori lavoro | 15 min/c | 3 | 3/15 = 0,2 c/min = 12 c/h |
| Contatto colleghi | 20 min/c | 2 | 2/20 = 0,1 c/min = 6 c/h |
| Lettere | 2 min/c | 1 | 1/2 = 0,5 c/min = 30 c/h |

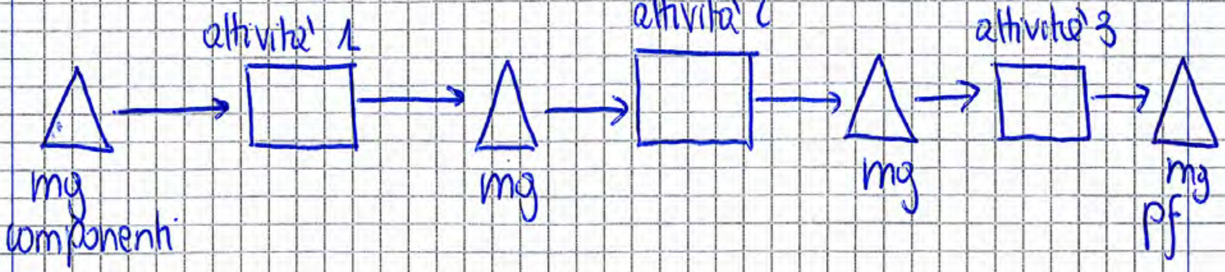
③




| Attività | Domanda | Capacità | I-U |
|---|---|---|---|
| Ascensore | 15 | 100 | 15/100 = 0,15 |
| Imm. USA | 10 | 10 | 10/10 = 1 |
| Imm. non USA | 5 | 3 | 5/3 = 1,67 → CdB |
| Bagagli | 15 | 10 | 15/10 = 1,5 |
| Dogana | 15 | 20 | 15/20 = 0,75 |

Quanti passeggeri usciranno dall'aeroporto ?
Anche se il CdB è l'imm. non USA, non usciranno 13p/min ma 10 p/min → ciò che vincola l'output sono i bagagli, ovvero lo stadio cdB

④ bilanciamento di una linea



tempo di attraversamento del sistema di x unità:

↳ Nel caso di tempi piccoli e quantità grandi:

$$t = \frac{X}{TH}$$

$$t = T_0 + \frac{(x-1)}{TH} = 32 + \frac{(x-1)}{(1/13)}$$

Nel caso in cui vi siano tempi diversi per le macchine e, ad esempio, la seconda attività sia quella più lunga, essa diventa il CdB, ma la capacità del processo resta sempre la stessa.

$$t = 32 + \frac{(x-1)}{(1/11)} + \frac{(x-1)}{(1/12)}$$

tempo d'attesa tra la prima e la seconda macchina

---

$$\text{capacità} = \frac{n° \text{ risorse}}{\text{process time}}$$

$$\text{process time} = \frac{1}{\text{capacità}}$$

$$CT = \frac{1}{\text{flow rate}}$$

$$U = \frac{\text{flow rate}}{\text{capacità}}$$

$$\text{labor content} = \sum_i \text{process time}_i$$

tempo attivo

$$CT = \text{process time} + \text{idle time}$$

$$\text{utilizzo medio risorse} = \frac{\sum_i U_i}{n° \text{ risorse}} = \frac{\text{labor content}}{\text{labor content} + \text{tempo d'attesa}}$$

DIMOSTRAZIONE:

$$\bar{U}_{risorse} = \frac{\sum_{i=1}^{N} U_i}{N} = \frac{1}{N}\left(\frac{\text{flow rate}}{\sum_i \text{capacità}_i}\right) = \frac{\text{flow rate}}{N}\left(\frac{1}{\sum_i \text{capacità}_i}\right) =$$

$$= \frac{\text{flow rate}}{N} \sum_i \text{process time}_i = \frac{\text{flow rate}}{N} \cdot \text{labor content} =$$

aumenta il WIP

- se B è piccolo ho tanti costi di setup e una capacità minore.
- se B è grande tendo ad aumentare il mismatching tra domanda e offerta e aumento il CT, causando una diminuzione del CT.

ESEMPI

① flow unit = 1A + 2C

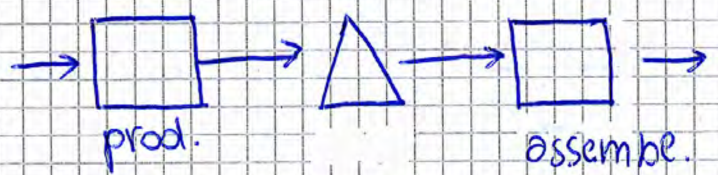
setup $\begin{cases} A \to C \\ C \to A \end{cases} = 1h = 60\,min$

