

Modellazione dei Sistemi Logistici

Scheduling Multifase

Docente: Prof. Giuseppe Bruno

giuseppe.bruno@unina.it

Argomento della lezione

- **Definizioni generali**
- **Flow Shop**
- **Job Shop**

Scheduling multifase

Nei problemi multifase ogni job è individuato da una sequenza di operazioni, tali che due operazioni consecutive sono eseguite su macchine diverse.

Con la terna (i, j, k) si indicherà l'operazione j relativa al job i da eseguirsi sulla macchina k .

Esempio: $(1,2,4)$ indica l'operazione 2 del job 1 sulla macchina 4.

Due operazioni consecutive dello stesso job i sono tali che (i, j, k) e $(i, j+1, k')$ (con $k \neq k'$)

Scheduling multifase

n jobs ($i=1,\dots,n$) e m macchine ($k=1,\dots,m$)

Ogni job i è composto da q_i operazioni in serie (ogni coppia di operazioni consecutive viene effettuata su macchine distinte)

Per descrivere un problema multifase è necessario fornire:

una **matrice dei tempi di processamento** $P=\{p_{ij}\}$,
 p_{ij} tempo di processamento dell'operazione j del job i

una **matrice di routing** $R=\{r_{ij}\}$,
 r_{ij} macchina su cui deve essere eseguita l'operazione j del job i ;

Scheduling multifase

I problemi fondamentali di tipo multifase sono i problemi

Open shop

Tra le operazioni di ciascun job non ci sono vincoli di precedenza

Flow Shop

Tutti i jobs sono costituiti dalla stessa successione di operazioni

Job Shop

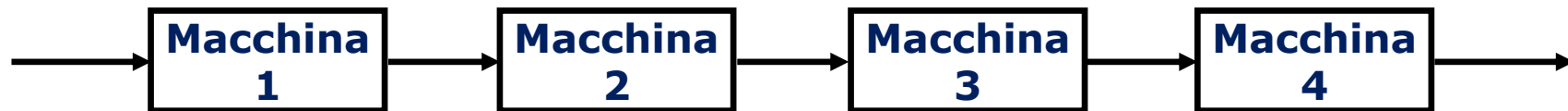
Tutti i jobs sono costituiti dalla stessa successione di operazioni

Flow Shop

Nel **Flow Shop** tutti i jobs hanno la **stessa successione di operazioni**. I Job seguono tutti lo stesso percorso dando luogo ad un flusso (flow) unico

Le schedulazioni **Flow Shop** sono tipiche delle produzioni caratterizzate da elevati volumi di produzione e notevole livello di standardizzazione.

Poiché ogni operazione è eseguita su una macchina diversa nella terna (i,j,k) si può porre $j=k$. Pertanto ciascuna operazione può essere indicata con due soli indici (i, j) .



Esempio di layout di tipo *Flow Shop* con 4 macchine

Flow Shop

Tra le soluzioni di un Flow Shop vi sono quelle caratterizzate dalla stessa successione delle operazioni su ogni macchina (soluzioni con permutazione).

In questo caso bisogna definire la successione dei jobs che si ripete su tutte le macchine

La tempificazione deve essere tale che non sia sovrapposizione tra operazioni dello stesso job.

Il numero di possibili soluzioni è dato da $n!$

Macchina 1	31	41	51	11	21				
Macchina 2		32	42	52	12	22			
Macchina 3			33	43	53	13	23		

Esempio di soluzione con permutazione

Job Shop

Operazione			
Job	1	2	3
1	4	1	2
2	2	4	3
3	5	3	
4	2	1	4

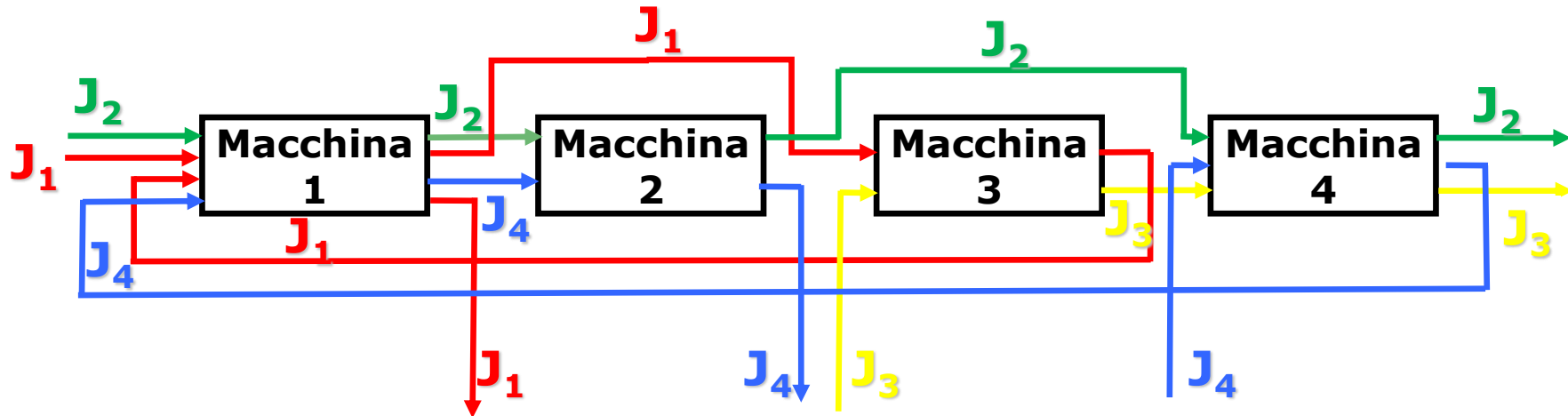
Matrice tempi di processamento

Operazione			
Job	1	2	3
1	1	3	1
2	1	2	4
3	3	4	
4	4	1	2

Matrice di routing

$$p_{123} = 1$$

$$p_{432} = 4$$



Layout del problema

Flow Shop

I problemi Flow Shop sono in generale molto complessi.

Con riferimento al classico problema con obiettivo C_{\max} si analizzeranno i seguenti problemi:

$F2 \parallel C_{\max}$

Problema polinomiale risolvibile con la regola di Johnson

$Fm \parallel C_{\max} (m \geq 3)$

Problema NP-hard

Flow Shop

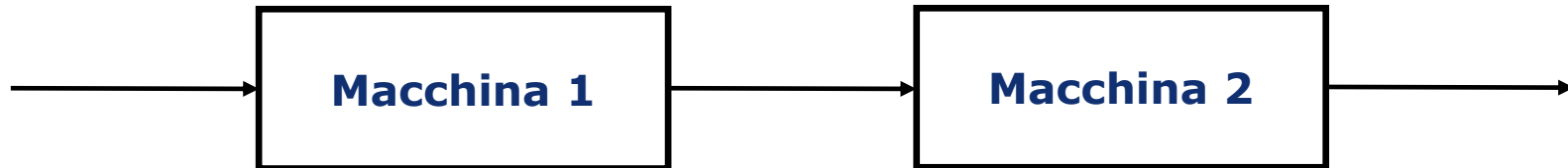
F2||C_{max}

Job	Op.1	Op. 2
1	1	4
2	4	1
3	2	4
4	6	6
5	4	5
6	6	2

Matrice tempi di processamento

Job	Op.1	Op. 2
1	1	2
2	1	2
3	1	2
4	1	2
5	1	2
6	1	2

Matrice di routing



Flow Shop

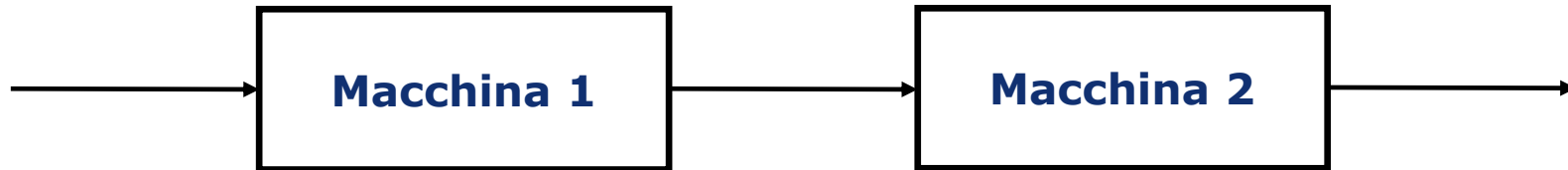
F2||C_{max}

Job	Op.1	Op. 2
1	1	4
2	4	1
3	2	4
4	6	3
5	4	5
6	6	2

Matrice tempi di processamento

Job	Op.1	Op. 2
1	1	2
2	1	2
3	1	2
4	1	2
5	1	2
6	1	2

Matrice di routing



Job	1	2	3	4	5	6
p_{j1}	1	4	2	6	4	6
p_{j2}	4	1	4	3	5	2

Flow Shop

Regola di Johnson

F2||C_{max}

p_{j1} tempo processamento dell'operazione j sulla prima macchina

p_{j2} tempo processamento dell'operazione j sulla seconda macchina

1. Si individuino gli insiemi di job

$$L' = \{j \in J : p_{j1} \leq p_{j2}\} :$$

job con tempi di processamento sulla prima macchina non superiori a quelli sulla seconda macchina

$$L'' = J - L' :$$

job con tempi di processamento sulla prima macchina superiori a quelli sulla seconda macchina

