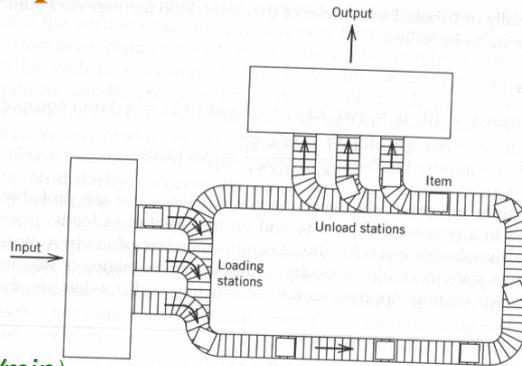


Problema 1: nastro trasportatore in anello aperto

- Determinare:
 - Velocità del nastro
 - Capacità dei pallet
- Variabili:
 - loading station: M_l
 - unloading station: M_u
 - conveyor speed: v (m/min)
 - unit arrival rate: I (parti/min)
 - carrier spacing: d (m/pallet)



M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 1

Problema 1: nastro trasportatore in anello aperto

- Velocità del nastro
 - Basic formula

$$v \geq d \cdot I$$

esempio

- a 100 m conveyor has carriers spaced every 10 m
 - parts arrive at a rate of 2 minutes per pallet
 - loading takes no time
 - the minimum speed to prevent blocking will be:
- $$v \geq (10)(2) = 20 \text{ (m / minute)}$$

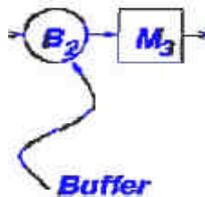
M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 2

I sistemi multistadio

- Sistema a macchina singola
 - Macchina perfettamente affidabile
 - Macchina non perfettamente affidabile
- Linea “flow shop”
 - Sistema privo di buffer intermedi (bilanciato)
 - Macchine perfettamente affidabili
 - Macchine non perfettamente affidabili
 - Sistema con buffer a capacità infinita
 - Sistema bilanciato
 - Sistema non bilanciato
 - Sistema con buffer a capacità finita

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 3

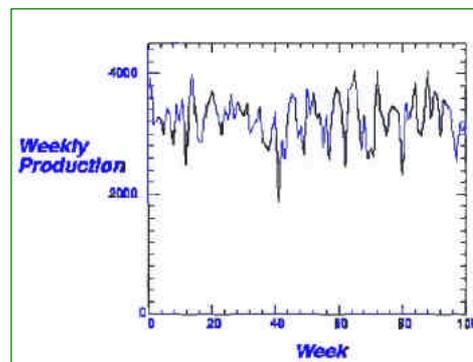
Sistema a macchina singola



Fonti di imprevedibilità:

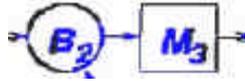
- La macchina può guastarsi o avere indisponibilità di utensili
- Il buffer può essere a capacità finita

La produttività del sistema è variabile



M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 4

Sistema a macchina singola



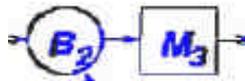
Macchina perfettamente affidabile

Se il ritmo produttivo
(parti/unità di tempo)
di M_3 è $1/\mu_3 = \lambda_3$



- La produttività media del sistema è al massimo quella di M_3
 $\lambda \leq \lambda_3 = 1/\mu_3$
- La produttività media di lungo periodo l dipenderà anche dal ritmo degli arrivi e dalla dimensione del buffer

Sistema a macchina singola



Macchina non perfettamente affidabile

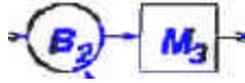
M_3 può guastarsi solo mentre lavora

- $MTTF$ = mean time to failure
- $MTTR$ = mean time to repair
- $MTBF$ = mean time between failures

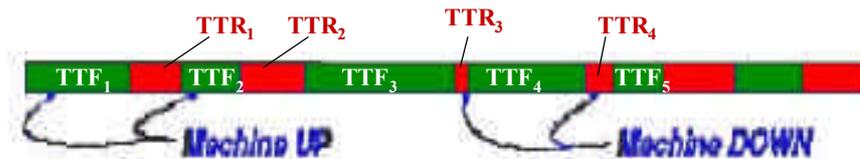
$$MTBF = MTTF + MTTR$$

La disponibilità della macchina 3 è $\frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$

Sistema a macchina singola



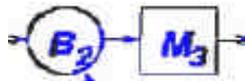
Macchina non perfettamente affidabile



- La **produzione** media durante i periodi TTF è $MTTF/m_3$
- La **produzione** media durante un ciclo $TBF=TTF+TTR$ è sempre la stessa perché durante TTR la macchina non produce
- La **durata** media di un ciclo TBF è MTBF
- La **produttività** media è la **produzione** diviso la **durata**