$p_A = 1\,min \quad p_C = 0{,}6\,min$

$B = 200\ f.u. \qquad d = 700\ f.u./w$

per assemblare un pezzo A

$CT = 3\,min$

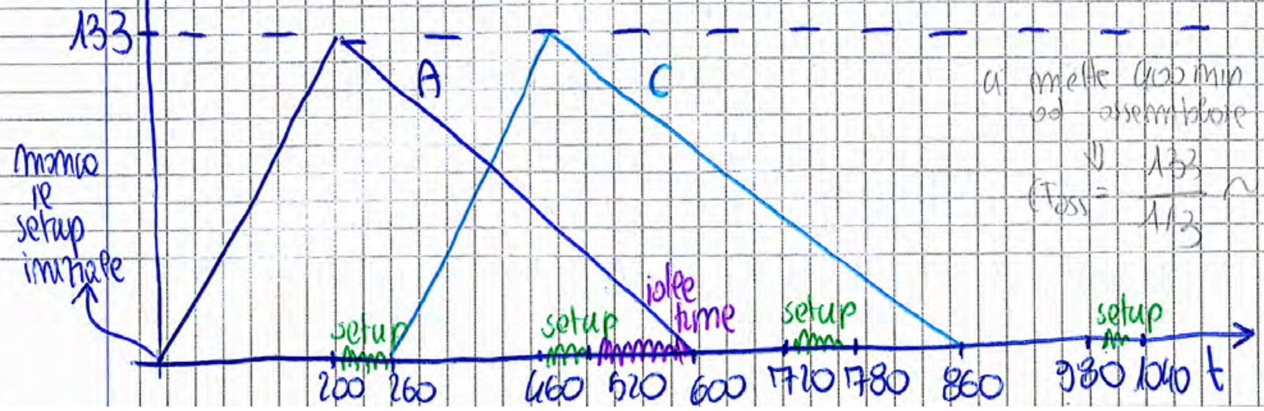



$$* \begin{cases} \text{capacità prod} = \dfrac{200}{120 + 200 \cdot 2} = 0{,}38 \\ \text{capacità ass.} = \dfrac{1}{3} = 0{,}33 \to CdB \end{cases}$$

$$I = \left(1 - \frac{1}{3}\right)^{*} \cdot 200 = 133\ u$$

↳ ogni minuto nel mp si accumulano $\frac{2}{3}$ di A

considero separatamente A e C:



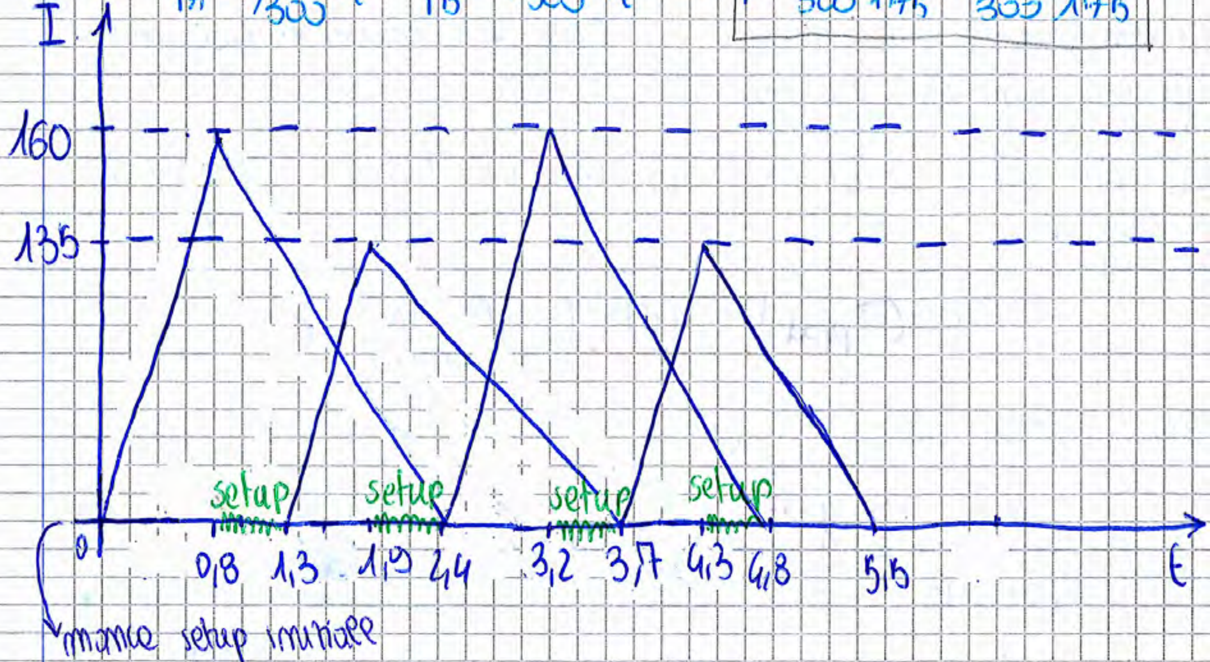

ci mette 400 min ad assemblare

⇓

$CT_{ass} = \dfrac{133}{1/3} \sim 400\,min$

Se avessimo avuto process time diversi:

$p_A = 1/300 \; h/e \quad p_B = 2/300 \; h/e \Rightarrow \boxed{p = \frac{1}{300}\cdot\frac{100}{175} + \frac{2}{300}\cdot\frac{75}{175}}$




# EOQ

la robustezza del modello delle EOQ è verificabile per via analitica confrontando le costo ottimo

① Verifica robustezza modello: derivante dal costo ottimo con uno costo non ottimo derivante da una stima sbagliata di alcuni valori.