2. Si schedulano prima i job di L' e poi i job di L''

*I job di L' con regola **SPT rispetto ai tempi p_{j1}** (prima macchina)*

*I job di L'' con regola **LPT rispetto ai tempi p_{j2}** (seconda macchina)*

Flow Shop

Regola di Johnson

F2||C_{max}

Job	1	2	3	4	5	6
p_{j1}	1	4	2	6	4	6
p_{j2}	4	1	4	3	5	2

1. Si individuino gli insiemi di job

$$L' = \{j \in J: p_{j1} \leq p_{j2}\}$$

$$L'' = J - L'$$

$$L' = (1, 3, 5)$$

$$L'' = (2, 4, 6)$$

Flow Shop

Regola di Johnson

F2||C_{max}

Job	1	2	3	4	5	6
p_{j1}	1	4	2	6	4	6
p_{j2}	4	1	4	3	5	2

$L'=(1,3,5)$

$L''=(2,4,6)$

2. Si schedulano

*I job di L' con regola **SPT** rispetto ai tempi p_{j1} (prima macchina)*

*I job di L'' con regola **LPT** rispetto ai tempi p_{j2} (seconda macchina)*

1 → 3 → 5

4 → 6 → 2

Flow Shop

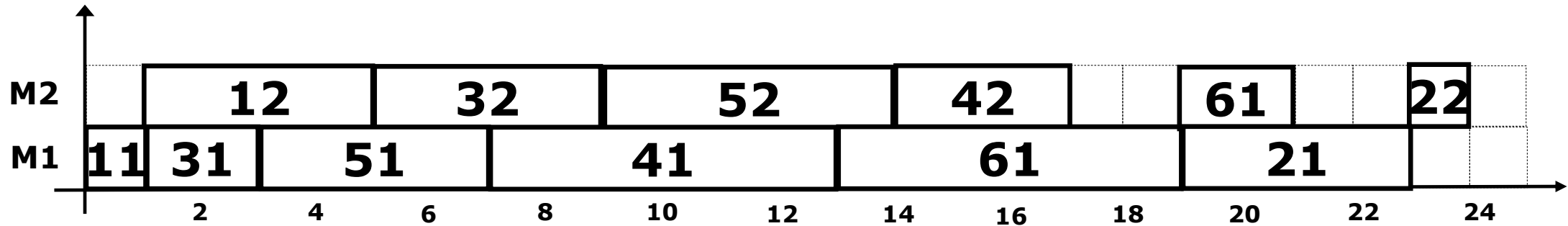
Regola di Johnson

F2||C_{max}

Job	1	2	3	4	5	6
p_{j1}	1	4	2	6	4	6
p_{j2}	4	1	4	3	5	2

1 → 3 → 5

4 → 6 → 2



Flow Shop

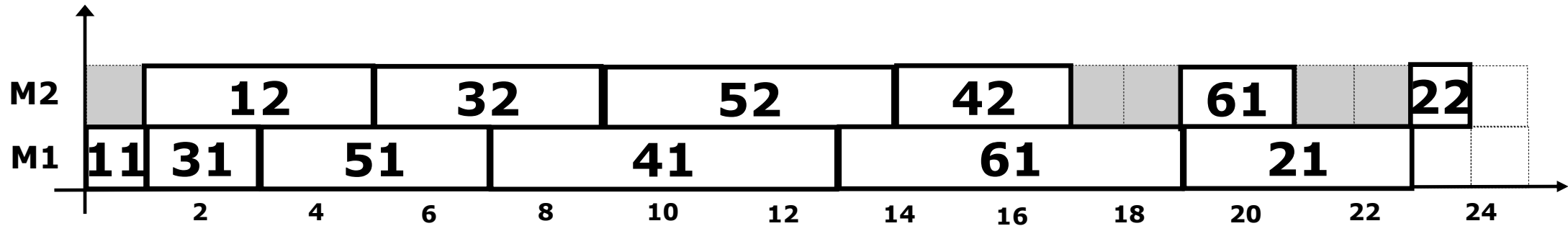
Regola di Johnson

F2|| C_{max}

Job	1	2	3	4	5	6
p_{j1}	1	4	2	6	4	6
p_{j2}	4	1	4	3	5	2

1 → 3 → 5

4 → 6 → 2



$C_{max} = 25$

Flow Shop

$$Fm||C_{\max}$$

In questo caso è possibile applicare delle **regole di priorità** che consentono di individuare una permutazione del problema

In generale le regole di priorità puntano a dare precedenza ai job che presentano tempi inferiori di processamento sulle prime macchine della catena

Flow Shop

$$F_m || C_{\max}$$

Regola delle differenze o di Parker

Alla prima macchina si associa una priorità pari a $-(m-1)$

Tale priorità viene incrementata di 2 lungo la catena del Flow Shop

In pratica ad ogni job i viene attribuita una priorità:

$$w_i = -(m-1)p_{i1} - (m-3)p_{i2} + \dots + (m-3)p_{i,m-1} + (m-1)p_{im}$$

$$\text{Per } m=2 \quad w_i = p_{i2} - p_{i1}$$

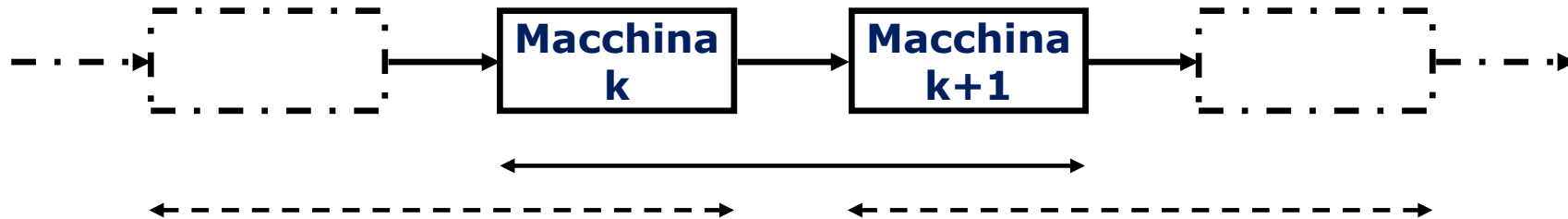
Flow Shop

$F_m || C_{\max}$

Regola del tempo totale di processamento o di Gupta
Consiste nell'attribuire a ciascun job i una priorità

$$w_i = \frac{e_i}{\min_{k=1, m-1} (p_{ik} + p_{i, k+1})}$$

con $e_i=1$ se $p_{i1} < p_{im}$ e $e_i=-1$ altrimenti



Per $m=2$

$$w_i = \frac{\pm e_i}{p_{i1} + p_{i2}}$$

con $e_i=1$ se $p_{i1} < p_{i2}$ e $e_i=-1$ altrimenti

Flow Shop

$F_m || C_{\max}$

Job	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}	Priorità Gupta	Priorità Parker
1	4	5	2		
2	2	2	1		
3	1	7	3		
4	5	4	4		
5	3	4	3		

Regola di Parker

$$w_i = - (m-1) p_{i1} - (m-3) p_{i2} + \dots + (m-3) p_{i,m-1} + (m-1) p_{im}$$

Regola di Gupta

$$w_i = \frac{e_i}{\min_{k=1, m-1} (p_{ik} + p_{i,k+1})}$$

con $e_i=1$ se $p_{i1} < p_{im}$ e $e_i=-1$ altrimenti

Flow Shop

$F_m || C_{\max}$

Job	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}	Priorità Gupta	Priorità Parker
1	4	5	2	-1/7	
2	2	2	1	-1/3	
3	1	7	3	1/8	
4	5	4	4	-1/8	
5	3	4	3	1/7	

Permutazione secondo la regola di Gupta

5 → 3 → 4 → 1 → 2

Regola di Parker

$$w_i = - (m-1) p_{i1} - (m-3) p_{i2} + \dots + (m-3) p_{i,m-1} + (m-1) p_{im}$$

Regola di Gupta

$$w_i = \frac{e_i}{\min_{k=1, m-1} (p_{ik} + p_{i,k+1})}$$

con $e_i=1$ se $p_{i1} < p_{im}$ e $e_i=-1$ altrimenti

Flow Shop

$F_m || C_{\max}$

Job	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}	Priorità Gupta	Priorità Parker
1	4	5	2	-1/7	-4
2	2	2	1	-1/3	-2
3	1	7	3	1/8	+4
4	5	4	4	-1/8	-2
5	3	4	3	1/7	0

Permutazione secondo la regola di Gupta

5 → 3 → 4 → 1 → 2

Permutazione secondo la regola di Parker

3 → 5 → 4 → 2 → 1

Regola di Parker

$$w_i = - (m-1) p_{i1} - (m-3) p_{i2} + \dots + (m-3) p_{i,m-1} + (m-1) p_{im}$$

Regola di Gupta

$$w_i = \frac{e_i}{\min_{k=1, m-1} (p_{ik} + p_{i,k+1})}$$

con $e_i=1$ se $p_{i1} < p_{im}$ e $e_i=-1$ altrimenti

Flow Shop

$F_m || C_{\max}$

Job	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}
1	4	5	2
2	2	2	1
3	1	7	3
4	5	4	4
5	3	4	3

