Sistemi ad Eventi Discreti

a.a. 2018 - 2019

Prof. Luca Ferrarini

Controllo supervisivo basato su P-Invarianti

↳ controllo che ti dice cosa PUOI fare, ma non cosa DEVI

Controllo basato su P-invarianti

1. Si riformulano le specifiche come vincoli sulla marcatura M_p dei posti che rappresentano il plant, del tipo: $L \cdot M_p \leq b;$
2. Si introducono dei ***posti di controllo***, di marcatura M_c;
3. Si connettono i posti alle transizioni in modo da formare invarianti che soddisfino l'equazione $L \cdot M_p + M_c = b;$
4. Detta $C = \begin{bmatrix} C_P \\ C_C \end{bmatrix}$ si dimostra che occorre porre:

matrice d'incidenza del controllore

$C_c = -L \cdot C_p$ e $M_{c0} = b - L \cdot M_{p0}$;

CONTROLLORE PLANT

5. La RdP risultante rappresenta il controllore del sistema.

L ha come dimensione #vincoli;#posti
mentre b → #vincoli;1

es voglio che un sifone non si svuoti

$S_1 = \{P_1, P_2, P_5\}$

$m_1 + m_2 + m_5 > 0$

$\downarrow$ discreto

$m_1 + m_2 + m_5 \geq 1$

$\downarrow$

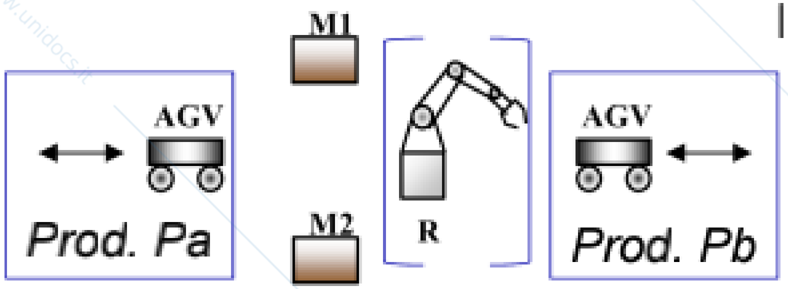
$-m_1 - m_2 - m_5 \leq -1$

Se la rete ha $P_1 \dots P_6$

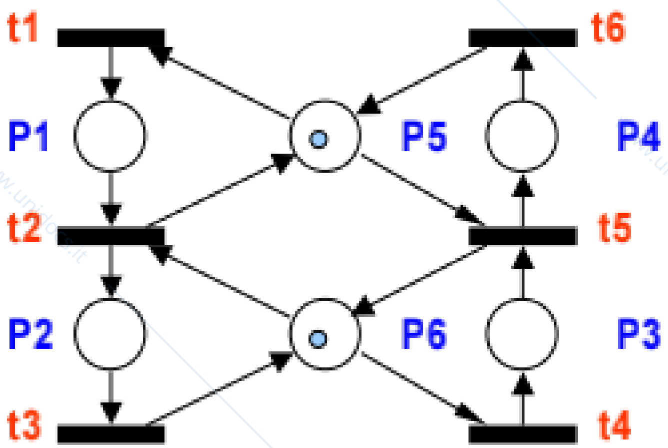
$\underbrace{[-1\ -1\ 0\ 0\ -1\ 0]}_{L} \underbrace{\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \end{bmatrix}}_{M_p} \leq \underbrace{-1}_{b}$

$\uparrow$ marcatura Plant

Esercizio 1 (1)



Il sistema FMS, composto da due macchine e da un sistema di movimentazione, viene impiegato per la produzione di Pa (sequenza di lavorazione M1-M2) e Pb (sequenza M2-M1). Formulare un modello che non rappresenti esplicitamente le operazioni di movimentazione (risorsa R trascurata)



Transizioni

- t1: Impegna M1
- t2: Rilascia M1 e impegna M2
- t3: Rilascia M2
- t4: Impegna M2
- t5: Rilascia M2 e impegna M1
- t6: Rilascia M1