- dati reali: $A, D, h$
- dati stimati: $\tilde{A}, D, h$

$C^* = \sqrt{2ADh} \qquad \tilde{C} = \frac{A\cdot D}{\tilde{Q}} + \frac{h}{2}\tilde{Q} \quad \text{dove} \quad \tilde{Q} = \sqrt{\frac{2\tilde{A}D}{h}}$

si ha che:

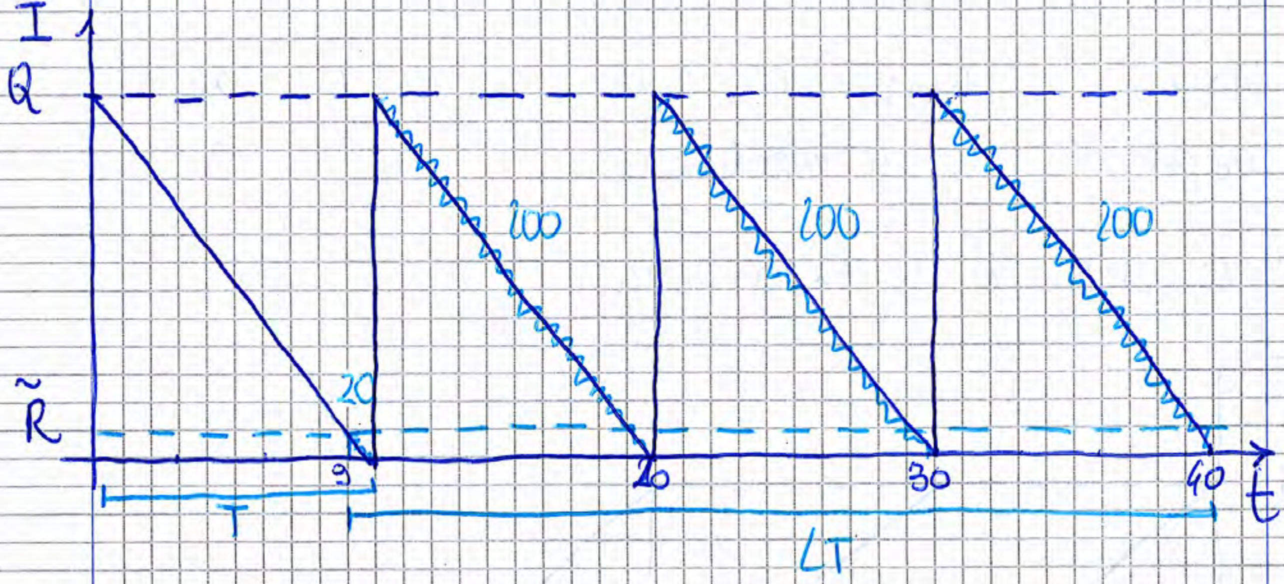
$$\frac{\tilde{C}}{C^*} = \frac{\frac{A\cdot D}{\tilde{Q}} + \frac{h}{2}\tilde{Q}}{\sqrt{2ADh}} = \frac{\sqrt{\frac{A^2D^2h}{2\tilde{A}D}} + \sqrt{\frac{h^2}{4_2}\frac{2\tilde{A}D}{h}}}{\sqrt{2ADh}} =$$

$$= \sqrt{\frac{A^2Dh}{2\tilde{A}}\frac{1}{2ADh}} + \sqrt{\frac{h\tilde{A}D}{2}\frac{1}{2ADh}} =$$