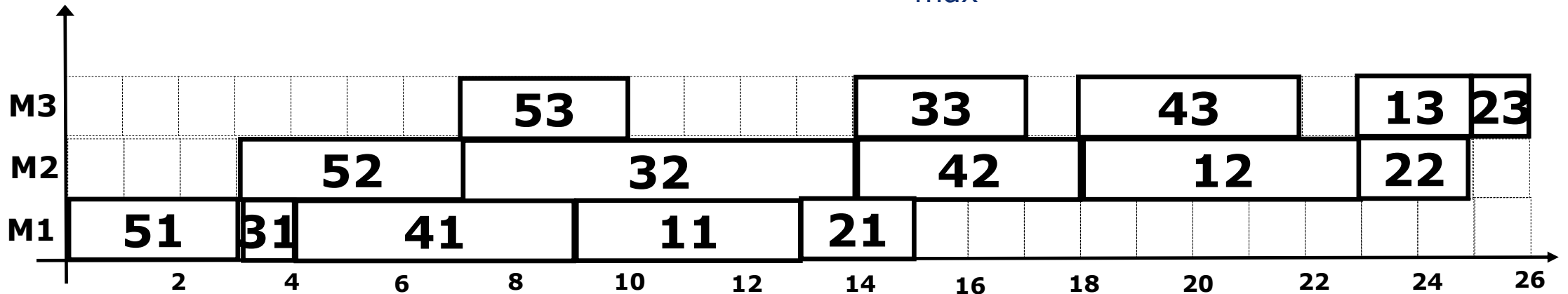
Regola di Gupta

5 → 3 → 4 → 1 → 2

Regola di Parker

3 → 5 → 4 → 2 → 1

$C_{\max} = 26$



Flow Shop

$F_m || C_{\max}$

Job	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}
1	4	5	2
2	2	2	1
3	1	7	3
4	5	4	4
5	3	4	3

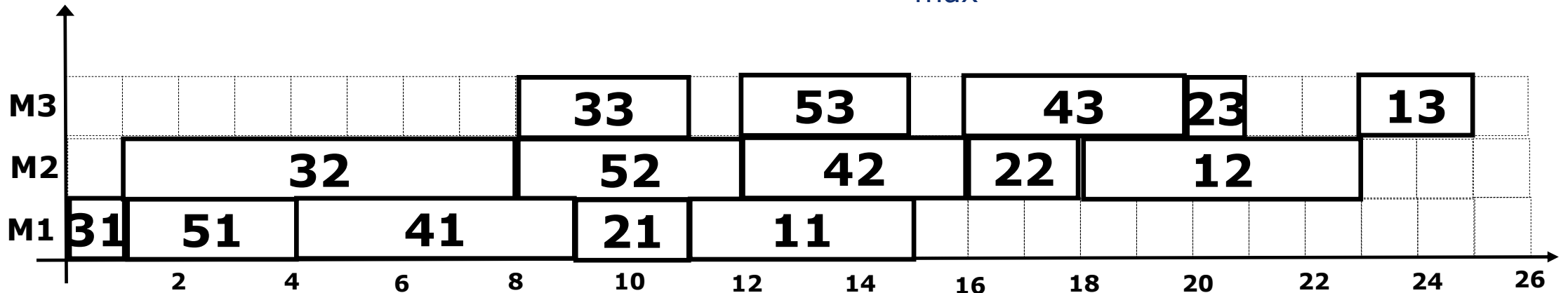
Regola di Gupta

5 → 3 → 4 → 1 → 2

Regola di Parker

3 → 5 → 4 → 2 → 1

$C_{\max} = 25$



Job Shop

Operazione			
Job	1	2	3
1	4	1	2
2	2	4	3
3	5	3	
4	2	1	4

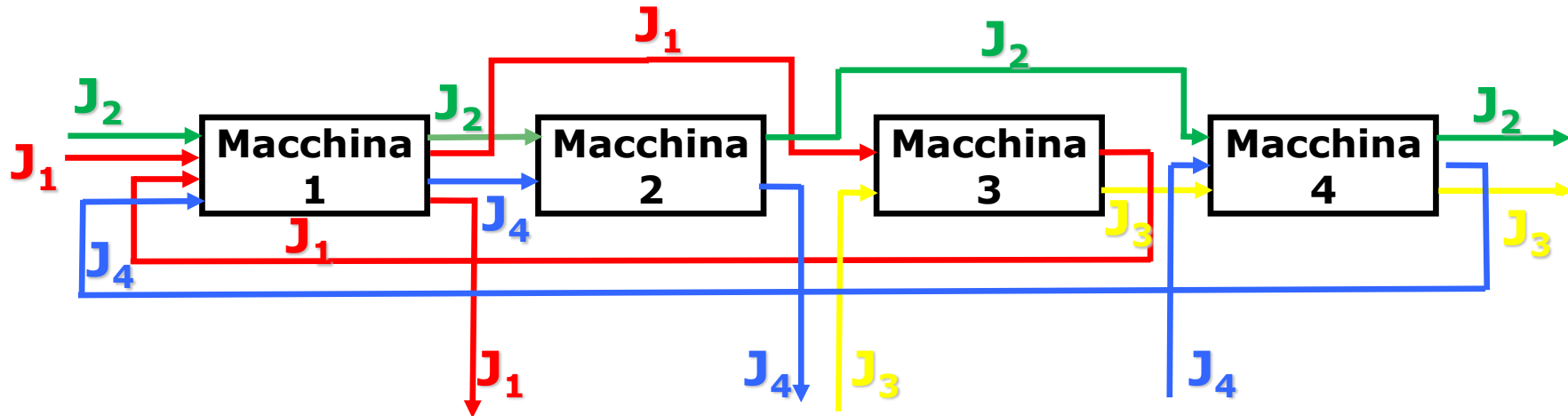
Matrice tempi di processamento

Operazione			
Job	1	2	3
1	1	3	1
2	1	2	4
3	3	4	
4	4	1	2

Matrice di routing

$$p_{123} = 1$$

$$p_{432} = 4$$



Layout del problema

Job Shop

I problemi Job Shop sono in generale molto complessi.

Considerando l'obiettivo C_{\max} si possono distinguere i problemi:

$J2 \mid n_j \leq 2 \mid C_{\max}$

(*Job Shop* su 2 macchine in cui ogni job è costituito al massimo da 2 operazioni)

Problema polinomiale risolvibile con la regola di Jackson

$Jm \mid \mid C_{\max} \ (m \geq 3)$

Problema NP-hard

Job Shop

Regola di Jackson

$J2 \ |n_j \leq 2| \ C_{\max}$

Job	p_{j1}	p_{j2}	Routing
1	5	4	2-1
2	4	-	1
3	3	7	1-2
4	-	2	2
5	5	2	1-2
6	2	3	2-1
7	2	3	1-2
8	3	4	2-1

Job Shop

Regola di Jackson

$J2 \ |n_j \leq 2| \ C_{\max}$

1. Si suddivide l'insieme dei job nei seguenti sottoinsiemi

J_{12} jobs che passano per la macchina 1 e poi per la macchina 2

J_{21} jobs che passano per la macchina 2 e poi per la macchina 1

J_1 jobs che devono essere processati solo sulla macchina 1

J_2 jobs che devono essere processati solo sulla macchina 2.

2. Si esegue la schedulazione sulle due macchine secondo l'ordine

Macchina 1: $J_{12} \rightarrow J_1 \rightarrow J_{21}$

Macchina 2: $J_{21} \rightarrow J_2 \rightarrow J_{12}$

Poiché i **jobs di J_{12} (J_{21})** hanno tutti la stessa sequenza di operazioni $1 \rightarrow 2$ ($2 \rightarrow 1$)

per la loro schedulazione si utilizza la **regola di Johnson per un problema $F2||C_{\max}$** .

Job Shop

Regola di Jackson

$J2 \ |n_j \leq 2| \ C_{\max}$

1. Si suddivide l'insieme dei job nei seguenti sottoinsiemi

J_{12} jobs che passano per la macchina 1 e poi per la macchina 2

J_{21} jobs che passano per la macchina 2 e poi per la macchina 1

J_1 jobs che devono essere processati solo sulla macchina 1

J_2 jobs che devono essere processati solo sulla macchina 2.

Job	Prima macchina p_{ij1}	Prima macchina p_{ij2}	Routing
1	4	5	2-1
2	4	-	1
3	3	6	1-2
4	2		2
5	6	2	1-2
6	3	2	2-1
7	2	3	1-2
8	4	3	2-1

$$J_{12} = \{3, 5, 7\}$$

$$J_{21} = \{1, 6, 8\}$$

$$J_1 = \{2\}$$

$$J_2 = \{4\}$$

Job Shop

Regola di Jackson

$$J2 \ |n_j \leq 2| \ C_{\max}$$

2. Si esegue la schedulazione sulle due macchine secondo l'ordine

Macchina 1: $J_{12} \rightarrow J_1 \rightarrow J_{21}$

Macchina 2: $J_{21} \rightarrow J_2 \rightarrow J_{12}$

Job	Prima macchina p_{ij1}	Prima macchina p_{ij2}	Routing
1	4	5	2-1
2	4	-	1
3	3	6	1-2
4	2		2
5	6	2	1-2
6	3	2	2-1
7	2	3	1-2
8	4	3	2-1

$$J_{12} = \{3, 5, 7\}$$

$$J_{21} = \{1, 6, 8\}$$

$$J_1 = \{2\}$$

$$J_2 = \{4\}$$

Job Shop

Regola di Jackson

$J_2 \ |n_j \leq 2| \ C_{\max}$

Job/operazione	Prima macchina p_{i1k}	Prima macchina p_{i2k}	Routing
1	4	5	2-1
2	4	-	1
3	3	6	1-2
4	2		2
5	6	2	1-2
6	3	2	2-1
7	2	3	1-2
8	4	3	2-1

$$J_{12} = \{3, 5, 7\}$$

$$J_{21} = \{1, 6, 8\}$$

$$J_1 = \{2\}$$

$$J_2 = \{4\}$$

macchina 1: $J_{12} \rightarrow J_1 \rightarrow J_{21}$

macchina 2: $J_{21} \rightarrow J_2 \rightarrow J_{12}$

Applicazione *regola di Johnson* sui Flow Shop J_{12} e J_{21}

Job Shop

Regola di Jackson

$J2 \mid n_j \leq 2 \mid C_{\max}$

Job	Prima macchina p_{ij1}	Prima macchina p_{ij2}	Routing
1	4	5	2-1
2	4	-	1
3	3	6	1-2
4	2		2
5	6	2	1-2
6	3	2	2-1
7	2	3	1-2
8	4	3	2-1