Posti *(sequenze di lavorazione)*

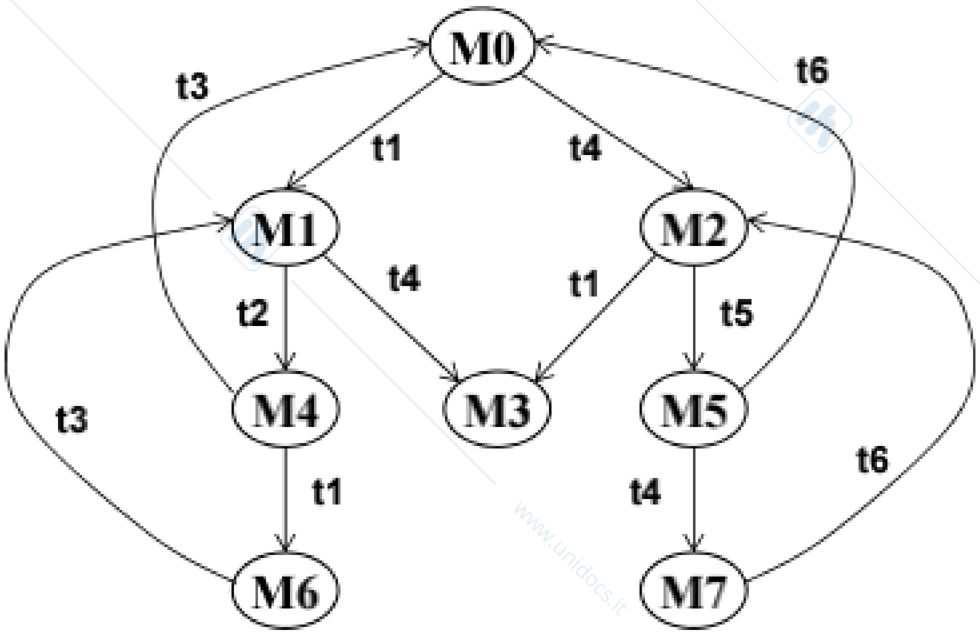
- P1: Prima lavorazione Pa
- P2: Seconda lavorazione Pa
- P3: Prima lavorazione Pb
- P4: Seconda lavorazione Pb

Posti (risorse)

- P5: M1
- P6: M2

Esercizio 1 (2)

Grafo di raggiungibilità



$M0=[\ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ ]'$

$M1=[\ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ ]'$

$M2=[\ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ ]'$

$M3=[\ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ ]'$

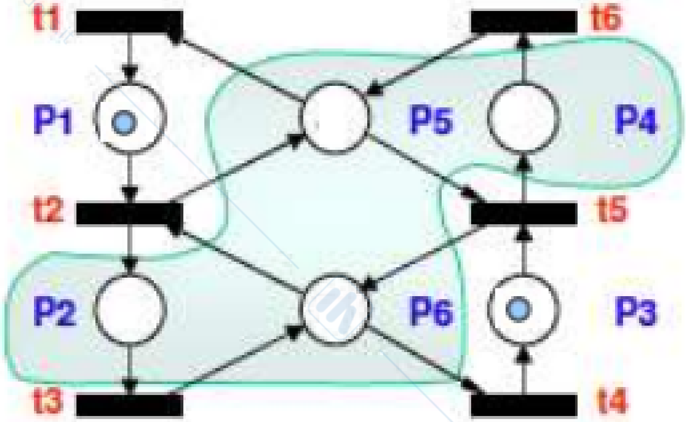
$M4=[\ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ ]'$

$M5=[\ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ ]'$

$M6=[\ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ ]'$

$M7=[\ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ ]'$

Esercizio 1 (3)



S3 = {P2,P4,P5,P6} può svuotarsi!

- Quando S3 si svuota (t1, t4) la rete si blocca (marcatura morta)
- Si evidenzia un comportamento indesiderato del sistema
- Non cambia nulla anche se si aumenta il numero di gettoni delle risorse (macchine con buffer)

COME SI RISOLVE IL PROBLEMA?

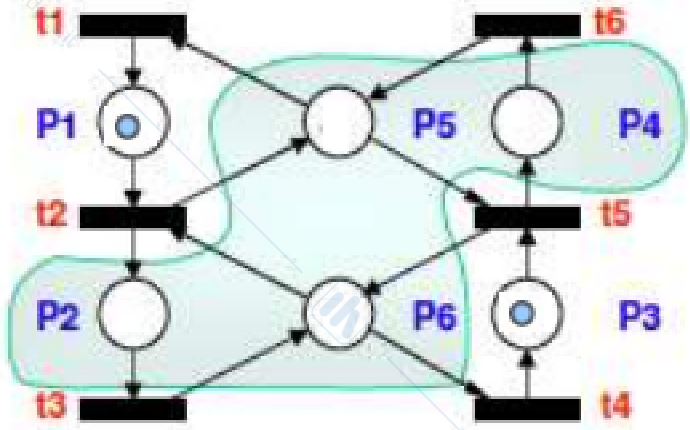
CON IL CONTROLLO CON P-INVARIANTI:

1. Si formula il vincolo per cui il sifone non si svuoti:
   $m_2 + m_4 + m_5 + m_6 \geq 1$
   in forma $L \cdot M_p \leq b$

   Sarebbe $>0 \Rightarrow \geq 1$

   $L = [0\ {-1}\ \ 0\ {-1}\ {-1}\ {-1}] \qquad b = -1$

Esercizio 1 (4)



$C_P =$

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
P1	1	-1	0	0	0	0
P2	0	1	-1	0	0	0
P3	0	0	0	1	-1	0
P4	0	0	0	0	1	-1
P5	-1	1	0	0	-1	1
P6	0	-1	1	-1	1	0

CONTROLLO CON P-INVARIANTI:

1. Si formula il vincolo per cui il sifone non si svuoti:

   $$m_2 + m_4 + m_5 + m_6 \geq 1$$

   in forma $L \cdot M_p \leq b$

   $$L = [0\ -1\ \ 0\ -1\ -1\ -1] \qquad b = -1$$

2. Si calcola $C = \begin{bmatrix} C_P \\ C_C \end{bmatrix}$

   $$C_c = -L \cdot C_p = [-1\ \ 1\ \ 0\ \ -1\ \ 1\ \ 0]$$

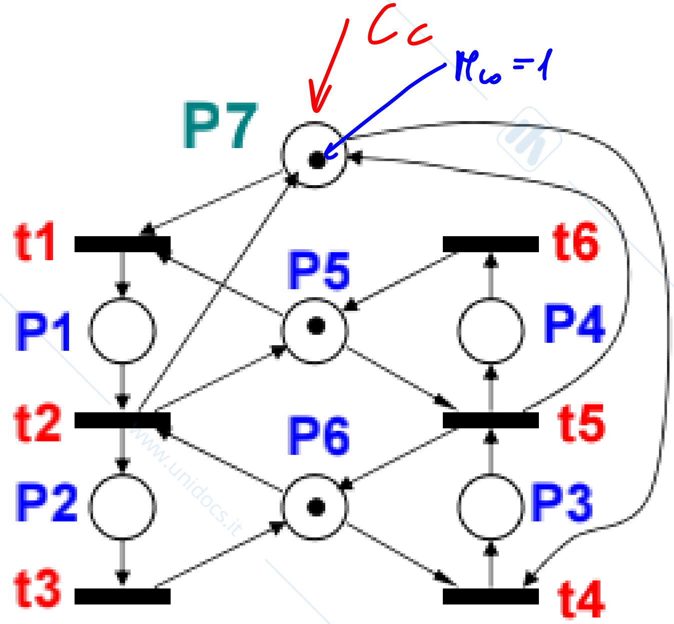
   $$M_{c0} = b - L \cdot M_{p0} = -1 - (-2) = 1$$

Esercizio 1 (5)

3. La RdP risultante rappresenta il controllore del sistema:

$C =$

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
P1	1	-1	0	0	0	0
P2	0	1	-1	0	0	0
P3	0	0	0	1	-1	0
P4	0	0	0	0	1	-1
P5	-1	1	0	0	-1	1
P6	0	-1	1	-1	1	0
P7	-1	1	0	-1	1	0