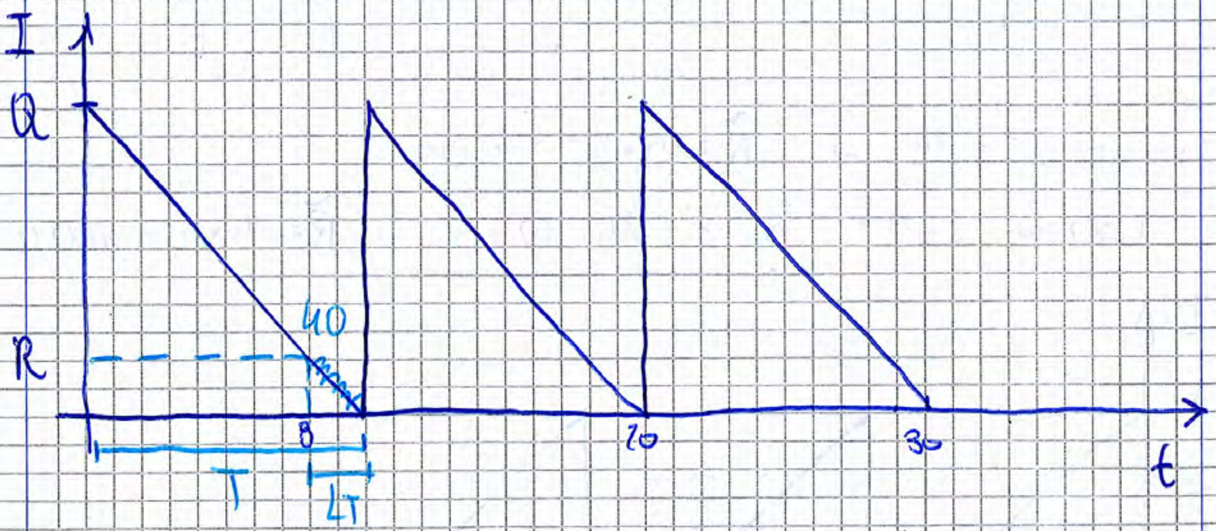
$$= \sqrt{\frac{A}{4\tilde{A}}} + \sqrt{\frac{\tilde{A}}{4A}} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{A}{\tilde{A}}} + \sqrt{\frac{\tilde{A}}{A}}\right)$$

3) se $LT = 31 \rightarrow R = 31 \times 20 = 620\ u$

essendo $LT > T \rightarrow \varepsilon = 31 - 30 = 1 \rightarrow \tilde{R} = 1 \times 20 = 20\ u$




4) se $LT = 2 \rightarrow R = 2 \times 20 = 40\ u$




© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 223 di 302

ESEMPIO NEL CASO DI COSTI INCREMENTALI:

① $d = 1000\ u/w$ $\quad A = 500\ €$

$h\% = 1\%$

$$C(Q) = \begin{cases} 4 \times Q & Q \leq 10\,000 \\ 4 \times Q_0 + 3{,}75 \cdot (Q - Q_0) & 10\,000 < Q \leq 60\,000 \\ 4 \times Q_0 + 3{,}75 \cdot (Q_1 - Q_0) + 3{,}5 \cdot (Q - Q_1) & Q > 60\,000 \end{cases}$$

$k_1 = (4 - 3{,}75) \cdot 10\,000 = 2\,500\ €$

$k_2 = (4 - 3{,}75) \cdot 10\,000 + (3{,}75 - 3{,}5) \cdot 50\,000 = 15\,000\ €$

$$EOQ_0 = \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 1000}{4 \times 0{,}01}} = 5000 \rightarrow ok$$

$$EOQ_1 = \sqrt{\frac{2 \times (500 + 2500) \times 1000}{3{,}75 \times 0{,}01}} = 12\,649 \rightarrow ok$$

$$EOQ_2 = \sqrt{\frac{2 \times (500 + 15\,000) \times 1000}{3{,}5 \times 0{,}01}} = 29\,761 \rightarrow no$$

$$C_{tot_0} = \sqrt{2 \times 500 \times 1000 \times 4 \times 0{,}01} + 4 \times 1000 = 4200\ €$$

$$C_{tot_1} = \sqrt{2 \times (500 + 2500) \times 1000 \times 3{,}75 \times 0{,}01} + 3{,}75 \times 1000 =$$

$= 4224\ €$

Derivando rispetto alla quantità $Q_i$ e a $\lambda$ ricavo:

$$Q_i = \sqrt{\frac{2\lambda D_i}{h_i}} \quad e \quad \sum_{i=1}^{N} \frac{D_i}{Q_i} = F$$

All'ottimo il vincolo è un vincolo di uguaglianza, in quanto per minimizzare il più possibile il costo di mg dovrei ordinare con la più alta frequenza possibile.
Inoltre $\lambda$ rappresenta il prezzo ombra, in questo caso il costo di ordinazione → va determinato quel valore che porta il mio modello ad ordinare con una frequenza accettata dal vincolo.
Questo tipo di problemi si risolve in maniera iterativa.