$$J_{12} = \{3, 5, 7\}$$

$$J_{21} = \{1, 6, 8\}$$

$$J_1 = \{2\}$$

$$J_2 = \{4\}$$

macchina 1: $J_{12} \rightarrow J_1 \rightarrow J_{21}$

macchina 2: $J_{21} \rightarrow J_2 \rightarrow J_{12}$

Applicazione regola di Johnson sui Flow Shop J_{12}

1. Si individuino gli insiemi di job $L' = \{j \in J: p_{i11} \leq p_{i22}\}$ $L'' = J - L'$

$$L' = (3, 7) \quad \rightarrow \quad L'' = (5)$$

2. Si schedulano

*I job di L' con regola **SPT** rispetto ai tempi p_{i11} (prima macchina)*


*I job di L'' con regola **LPT** rispetto ai tempi p_{i22} (seconda macchina)*

Sequenza: 7 → 3 → 5

Job Shop

Regola di Jackson

$J2 \mid n_j \leq 2 \mid C_{\max}$



Job	Prima macchina p_{ij1}	Prima macchina p_{ij2}	Routing
1	4	5	2-1
2	4	-	1
3	3	6	1-2
4	2		2
5	6	2	1-2
6	3	2	2-1
7	2	3	1-2
8	4	3	2-1

$$J_{12} = \{3, 5, 7\}$$

$$J_{21} = \{1, 6, 8\}$$

$$J_1 = \{2\}$$

$$J_2 = \{4\}$$

Sequenza: 7 → 3 → 5

macchina 1: $J_{12} \rightarrow J_1 \rightarrow J_{21}$

macchina 2: $J_{21} \rightarrow J_2 \rightarrow J_{12}$

Applicazione regola di Johnson sui Flow Shop J_{21}

1. Si individuino gli insiemi di job $L' = \{j \in J: p_{j12} \leq p_{j21}\}$ $L'' = J - L'$

$L' = (1)$ \rightarrow $L'' = (6, 8)$

2. Si schedulano

*I job di L' con regola **SPT rispetto ai tempi p_{i12}** (la prima macchina corrisponde alla macchina 2)*

*I job di L'' con regola **LPT rispetto ai tempi p_{i21}** (la seconda macchina corrisponde alla macchina 1)*

Sequenza: 1 → 6 → 8

Job Shop

Regola di Jackson

$J_2 \mid n_j \leq 2 \mid C_{\max}$

Job	Prima macchina p_{ij1}	Prima macchina p_{ij2}	Routing
1	4	5	2-1
2	4	-	1
3	3	6	1-2
4	2		2
5	6	2	1-2
6	3	2	2-1
7	2	3	1-2
8	4	3	2-1

$$J_{12} = \{3, 5, 7\}$$

Sequenza: 7 → 3 → 5

$$J_{21} = \{1, 6, 8\}$$

Sequenza: 1 → 6 → 8

$$J_1 = \{2\}$$

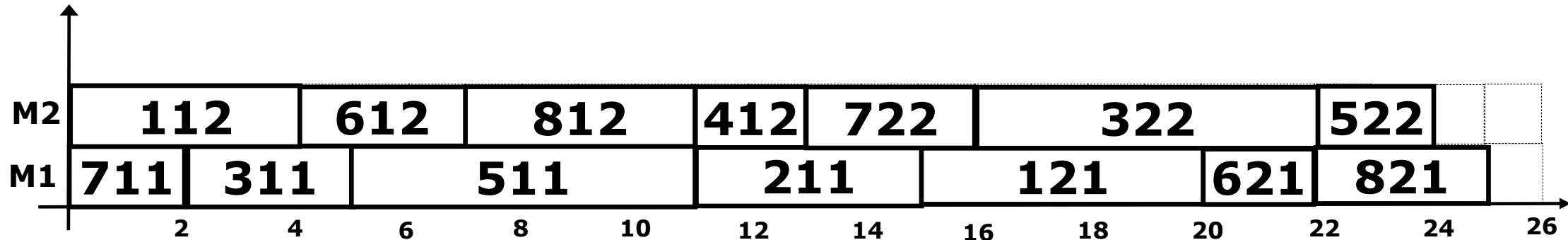
macchina 1: $J_{12} \rightarrow J_1 \rightarrow J_{21}$

$$J_2 = \{4\}$$

macchina 2: $J_{21} \rightarrow J_2 \rightarrow J_{12}$

Sequenza Macchina 1: 7 → 3 → 5 → 2 → 1 → 6 → 8

Sequenza Macchina 2: 1 → 6 → 8 → 4 → 7 → 3 → 5



Job Shop

$J_m \parallel C_{\max} (m \geq 3)$
Problema NP-hard

Approcci risolutivi

Applicazione regole priorità

Applicazione regole (tipicamente la SPT) presso ogni macchina

Algoritmi costruttivi

Costruzione soluzione con determinate proprietà (attiva, senza ritardo)

Classificazione dei problemi di scheduling

Tipologia soluzioni

Una soluzione di un problema di scheduling può essere

Senza ritardo

Se non si verifica mai che una macchina, pur potendo effettuare un'operazione, resti inattiva

Attiva

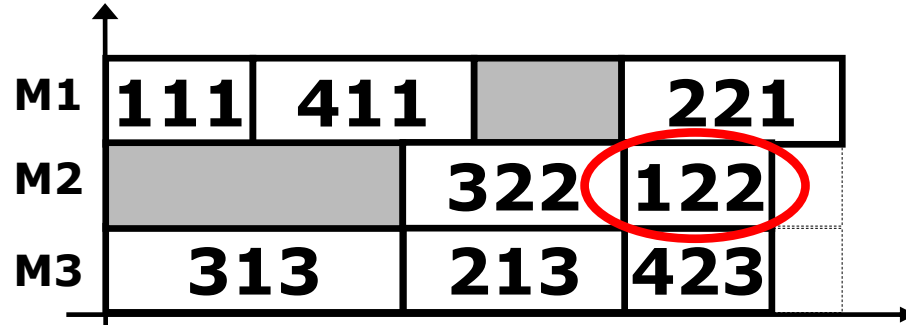
Se, per anticipare il completamento di una qualsiasi operazione, si provoca un ritardo nel completamento di altre operazioni.

Non attiva

Se non è attiva

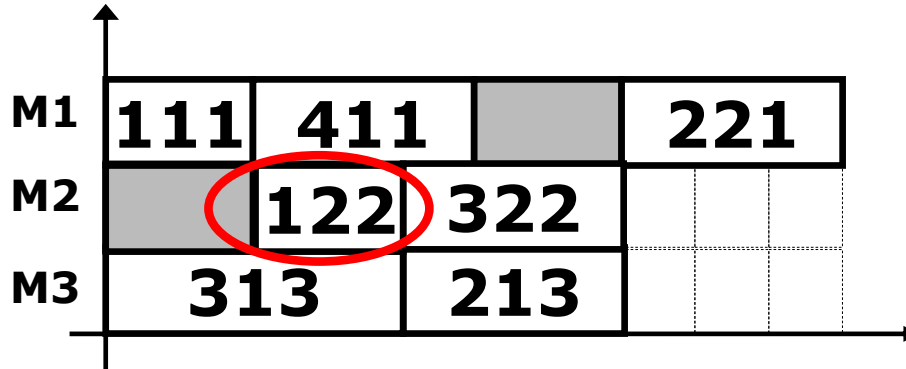
Una soluzione senza ritardo è anche attiva. Una soluzione attiva può essere con ritardo.

Job Shop

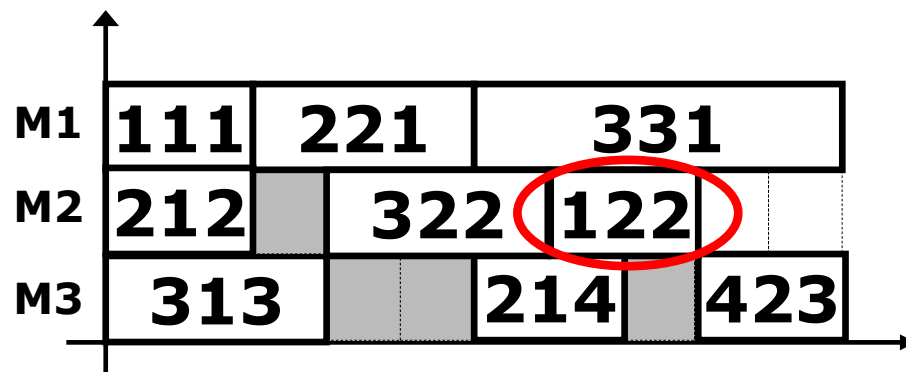


Soluzione non attiva

L'operazione 122 potrebbe essere anticipata senza modificare la schedulazione delle altre operazioni



Soluzione attiva senza ritardo



Soluzione attiva con ritardo

La macchina 2 alla fine dell'operazione 212 potrebbe eseguire l'operazione 122

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

- r_{ijk} tempo di rilascio (i,j,k)
 C_{ijk} tempo di completamento (i,j,k)
 S_t schedulazione relativa a t operazioni
 O_{t+1} insieme operazioni schedulabili dopo S_t