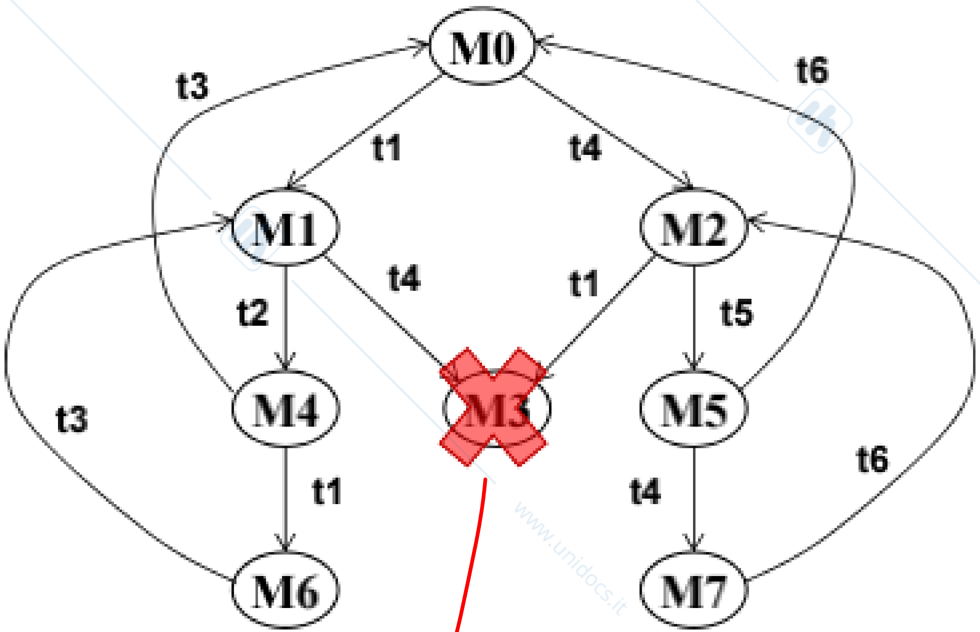


si fa il prodotto a e poi il prodotto b

↳ si evita quindi una deadlock → sifone si svuota

Esercizio 1 (6)

Nuovo grafo di raggiungibilità



$M0 = [\ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ ]'$

$M1 = [\ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ ]'$

$M2 = [\ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ ]'$

$M3 = [\ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ ]'$

$M4 = [\ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ ]'$

$M5 = [\ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ ]'$

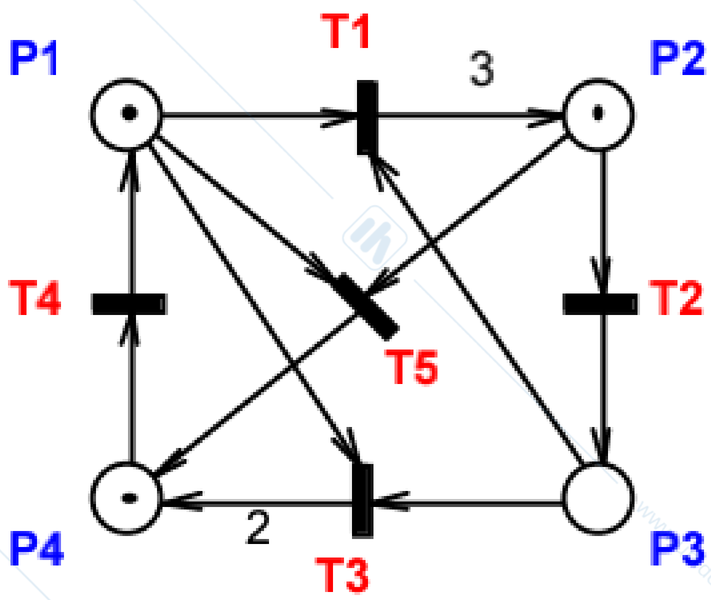
$M6 = [\ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ ]'$

$M7 = [\ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ ]'$

Se una marcatura non rispetta il vincolo stabilito

$m_2 + m_4 + m_5 + m_6 \geq 1 \rightarrow M_3:\ \underset{m_2}{1} + \underset{m_4}{1} + \underset{m_5}{0} + \underset{m_6}{0} = 2 \rightarrow$ non rispetta il vincolo

Esercizio 2 (1)



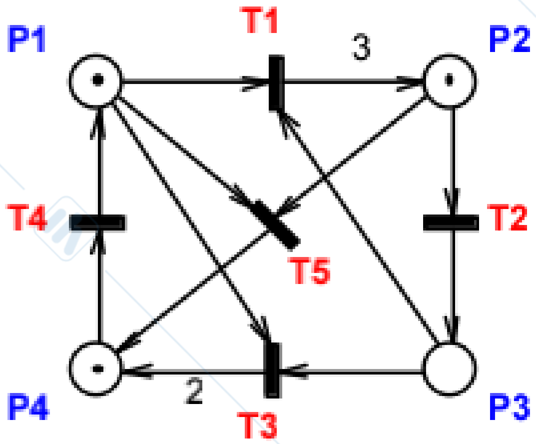
- **Mostrare che gli insiemi S1 = {P1, P4} e S2 = {P2, P3} sono sifoni:**

•S1 = {T3, T4, T5} ⊂ {T1, T3, T4, T5} = S1•

•S2 = {T1, T2} ⊂ {T1, T2, T3, T5} = S2•

Esercizio 2 (2)