## $\boxed{2}$ LOTTO ECONOMICO MULTIPRODOTTO SENZA CAPACITÀ

- VARIABILI:

$$\begin{cases} i = 1, \dots, N \\ t = 1, \dots, T \end{cases}$$

$I_{ti}$ = livello mg al tempo t per il prodotto i

$x_{it}$ = quantità del prodotto i da acquistare al tempo t

$$\delta_{it} \begin{cases} 1 & \text{se ordino il prodotto i al tempo t} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- PARAMETRI:

$d_{it}$ = domanda per il prodotto i al tempo t

$s_i$ = costo setup per il prodotto i

$h_i$ = costo mg per il prodotto i

- MODELLO:

$$\min \sum_t \sum_i \left( h_i I_{it} + s_i \delta_{it} \right)$$

s.t.

$$I_{it} = I_{i,t-1} + x_{it} - d_{it} \qquad \forall t, i$$

$$x_{it} \le \left( \sum_{\tau=t}^{T} d_{i\tau} \right) \delta_{it} \qquad \forall t, i$$

$$I_{ti}, x_{it} \ge 0 \qquad \forall i, t$$

$$\delta_{it} \in \{0, 1\} \qquad \forall i, t$$

$I_{it}, x_{it} \geq 0 \quad \forall i,t$

$\delta_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i,t$

## 4 MODELLO CON BACKORDER

• VARIABILI: $\begin{cases} i = 1, \dots, N \\ t = 1, \dots, T \\ m = 1, \dots, M \end{cases}$

$I_{it}^{+}$ = livello del mg fisico al tempo t per il prodotto i

$I_{it}^{-}$ = valore di backorder al tempo t per il prodotto i

$x_{it}$ = quantità da produrre per il prodotto i al tempo t

$\delta_{it}$ → 1 se produco il prodotto i al tempo t
→ 0 altrimenti

• PARAMETRI:

$d_{it}$ = domanda per il prodotto i al tempo t

$s_i$ = costo di setup per il prodotto i

$h_i$ = costo di mg per il prodotto i

$b_i$ = costo di backorder per il prodotto i

$R_{mt}$ = quantità di risorsa m disponibile al tempo t

$r_{im}$ = quantità di risorsa m necessaria per produrre un'unità di prodotto i

$r'_{im}$ = quantità di risorsa m necessaria per il setup del prodotto i.

$c_i$ = costo d'acquisto per il prodotto i

$s_i$ = costo di setup per il prodotto i

$pv_i$ = penalità di mancate vendite per il prodotto i

$R_{mt}$ = quantità di risorse m disponibile al tempo t

$r_{im}$ = quantità di risorse m necessaria per produrre un'unità del prodotto i

$r'_{im}$ = quantità di risorse m necessaria per fare un setup per il prodotto i.

- MODELLO:

$$\max \sum_t \sum_i p_i v_{it} - \sum_t \sum_i \left( h_i I_{it} + c_i x_{it} + s_i \delta_{it} \right) - \sum_t \sum_i pv_i \cdot (d_{it} - v_{it})$$

s.t.

$$I_{it} = I_{i,t-1} + x_{it} - v_{it} \qquad \forall i,t$$

$$x_{it} \leq \left( \sum_{\tau = t}^{T} d_{i\tau} \right) \delta_{it} \qquad \forall i,t$$

$$\sum_i \left( r_{im} x_{it} + r'_{im} \delta_{it} \right) \leq R_{tm} \qquad \forall t,m$$

non posso vendere più di quanto mi viene chiesto

$$v_{it} \leq d_{it} \qquad \forall i,t$$

$$x_{it}, I_{it}, v_{it} \geq 0 \qquad \forall i,t$$

$$\delta_{it} \in \{0;1\} \qquad \forall i,t$$

ESERCIZIO

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 13 | 7 | 30 | 10 | 10 | 45 |

$A = 10€$

$h = 1€/t_b \cdot pz$

① LOT FOR LOT:

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 13 | 7 | 30 | 10 | 10 | 45 | |
| $I_t$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $Q_t$ | 13 | 7 | 30 | 10 | 10 | 45 | |
| $S_t$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |

costi mg = 0

costi setup = 60€

costo tot = 60€

② EOQ

$$\bar{D} = \frac{13+7+30+10+10+45}{6} = 19,16\ pz/t_b \qquad EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 19,16}{1}} = 19,58 \sim 20\ pz$$

| $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 13 | 7 | 30 | 10 | 10 | 45 |
| $I_t$ | 7 | 0 | ? | | | |
| $Q_t$ | 20 | 0 | 20 | | | |
| $S_t$ | 1 | 0 | 1 | | | |

## 4 WAGNER E WHITIN

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 30+7 = 37 | 37+2 30 = 97 | 97+3·10 = 127 | 127+4·10 = 167 | 167+5·45 = 392 |
| 2 | | 30 | 30+ 30 = 60 | 60+2·10 = 80 | 80+3·10 = 110 | 110+4·45 = 290 |
| 3 | | | 30 | 30+10 = 40 | 40+2·10 = 60 | 60+3·45 = 195 |
| 4 | | | | 30 | 30+10 = 40 | 40+2·45 = 130 |
| 5 | | | | | 30 | 30+45 = 75 |
| 6 | | | | | | 30 |

$f_7 = 0$

$f_6 = \min_{j \geq 6} (C_{66} + f_7) = 30$ €

$f_5 = \min_{j \geq 5} (C_{55} + f_6 ; C_{56} + f_7) = \min_{j \geq 5} (30+30 ; 75) = 60$ €