Operazione				
Job	1	2	3	4
1	1	3	1	2
2	1	2	4	
3	3	4		
4	4	1	2	

matrice di routing

Nell'ipotesi che siano già state schedulate le operazioni

$S_4 = (111, 123, 211, 414)$

l'insieme di operazioni schedulabili dopo S_t è dato da

$O_5 = (131, 222, 313, 421)$

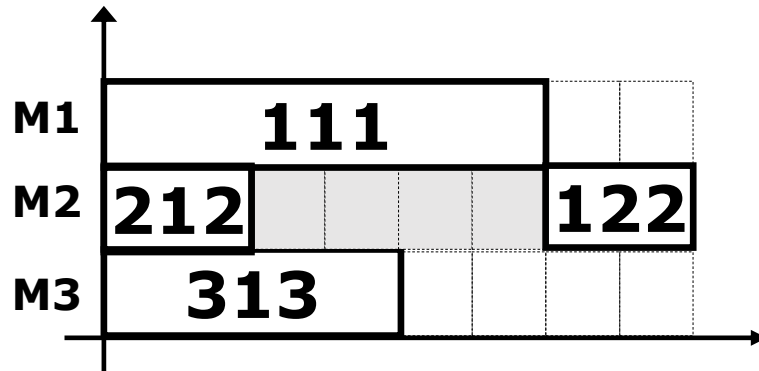
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

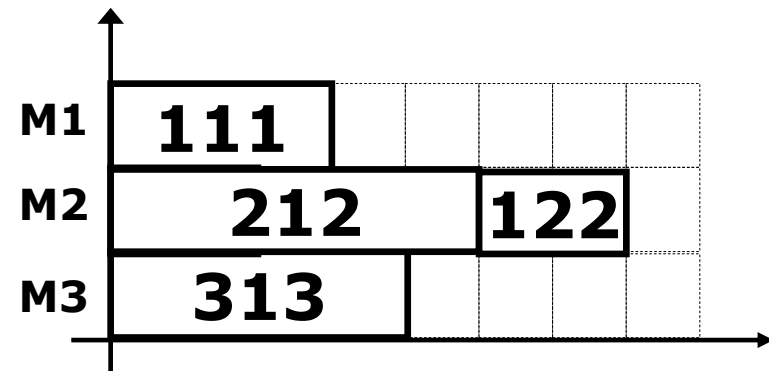
Per ogni operazione (i,j,k) di O_t si calcola il tempo di rilascio r_{ijk} come massimo tra

$C_{ij-1k'}$ *tempo di completamento* dell'ultima operazione $(i,j-1,k')$ schedulata del job i (caso a)

C_k *tempo di completamento* dell'ultima operazione schedulata sulla macchina k (caso b)



Soluzione parziale
Tempo di rilascio operazione 122 - caso a



Soluzione parziale
Tempo di rilascio operazione 122 - caso b

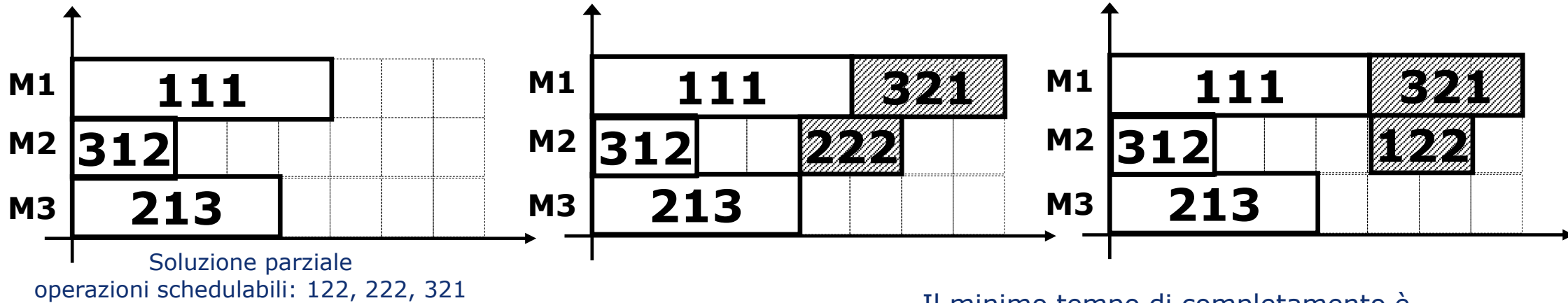
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

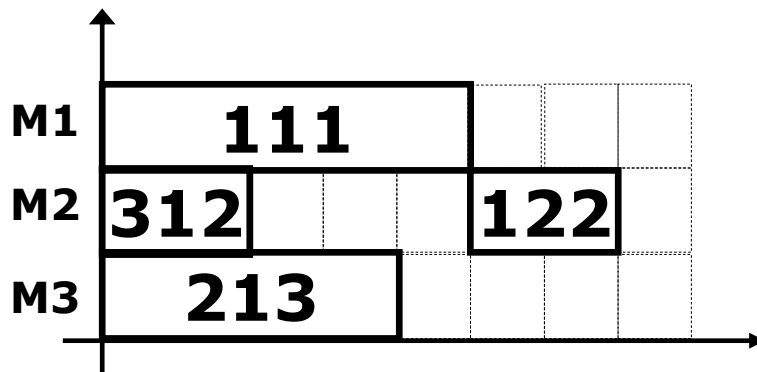
Si calcola il minimo dei tempi di completamento ad ogni operazione di $C(O_t)$

Si individua la macchina k' ad esso relativa;

Si schedula su k' una qualsiasi operazione con $r_{ijk'} < C(O_t)$



Il minimo tempo di completamento è quello relativo all'operazione 222
La macchina k' è quindi la 2



Si schedula una tra le operazioni 122 o 222 che è l'unica che ha tempo di rilascio inferiore al tempo di completamento minimo

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Sintesi della procedura

1. Inizializzazione

Si pone $t=1$, $S_1=\emptyset$; O_1 è costituito dall'insieme delle prime operazioni di ogni job ($O_1=\{(i,1,k): i\in J\}$)

2. Selezione nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale

Si calcola $C(O_t)=\min_{(i,j,k)\in O_t} \{r_{ijk}+p_{ijk}\}$

Si indica con k' la macchina corrispondente a $C(O_t)$ e con $O'_t=\{(i,j,k'): (i,j,k')\in O_t, r_{ijk'}<C(O_t)\}$.

Si schedula al più presto un'operazione $(i',j',k')\in O'_t$ a caso o secondo un criterio prestabilito.

Si pone $S_{t+1}=S_t\cup\{(i',j',k')\}$, $O_{t+1}=O_t-(i',j',k')\cup\{i',j'+1,k'\}$

3. Criterio di arresto

Se la schedulazione è completa ($O_t=\emptyset$), l'algoritmo si arresta; altrimenti si ritorna al passo 2.

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale

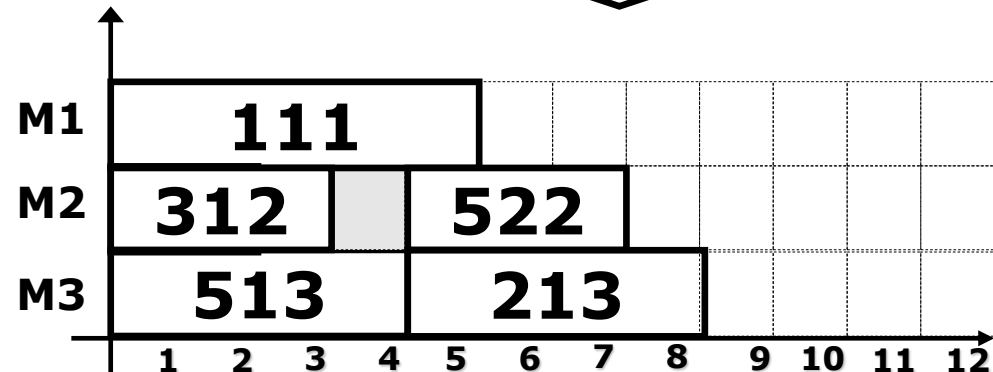
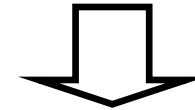
Si considerino le matrici di routing e dei tempi di processamento di un problema $J_m || C_{max}$ con 5 jobs e 3 macchine

Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

Matrice tempi di
processamento

Matrice di routing

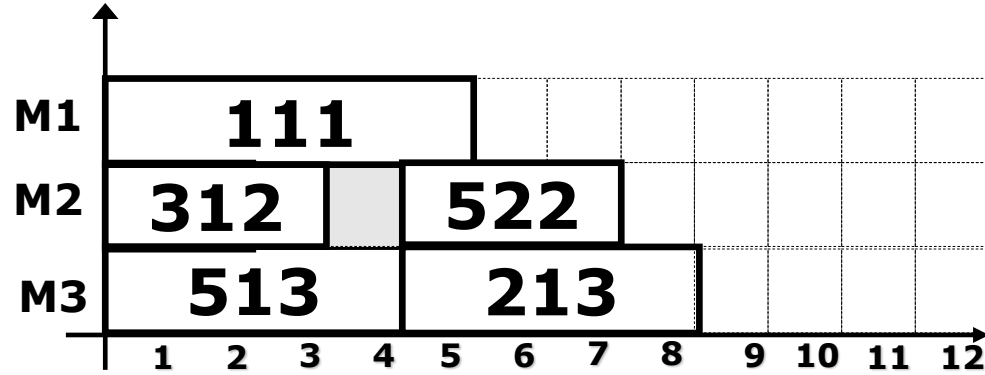
E si supponga di aver già definito la
soluzione parziale riportata



Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

O_t

1 2 3 4 5

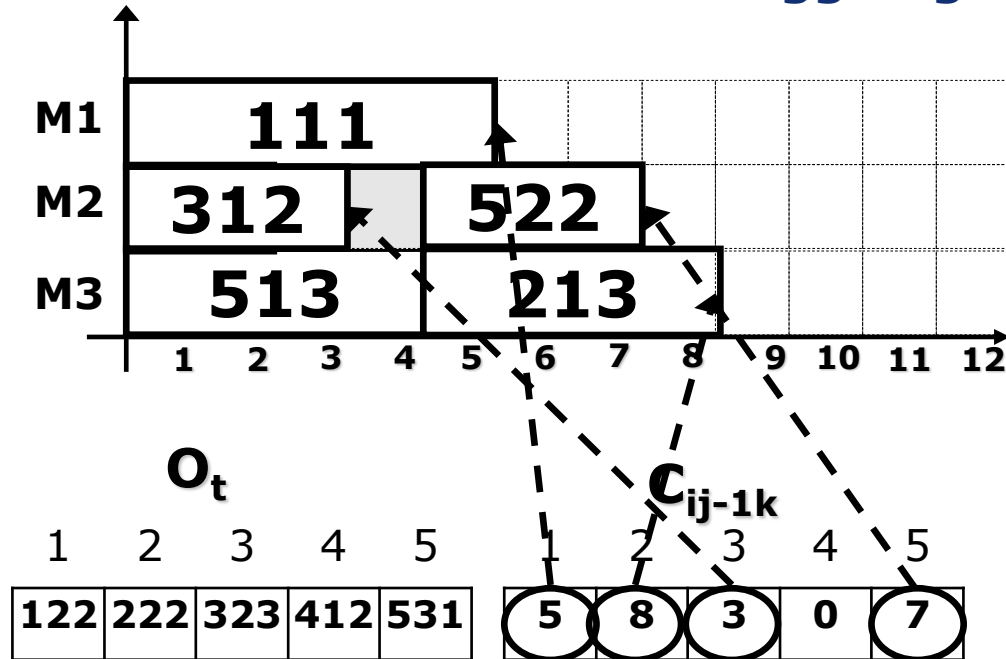
122	222	323	412	531
-----	-----	-----	-----	-----

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



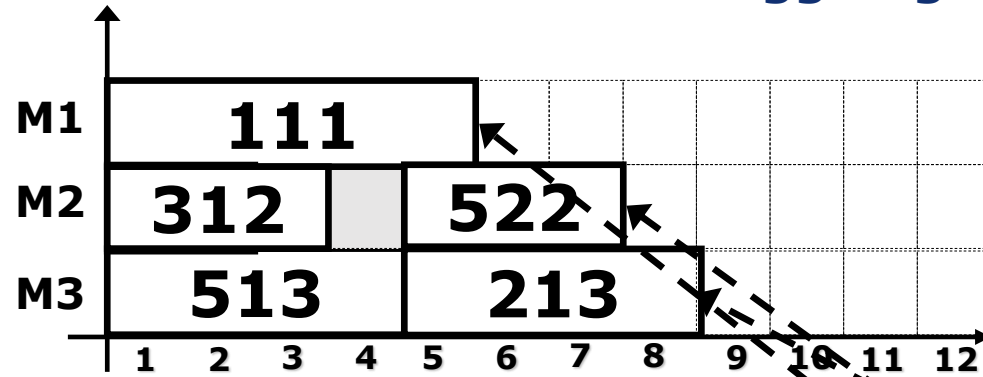
Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

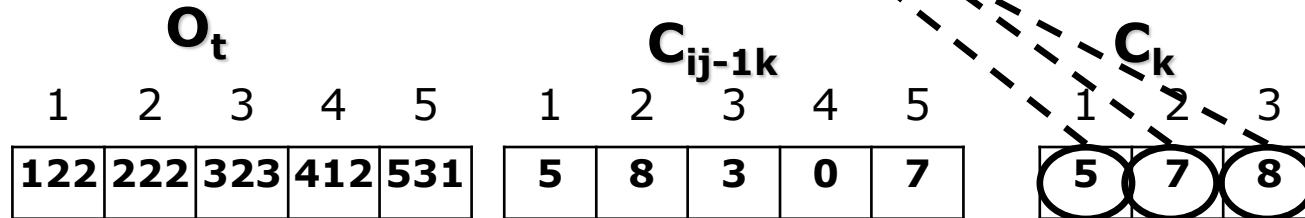
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

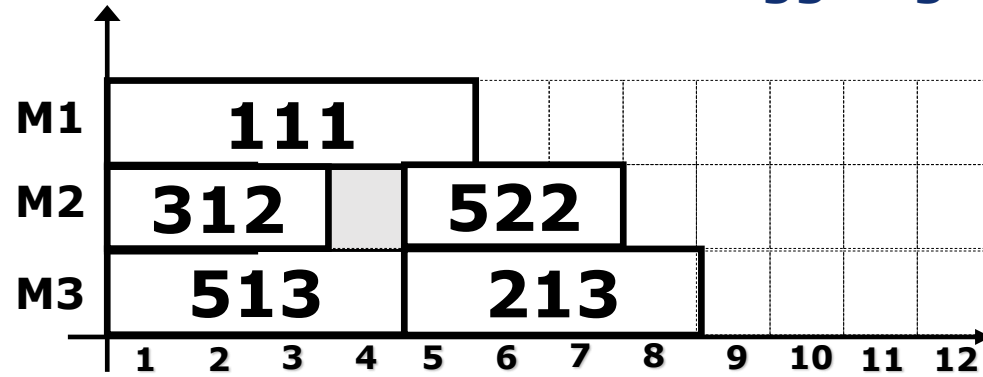


Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

O_t					C_{ij-1k}					C_k			C_{ijk}				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5
122	222	323	412	531	5	8	3	0	7	5	7	8					

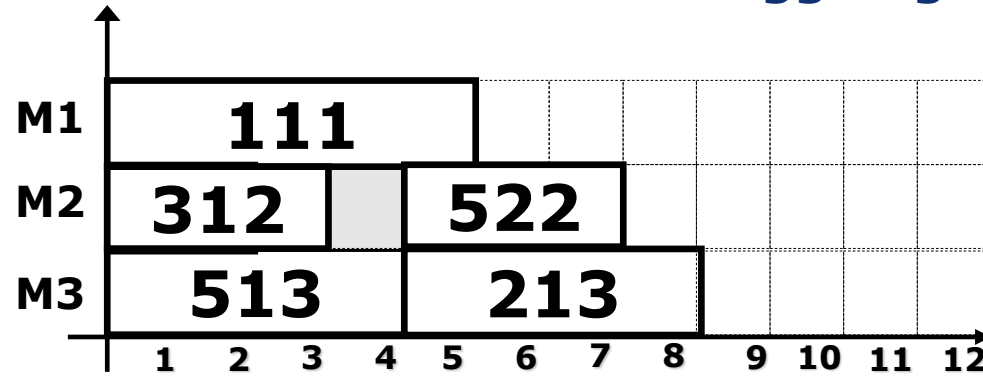
$$C_{122} = r_{122} + p_{122} =$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

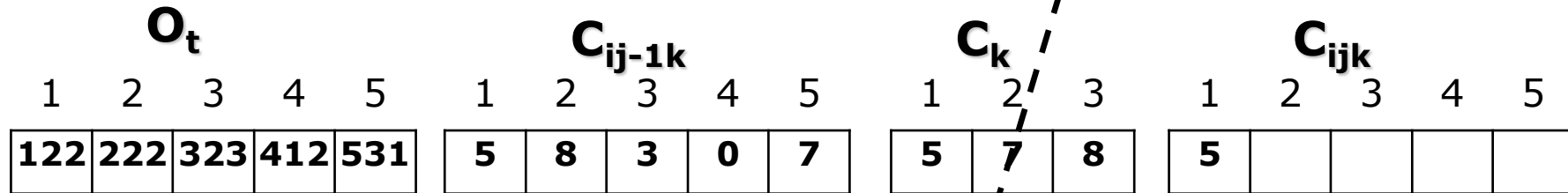
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1



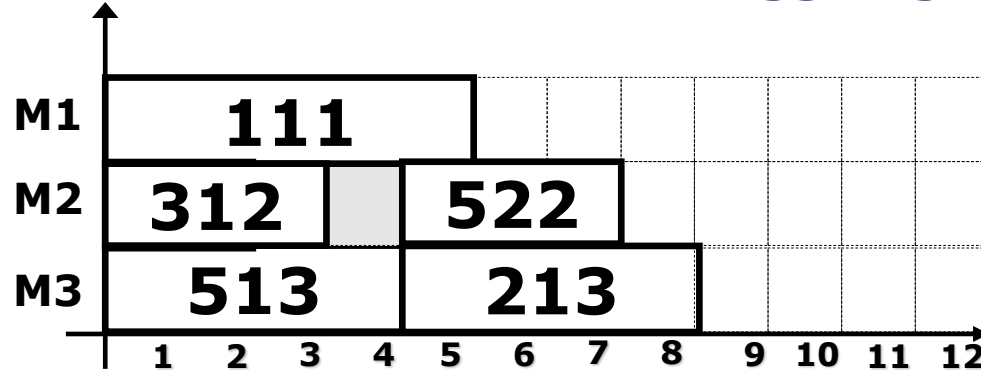
$$C_{122} = r_{122} + p_{122} = \max(C_{111}, C_2) + p_{122} =$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

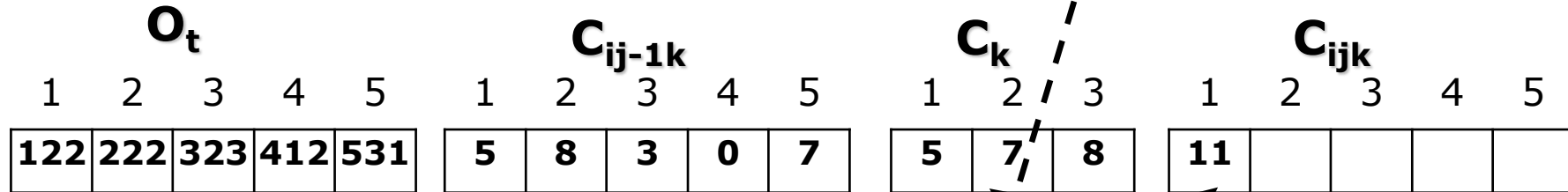
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1