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 7

Sistema a macchina singola



Macchina non perfettamente affidabile

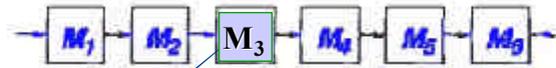
- La **produttività** max media λ_3 è la **produzione** la **durata**

$$I \leq I_3 = \frac{MTTF}{m_3} \cdot \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{m_3} \left(\frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \right)$$

- La **produttività** media del sistema è al massimo pari al prodotto della **produttività** massima per la **disponibilità**
- La **produttività** media di lungo periodo dipenderà dal ritmo degli arrivi e dalla dimensione del buffer

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 8

Linea con buffer a capacità nulla



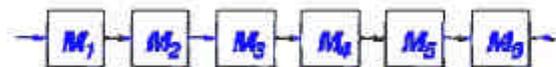
1° bottleneck

Macchine
perfettamente
affidabili

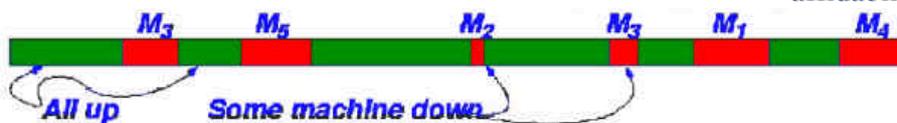
- Tutte le macchine sono obbligate ad andare allo stesso ritmo produttivo **costante** $1/\mu_3$, che è quello della macchina più lenta e
- quindi la produttività della linea è $\lambda = 1/\mu_3$

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 9

Linea con buffer a capacità nulla



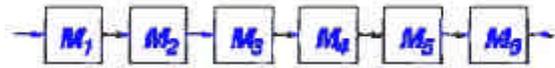
Macchine **non**
perfettamente
affidabili



- Tutte le macchine sono obbligate ad andare allo stesso ritmo produttivo $1/\mu$, che è quello della macchina più lenta
- Se una qualunque macchina si ferma, tutte le macchine a monte si bloccano
- La produttività media di lungo periodo λ della linea è inferiore a quella della macchine più lenta

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 10

Linea con buffer a capacità nulla



Macchine non
perfettamente
affidabili

• Ipotesi:

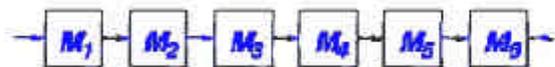
- Non si può guastare più di una macchina alla volta
- Se nessuna macchina si guasta in un tempo pari a T si produrranno T/m parti
- Ma nel tempo T , ogni macchina i si può fermare m_i volte
 - A causa della macchina i , il sistema si blocca per un tempo $m_i \cdot MTTR_i$
- Il sistema starà bloccato D volte per un tempo pari a T_D

- Il sistema lavorerà per un tempo pari a

$$D = \sum_i m_i \quad T_D = \sum_i m_i \cdot MTTR_i$$

$$T_U = T - T_D = T - \sum_i m_i \cdot MTTR_i$$

Linea con buffer a capacità nulla



Macchine non
perfettamente
affidabili

$$T_U = T - \sum_i m_i \cdot MTTR_i$$

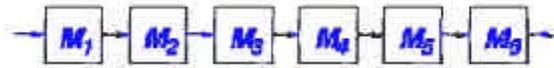
Si noti che $m_i \sim T_U / MTTF_i$

$$T_U = T - T_U \sum_i \frac{MTTR_i}{MTTF_i}$$

$$1 + \sum_i \frac{MTTR_i}{MTTF_i} = \frac{T}{T_U}$$

$$\frac{1}{1 + \sum_i \frac{MTTR_i}{MTTF_i}} = \frac{T_U}{T}$$

Linea con buffer a capacità nulla



Macchine non
perfettamente
affidabili

- Nel tempo T_U il sistema produce $U = T_U/m$ parti

$$\frac{T_U}{T} = \frac{U \cdot m}{T} = \frac{1}{1 + \sum_i \frac{MTTR_i}{MTTF_i}}$$

Produttività del sistema

$$I = \frac{U}{T} = \frac{1}{m} \frac{1}{1 + \sum_i \frac{MTTR_i}{MTTF_i}}$$

formula di Buzacott

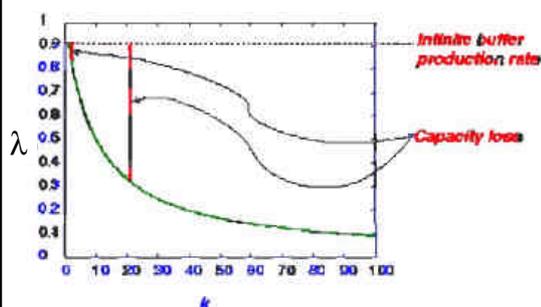
Linea con buffer a capacità nulla



Macchine non
perfettamente
affidabili

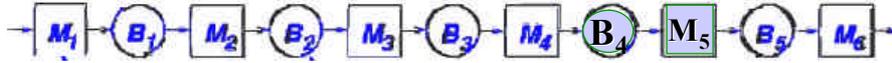
Per aumentare la produttività del sistema λ , occorre:

- Diminuire μ della macchina più lenta
- Aumentare la disponibilità MTTF/MTBF di una o più macchine
- Ridurre il numero di stazioni k



$$I = \frac{U}{T} = \frac{1}{m} \frac{1}{1 + \sum_i^k \frac{MTTR_i}{MTTF_i}}$$

Linea con buffer a capacità infinita



Se le macchine hanno tutte lo stesso ritmo produttivo $1/\mu$, il Sistema è **bilanciato**

– **Macchine perfettamente affidabili**

- Non si formano code, non servono i buffer
- È come se fosse una macchina singola perfettam. affidabile

– **Macchine non perfettamente affidabili**

- Se si ferma una macchina, p.e. M5, cresce la coda presso B4 per un tempo medio MTTR
 - le macchine a monte continuano a lavorare
 - le macchine a valle continuano se il sistema viene progettato con un livello medio di scorte adeguato
- Globalmente, il sistema ha il comportamento e la disponibilità di una macchina singola

Linea con buffer a capacità infinita

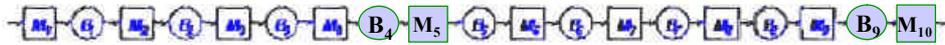


• Se le macchine hanno ritmi produttivi differenti, il sistema non è bilanciato

- L'analisi del sistema è simile sia per macchine perfettamente affidabili, che per macchine a disponibilità finita: **Bottleneck analysis**
- Cambia solo il λ di ciascuna macchina

$$I_i = \frac{1}{m_i} \left(\frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \right)$$

Linea con buffer a capacità infinita

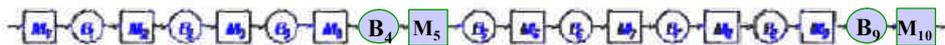


Bottleneck analysis

- Collo di bottiglia: M10
 - La coda B9 cresce indefinitamente, mentre il sistema a valle di M10 si svuota
- Secondo collo di bottiglia: M5
 - Il secondo collo di bottiglia è la seconda macchina più lenta, a monte della prima
 - La coda B4 cresce indefinitamente
- Terzo collo di bottiglia
 - Si deve cercare sempre a monte di M5

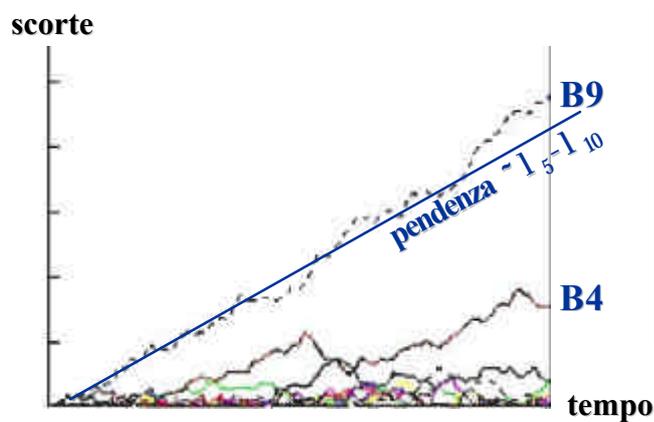
M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 17

Linea con buffer a capacità infinita



2° bottleneck

1° bottleneck

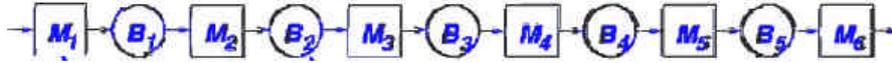


Per aumentare la produttività del sistema λ occorre agire su M10

- Diminuire μ_{10}
- Aumentarne la disponibilità

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 18

Linea con buffer a capacità finita



- Se il sistema è bilanciato
 - La performance dipende dalla dimensione dei buffer
 - Se i buffer sono sottodimensionati, possono sbilanciare il sistema e creare dei colli di bottiglia
 - Se i buffer sono sovradimensionati, il sistema si comporta come un *infinite buffer*, ma essi possono rappresentare un costo d'investimento eccessivo o occupare troppo spazio
- Se il sistema non è bilanciato
 - Le macchine a monte del bottleneck sono costrette a fermarsi ripetutamente perché non possono alimentarne la coda, che non è infinita
 - prima o poi, tutta la linea va al ritmo del bottleneck