$f_4 = \min_{j \geq 4} (C_{44} + f_5 ; C_{45} + f_6 ; C_{46} + f_7) = \min_{j \geq 4} (30+60 ; 40+30 ; 130) = 70$ €

⑤ SM

$$C(1,1) = \frac{30 + 13 \cdot 1}{1} = 43 \text{ €/tb}$$

$$C(1,2) = \frac{30 + 13 + 2 \cdot 7}{2} = 28 \text{ €/tb}$$

$$C(1,3) = \frac{30 + 13 + 14 + 3 \cdot 30}{3} = \cancel{49 \text{ €/tb}}$$

$$C(3;3) = 30 + 30 = 60 \text{ €/tb}$$

$$C(3;4) = \frac{30 + 30 + 20}{2} = 40 \text{ €/tb}$$

$$C(3;5) = \frac{30 + 30 + 20 + 30}{3} = 36{,}7 \text{ €/tb}$$

$$C(3;6) = \frac{30 + 30 + 20 + 30 + 4 \cdot 45}{4} = \cancel{72{,}5} \text{ €/tb}$$

$$C(6;6) = 30 + 45 = 75 \text{ €/tb}$$

Ordinerò da 1 fino a 2, da 3 fino a 6 e infine per il periodo 6.

⑥ LUC

$$C(1;1) = \frac{30 + 13}{13} = 3{,}31 \text{ €/pz}$$

$$C(1;2) = \frac{30 + 13 + 14}{20} = 2{,}85 \text{ €/pz}$$

$(4;5) = |30 - 10 - 20| = 0 €$

$(6;6) = |30 - 45| = 15 €$

ordinerò in 1 per 1 e 2, ordinerò in 3 per 3, ordinerò in 4 per 4 e 5 e, infine, in 6 per 6.

| t | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_t$ | 13 | 7 | 30 | 10 | 10 | 45 |
| $I_t$ | 7 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| $Q_t$ | 20 | 0 | 30 | 20 | 0 | 45 |
| $S_t$ | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |

costi mg = 17 €    costi setup = 120

costi tot = 137 €  soluzione non ottima

4) $$CT_q = \left(\frac{Ca^2 + Ce^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{U_{//}^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{m(1-U_{//})}\right) te \qquad CT = te + CT_q$$

$$WIP_q = CT_q \cdot TH \qquad WIP = WIP_q + U_{//} \cdot m$$

5)
$$Ca_i^2 = Cd_{i-1}^2 = 1 + \left((Ca_{i-1}^2 - 1) \cdot (1 - U_{// i-1}^2)\right) + \frac{(Ce_{i-1}^2 - 1) \cdot U_{i-1 //}^2}{\sqrt{m}}$$

> buffer = 0

clienti che entrano nel sistema $= TH = \frac{1}{a}(1 - \mathbb{P}_m)$ probabilità di essere in direzion.

clienti che vanno via $= \frac{1}{a} \cdot \mathbb{P}_m$

$WIP_q = 0 \qquad CT_q = 0$

> buffer limitato

buffer $= b-1$

se $U = 1 \Rightarrow \mathbb{P}_b = \frac{1}{b+1}$ probabilità che il sistema sia occupato

se $U \neq 1 \Rightarrow \mathbb{P}_b = \frac{U^b(1-U)}{(1-U)^{b+1}}$

In questa situazione non è possibile calcolare $WIP_q$ e $CT_q$, l'unica cosa che si può fare è dimensionare b in modo che sia tanto grande da essere considerato infinito ed in seguito procedere con i calcoli nel caso di buffer ∞.

$\boxed{b = \bar{b}_q + f(\sigma_{b_q})}$ dove $\bar{b}_q = WIP_q$ se la capacità non è limitata

$Ca^2_2 = Cd^2_1 = (1-0{,}626^2) + 0{,}626^2 = 1$

2]

$te_2 = \frac{90}{0{,}95} = 95 \longrightarrow A_2 = \frac{200}{210} = 0{,}95$

$U_2 = \frac{10}{16 \cdot 60} \cdot 95 = 0{,}99/_{2} = 0{,}495$

$Ce^2_2 = C_0^2{}_2 + (1+Cr^2_2) \cdot A_2 \cdot (1-A_2) \cdot mr/t_{o2} = 2 + (1+1) \cdot 0{,}95\,(1-0{,}95) \cdot 10/90 = 2{,}01$

$CTq_2 = \frac{1+2{,}01}{2} \cdot \frac{0{,}495^{\sqrt{6}-1}}{2(1-0{,}495)} \cdot 95 = 51{,}1 \qquad CT_2 = 95 + 51 = 146$

$WIPq_2 = 51 \cdot \frac{10}{16 \cdot 60} = 0{,}53 \qquad WIP_2 = 0{,}53 + 0{,}495 \cdot 2 = 1{,}52$