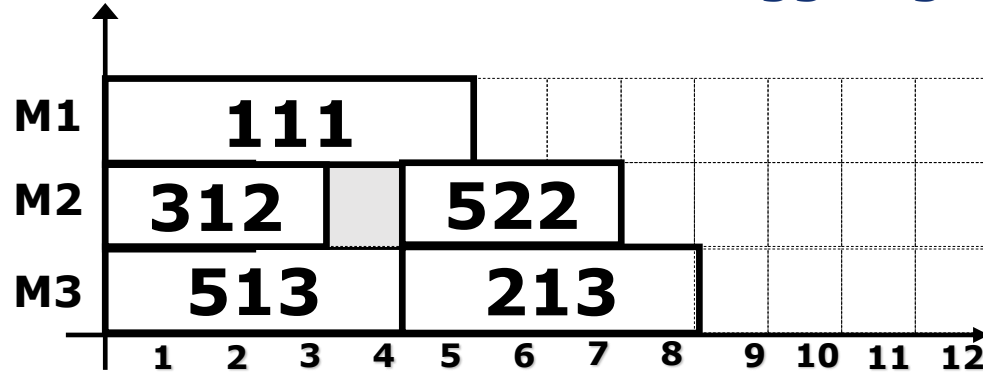
$$C_{122} = r_{122} + p_{122} = \max(C_{111}, C_2) + p_{122} = \max(5, 7) + 4 = 11$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

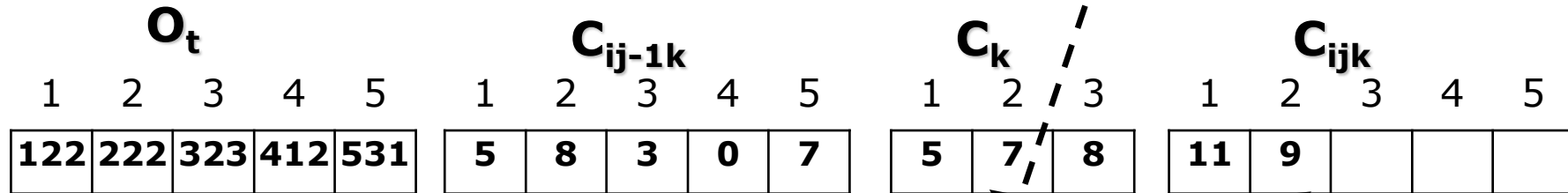
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1



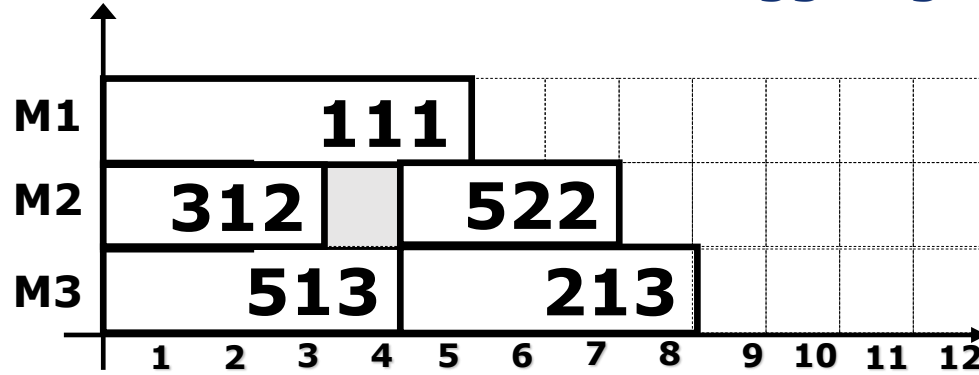
$$C_{222} = r_{222} + p_{222} = \max(C_{213}, C_2) + p_{222} = \max(8, 7) + 1 = 9$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

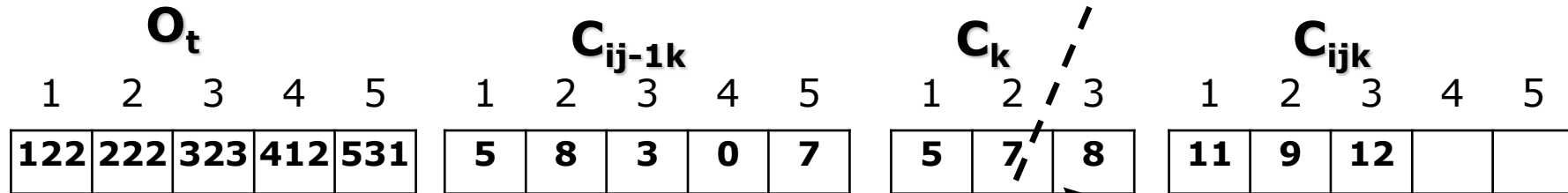
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1



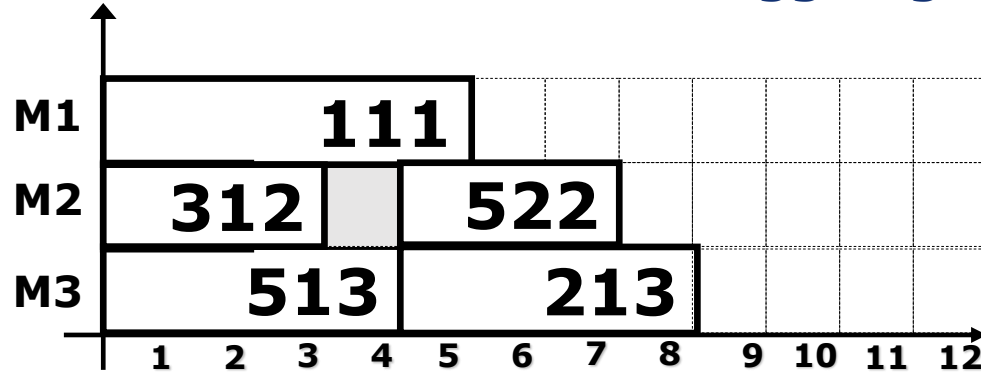
$$C_{323} = r_{323} + p_{323} = \max(C_{312}, C_3) + p_{323} = \max(3, 8) + 4 = 12$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

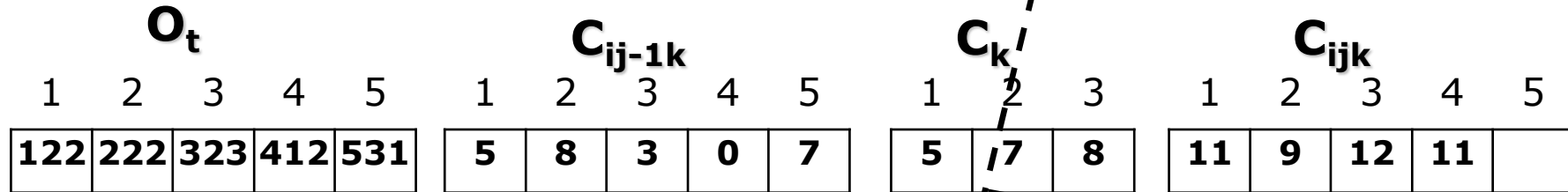
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1



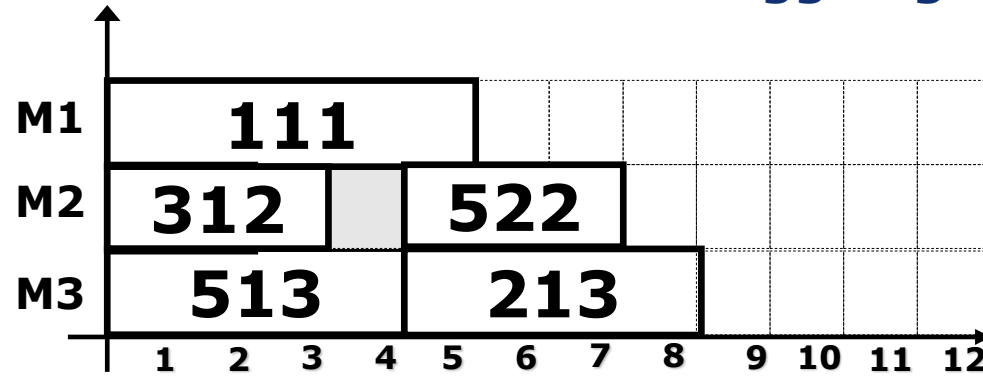
$$C_{412} = r_{412} + p_{412} = \max(-, C_2) + p_{412} = \max(0, 7) + 4 = 11$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

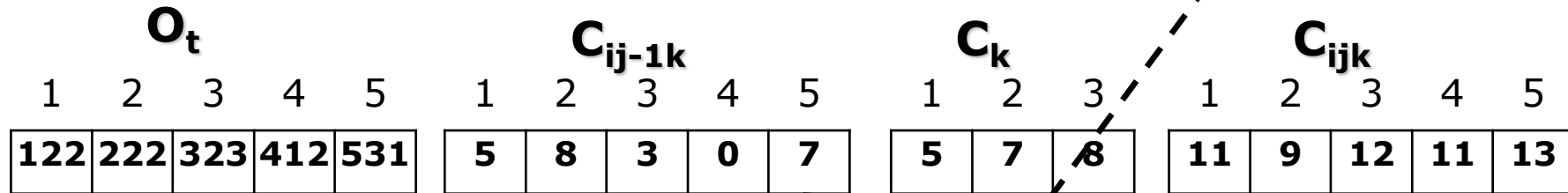
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1