- Calcolare il controllore supervisivo che impedisce lo smarcamento contemporaneo di entrambi i sifoni:



Vincoli:

$m_1 + m_4 \geq 1$

$m_2 + m_3 \geq 1$

in forma $L \cdot M_p \leq b$:

$C_p =$

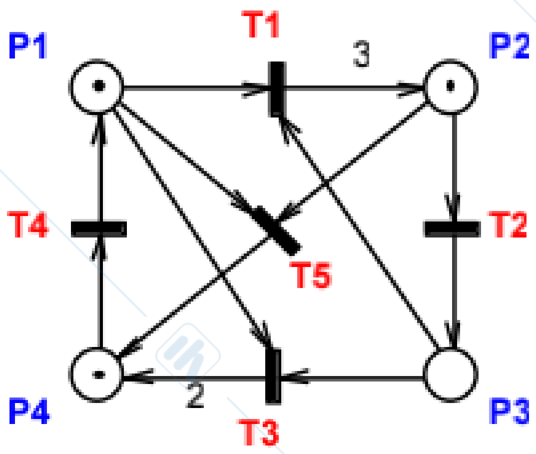
	T1	T2	T3	T4	T5
P1	-1	0	-1	1	-1
P2	3	-1	0	0	-1
P3	-1	1	-1	0	0
P4	0	0	2	-1	1

$$M_{P0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Esercizio 2 (3)



$$L = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$C_C = -L \cdot C_P = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$C_P =$

	T1	T2	T3	T4	T5
P1	-1	0	-1	1	-1
P2	3	-1	0	0	-1
P3	-1	1	-1	0	0
P4	0	0	2	-1	1

$$M_{P0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

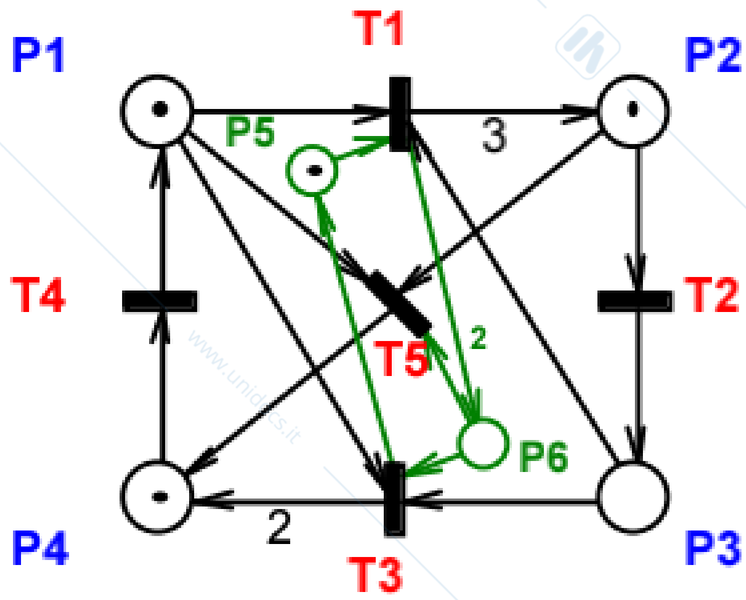
$$M_{C0} = b - L \cdot M_{P0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Esercizio 2 (4)

La RdP risultante rappresenta il controllore del sistema:

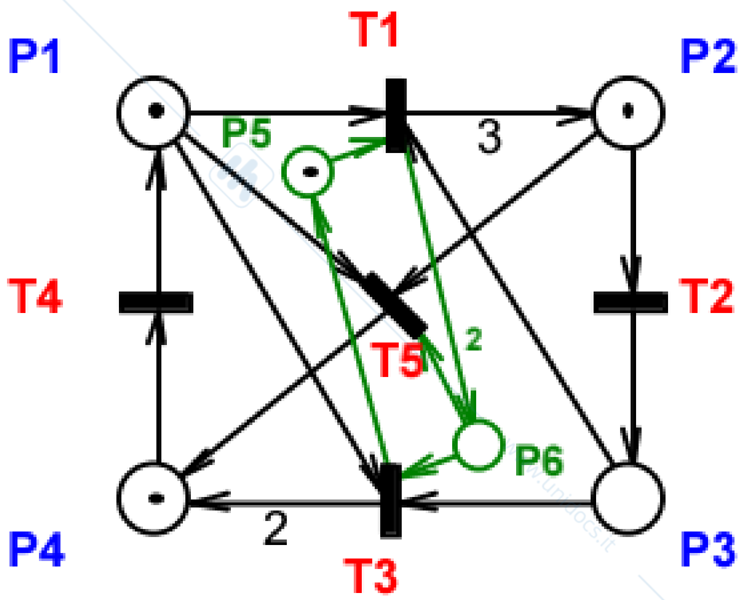
$$C = \begin{bmatrix} C_P \\ C_C \end{bmatrix} =$$