$Ca^2_3 = Cd^2_2 = 1 + \frac{(2{,}01-1)(0{,}495)^2}{\sqrt{2}} = 1{,}17$

3]

$te_3 = 10 + 50/10 = 15 \qquad U_3 = \frac{10}{16 \cdot 60} \cdot 15 = 0{,}156$

$\sigma_e^2 = 10^2 + 71^2/10 + (10-1) \cdot 50^2/10^2 = 829{,}1 \qquad Ce^2_3 = 829{,}1/15^2 = 3{,}68$

$CTq_3 = \left(\frac{1{,}17 + 3{,}68}{2}\right)\left(\frac{0{,}156}{1-0{,}156}\right) 15 = 6{,}72 \text{ min} \qquad CT_3 = 15 + 6{,}72 = 21{,}72 \text{ min}$

$WIPq_3 = 21{,}72 \cdot \frac{10}{16 \cdot 60} = 0{,}226 \text{ u} \qquad WIP_3 = 0{,}226 + 0{,}156 = 0{,}384 \text{ u}$

$Ca^2_4 = Cd^2_3 = 1{,}17 \cdot (1 - 0{,}156^2) + \cancel{0{,}38}^{\,3{,}68} \cdot 0{,}156^2 = 1{,}23$

osservabilità | variabilità | efficiente | robustezza

parametro robusto

$\boxed{PULL}$ ⇒ fisso il WIP e determino CT e TH

parametro sensibile

$\boxed{PUSH}$ ⇒ fisso il TH e determino WIP e CT.

Sistemi pull sono più efficienti dei sistemi push

↳ A parità di WIP il TH è maggiore (1)

↳ A parità di TH il WIP è minore. (2)

(1)

$WIP = w$

$$TH_{PULL} = \frac{w}{w+N-1} \cdot \frac{1}{te}$$

$$TH_{PUSH} = \frac{w}{N \cdot te + w \cdot te} = \frac{w}{w+N} \cdot \frac{1}{te}$$

$$TH_{PULL} > TH_{PUSH}$$

(2)

$TH = r_a$

$$WIP_{PULL} = r_a \cdot (N-1) \cdot te / 1 - r_a \cdot te = \frac{te \cdot r_a}{1 - r_a \cdot te} \cdot (N-1)$$

$$WIP_{PUSH} = N \cdot \frac{U}{1-U} = N \cdot \left( \frac{te \cdot r_a}{1 - te \cdot r_a} \right)$$

$$WIP_{PULL} < WIP_{PUSH}$$

$WIP_{q_1} = CT_{q_1} \cdot TH = 18 \cdot 0{,}45 = 8{,}1$ $\quad WIP_1 = WIP_{q_1} + U_1 = 8{,}1 + 0{,}9 = 9$

essendo tutti i parametri uguali si avrà:

$$WIP_1 = WIP_2 = WIP_3 = 9$$

dunque $\quad WIP_{tot} = N \cdot WIP = 3 \times 9 = 27$

2) sistema conwip: $\quad WIP = 27$

$$TH_{pull} = \frac{27}{27+3-1} \cdot \frac{1}{2} = 0{,}466$$

A parità di WIP il $TH_{pull} > TH_{push}$, poiché i sistemi pull sono più efficienti dei sistemi push.

(3) $\pi = 60 \cdot TH - 0{,}25 \times wip$ $\quad p = 60\$$ $\quad h = 0{,}26\$$

1) a) sistema push: $TH^*$?

$$\frac{d\pi}{dTH} = 0 \qquad \pi = 60 \times TH - 0{,}25 \times \underbrace{\left(N \frac{te \cdot TH}{1-(te \cdot TH)}\right)}_{WIP_{PUSH}} =$$

$$= 60 \times TH - 0{,}25 \times 3 \times \frac{2 \times TH}{1 - 2 \times TH} =$$

$$= 60 \times TH - 1{,}5 \frac{TH}{(1-2\,TH)}$$

$$d\,\frac{f(x)}{g(x)} = \frac{f'(x)g(x) - g'(x)f(x)}{g^2(x)}$$

$$TH^* \Rightarrow \quad 60 - 1{,}5\left[\frac{(1-2TH^*) + TH^* \cdot 2}{(1-2 \cdot TH^*)^2}\right] = 0$$

$$WIP^* = \frac{-1 \pm \sqrt{1^2 + 4 \cdot 0{,}25 \cdot 48}}{2 \times 0{,}25} = \frac{-1 \pm 7{,}07}{2 \times 0{,}25} = \begin{cases} 12 \\ \cancel{-16} \end{cases}$$

$$\Pi_{pull} = \frac{60}{2} \times \frac{12}{(12+2)} - 0{,}25 \times 12 = 18{,}4$$

$$\boxed{\Pi_{pull} > \Pi_{push}}$$

2)

$\mu = \sigma = 2{,}2\ h \quad (t_e = 2{,}2)$

$$\Pi_{push} = 50 \times 0{,}41 - 0{,}25 \times 3 \times 2{,}2 \times \frac{0{,}41}{(1 - 2{,}2 \times 0{,}41)} = 13{,}6$$

$$\Pi_{pull} = 50 \times \frac{12}{2{,}2(12+2)} - 0{,}25 \times 12 = 16{,}5$$

Entrambi i profitti si sono ridotti, ma la riduzione maggiore e' avvenuta nel sistema push.