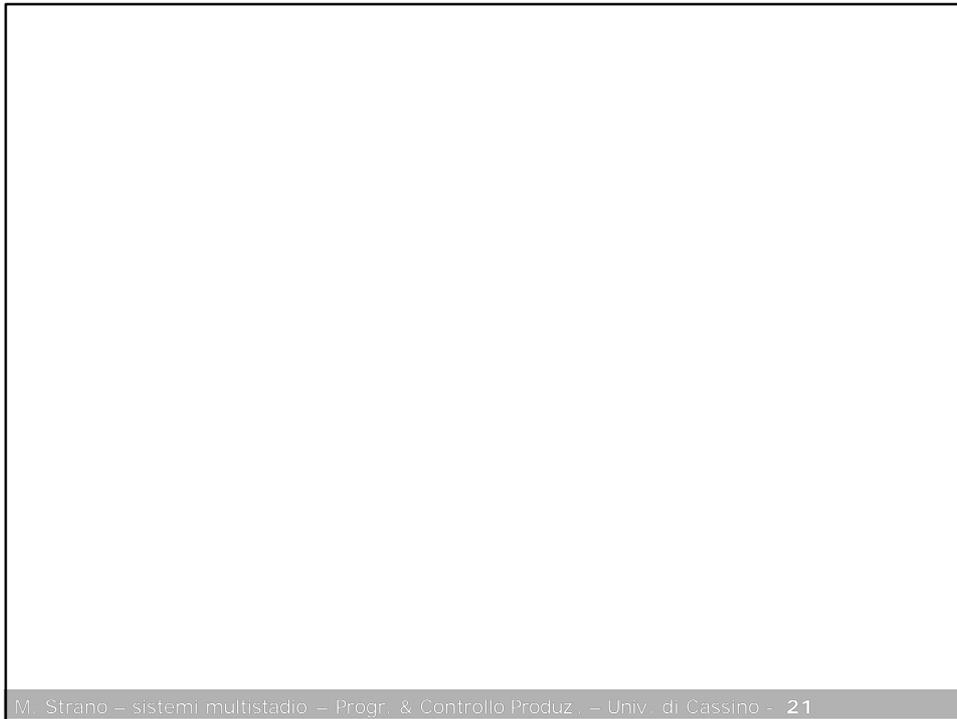
M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 19

Linea con buffer a capacità finita

Non esiste una soluzione unica

1. Process Flow Diagram
2. Identify Bottlenecks (collo di bottiglia)
3. Generate Alternatives
4. Evaluate Alternatives
 - Caso deterministico
 - modello analitico: Equazioni di flusso
 - Caso stocastico
 - modello analitico: Teoria delle code
 - Simulazione a eventi discreti

M. Strano – sistemi multistadio – Progr. & Controllo Produz. – Univ. di Cassino - 20



Problema 1: nastro trasportatore in anello aperto

- Capacità dei pallet

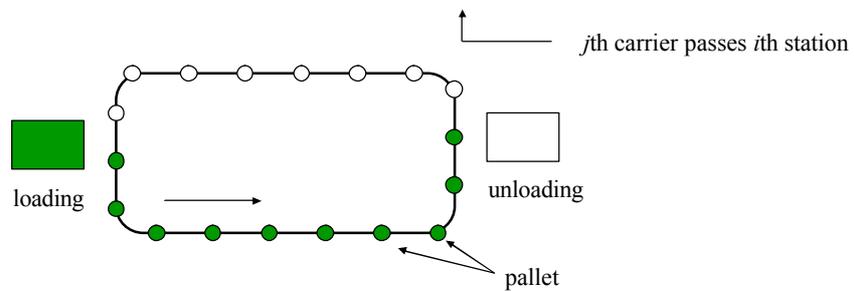
Parts loading into a carrier $\longrightarrow f_i(j) = f_i(j + p)$

- the possible situations:

- loading one part: $f_i(j) = f_i(j) + 1$
- unloading one part: $f_i(j) = f_i(j) - 1$

↑ Loading cycle

↑ j th carrier passes i th station



Problema 1: nastro trasportatore in anello aperto

– Computing the required capacity (continue)

- The stability condition with M stations, N carriers and p loading cycle

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^p f_i(j) = 0$$

- The required carrier capacity is the difference between the maximum and minimum levels of loads observed.
- An example:
 - there are 17 carriers, $M = 2$ stations
 - the repeating cycle is $p = 6$ (so, there are $17 - 6 = 11$ carriers returning)
 - $f_1 = \{1, 2, 0, 3, 0, 0\}$
 - $f_2 = \{-2, 0, -2, 0, -2, 0\}$
 - an empty carrier arrives at the loading station and starts the cycle