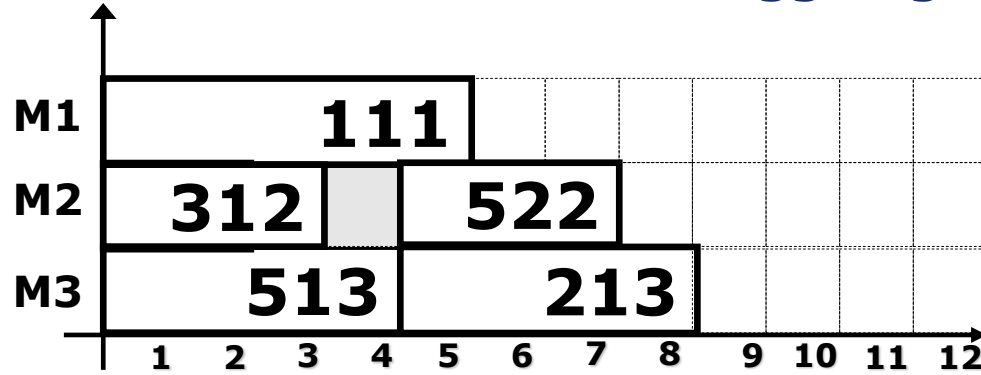
$$C_{531} = r_{531} + p_{531} = \max(C_{522}, C_1) + p_{531} = \max(7, 5) + 6 = 13$$

Calcolo tempi di completamento operazioni schedulabili

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

O_t

1	2	3	4	5
122	222	323	412	531

C_{ijk}

1	2	3	4	5
11	9	12	11	13

$C(O_t) K'$

9	2
---	---

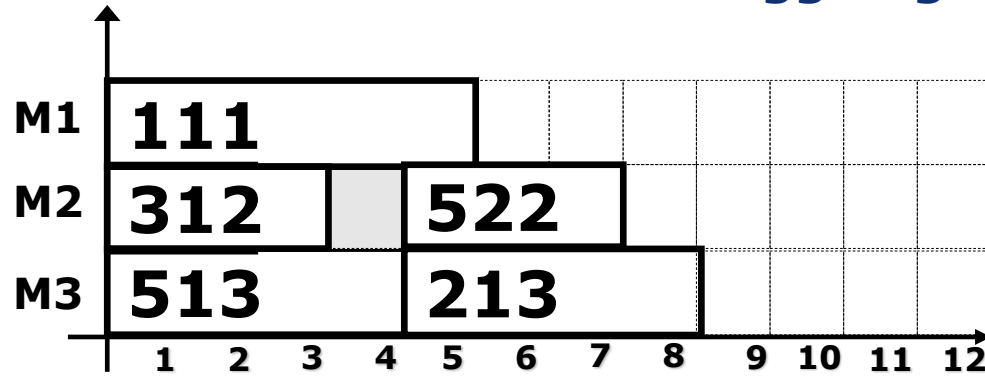
$$C(O_t) = \min_{ijk} C_{ijk} = \min (11, 9, 12, 11, 13) = C_{222} = 9 \Rightarrow K' = 2$$

Calcolo tempo minimo di completamento operazioni schedulabili

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

O_t

1	2	3	4	5
122	222	323	412	531

C_{ijk}

1	2	3	4	5
11	9	12	11	13

$C(O_t) K'$

9	2
---	---

O'_t

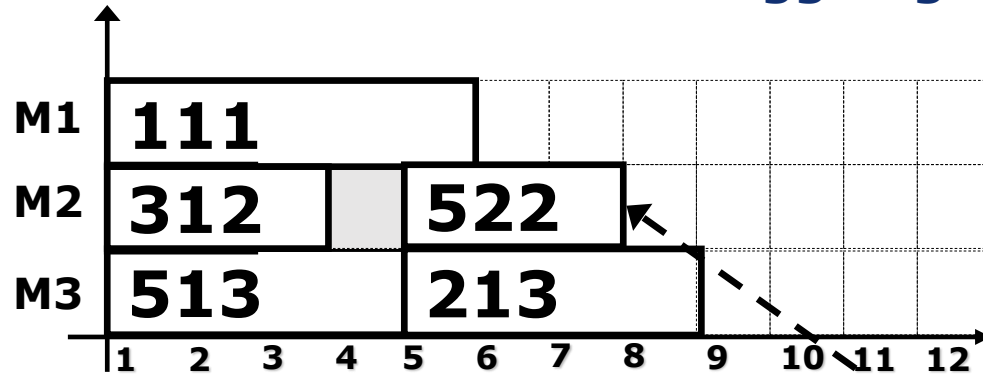
1	2	3
112	222	412

Individuazione operazioni schedulabili da realizzarsi sulla macchina cui è associato il tempo minimo di completamento

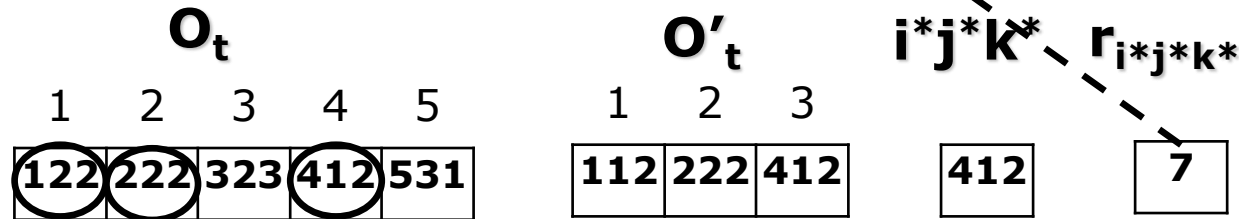
Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Job	1	2	3		1	2	3
1	5	4	2		1	2	3
2	4	1	3		3	2	1
3	3	4	3		2	3	1
4	4	2	1		2	1	3
5	4	3	6		3	2	1

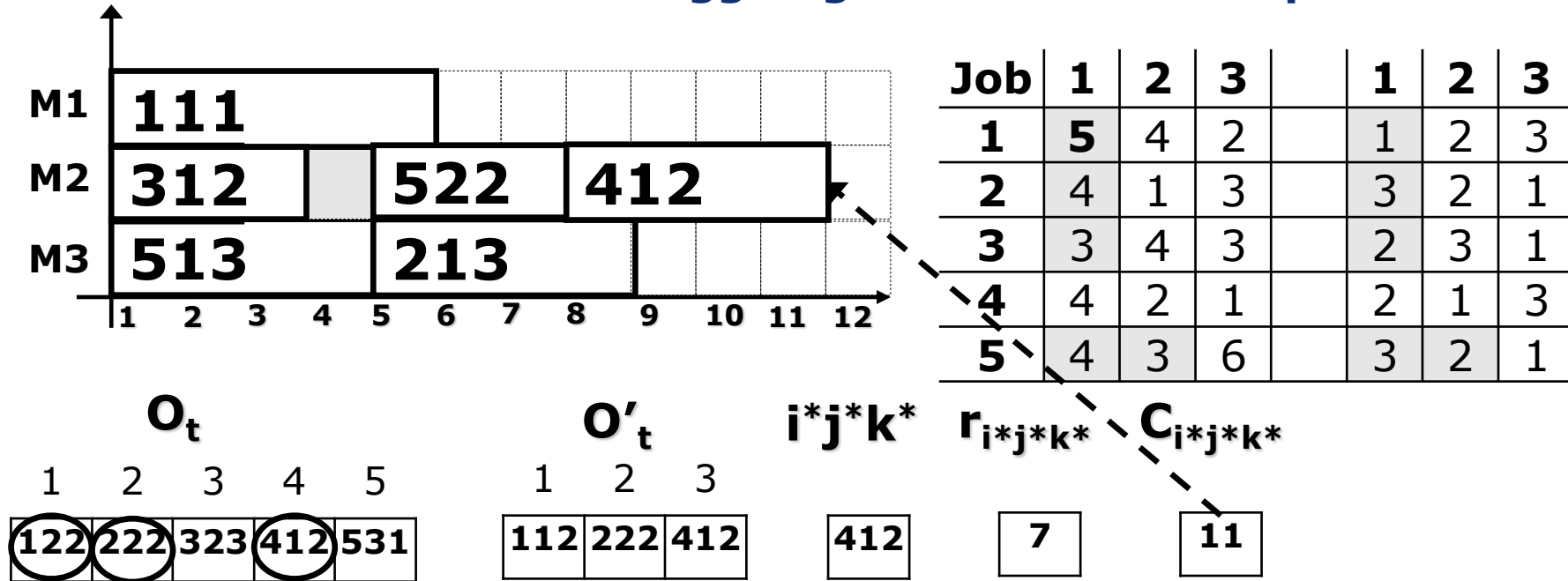


Individuazione e schedulazione operazione che assicura la realizzazione di una soluzione attiva

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni attive

Scelta nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale



Individuazione e schedulazione operazione che assicura la realizzazione di una soluzione attiva

Job Shop

Metodo per la generazione di soluzioni senza ritardo

Una schedulazione senza ritardo, oltre ad essere attiva, non deve lasciare in nessun istante una macchina inattiva nel caso tale macchina possa processare qualche operazione.

La procedura è simile a quella per le soluzioni attive con la differenza che, all'interno di O_t , si seleziona l'operazione con il tempo di rilascio minore e si schedula a partire da esso: in questo modo la macchina non è mai lasciata inattiva.

2. Selezione nuovo elemento da aggiungere alla soluzione parziale

Si calcola $r_{i'j'k'} = \min_{(i,j,k') \in O_t} r_{ijk}$ e si pone $S_{t+1} = S_t \cup \{(i',j',k')\}$ e

$O_{t+1} = O_t - \{(i',j',k')\} \cup \{i',j'+1,k'\}$ e $t=t+1$