3) $\mu = \sigma = 2{,}4h \quad (t_e = 2{,}4)$

$$\Pi_{push} = 50 \times 0{,}41 - 0{,}25 \times 3 \times 2{,}4 \times \frac{0{,}41}{(1 - 2{,}4 \times 0{,}41)} = -25{,}6$$

$$\Pi_{pull} = 50 \times \frac{12}{2{,}4(12+2)} - 0{,}25 \times 12 = 14{,}9$$

$$ca_2^2 = ca_1^2 (1 - U_1^2) + ce_1^2 \cdot U_1^2 = (1 - 0{,}6^2) + 0{,}96 \cdot 0{,}6^2 = 0{,}99$$

$$te_2 = to_2 + ts_2 / N_s = 8 + 5/10 = 8{,}6 \text{ min}$$

$$U_2 = 8{,}5 \cdot 80 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 8 \cdot 60}\right) = 0{,}7 < 1$$

$$\sigma e_2^2 = 8^2 + 5^2/10 + 9 \cdot 5^2/10^2 = 68{,}75 \qquad ce_2^2 = \frac{68{,}75}{(8{,}5)^2} = \cancel{0{,}18}\ 0{,}95$$

$$CT_{q_2} = \left(\frac{0{,}99 + \cancel{0{,}18}\ 0{,}95}{2}\right)\left(\frac{0{,}7}{0{,}3}\right) \cdot 8{,}5 = \cancel{11{,}6}\ 19{,}24 \text{ min}$$

$$WIP_{q_2} = CT_{q_2} \cdot TH = \cancel{11{,}6}\ 19{,}24 \cdot \left(\frac{80}{2 \times 8 \times 60}\right) = 1{,}6\ u < 3 \quad \text{OK}$$

determinare le cause?? $CT_{sist} = \max\{CT_p, CT_s\} + 0{,}5$ min

2) $b = 100000\ u$ upper bound?
sarebbe il CdB, ovvero il max che posso produrre.

- Come primo caso devo calcolare per ciascuno per individuare il CdB:

$$U_{1s} = 6 \times 80 \times \left(\frac{1}{2 \times 8 \times 60}\right) = 0{,}5 = U_{2s} = U_{3s}$$

$$U_{1p} = 0{,}6$$

$$U_{2p} = 0{,}7 \text{ è il CdB}$$

essendo $U = \frac{TH}{capacità} = \frac{1/a}{1/te} \Rightarrow capacità = 1/te = 0{,}12\ u/min$

dunque impongo che $TH = capacità$ per arrivare al massimo il mio CdB.

# SCHEDULING

RISPETTARE LE DATE DI CONSEGNA:

- se un ritardo è pagato su base temporale:

$\boxed{\text{LATENESS}}$ $L_i = C_i - d_i$

$\begin{cases} C_i = \text{tempo di completamento job } i \\ d_i = \text{data di consegna job } i \end{cases}$

non ristretta in segno

$\boxed{\text{TARDINESS}}$ $T_i = \max\{0; L_i\}$ → non ci sono valori negativi! se il job non è in ritardo la $T_i = 0$.

ristretta in segno

tardiness media

$$\bar{T} = \sum_i T_i / N$$

tardiness massima

$$T_{max} = \max_i T_i$$

- se vogliamo minimizzare il massimo dobbiamo minimizzare $T_{max}$ non $L_{max}$:

$$T_{max} = \max_i T_i = \max_i \{\max\{0; L_i\}\} =$$

$$= \max\{\max(0; L_1); \max(0; L_2); \dots; \max(0; L_N)\} =$$

$$= \max\{0; L_1; L_2; L_3; \dots; L_N\} = \max\{0; L_{max}\}$$

dunque si ha che:

$T_{max} = L_{max}$ se $L_{max} > 0$

$T_{max} = 0$ se $L_{max} \leq 0$

- se voglio minimizzare il valor medio minimizzare $\bar{L}$ non ha senso perché la lateness non è ristretta in segno! Inoltre, essendo N un parametro scriveremo:

$$\min \sum_i T_i$$

$\boxed{\text{min max}}$

min $L_{max}$

min $C_{max}$

min $T_{max}$

$\boxed{\text{min sum}}$

min $\sum_i C_i$

min $\sum_i T_i$

min $\sum_i U_i$

$\boxed{\text{min sum + pesi}}$

min $\sum_i w_i C_i$

min $\sum_i w_i T_i$

min $\sum_i w_i U_i$