	T1	T2	T3	T4	T5
P1	-1	0	-1	1	-1
P2	3	-1	0	0	-1
P3	-1	1	-1	0	0
P4	0	0	2	-1	1
P5	-1	0	1	0	0
P6	2	0	-1	0	-1



Esercizio 2 (5)

- Verificare che i posti di controllo così introdotti costituiscono a loro volta un sifone:

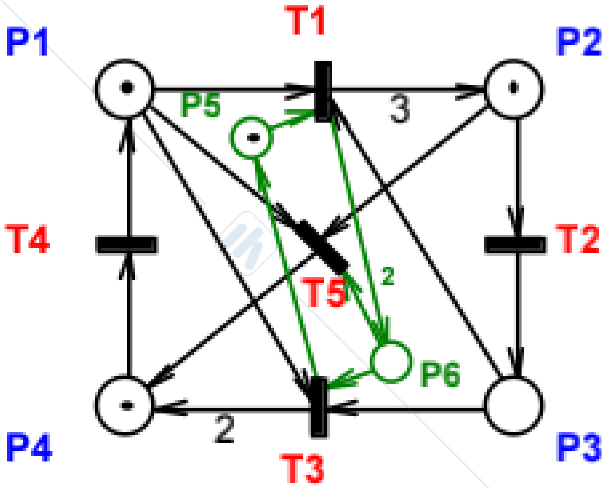


S3 = {P5, P6}

•S3 = {T1, T3} ⊂ {T1, T3, T5} = S3•

Esercizio 2 (6)

- **Modificare la rete in modo tale che non sia possibile svuotare del tutto neanche il 3° sifone:**



Il vincolo per evitare lo svuotamento del sifone S3 è dato da:

$L_2 = [0\ 0\ 0\ 0\ \text{-}1\ \text{-}1]$
$b_2 = -1$

$C_{c2} = -L_2 \cdot C_p = [1\ 0\ 0\ 0\ \text{-}1]$

$M_{0c2} = b - L_2 \cdot M_{P0} = 0$

$C_p =$

	T1	T2	T3	T4	T5
P1	-1	0	-1	1	-1
P2	3	-1	0	0	-1
P3	-1	1	-1	0	0
P4	0	0	2	-1	1
P5	-1	0	1	0	0
P6	2	0	-1	0	-1

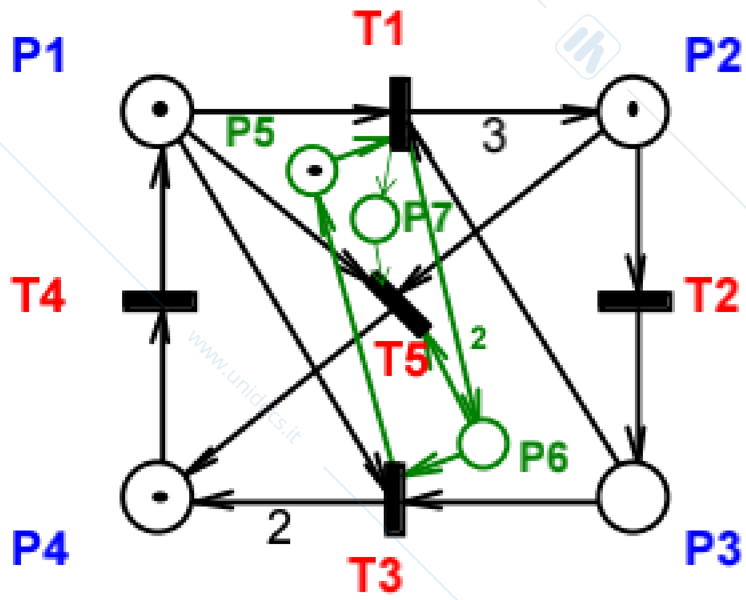
$$M_{P0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Esercizio 2 (7)

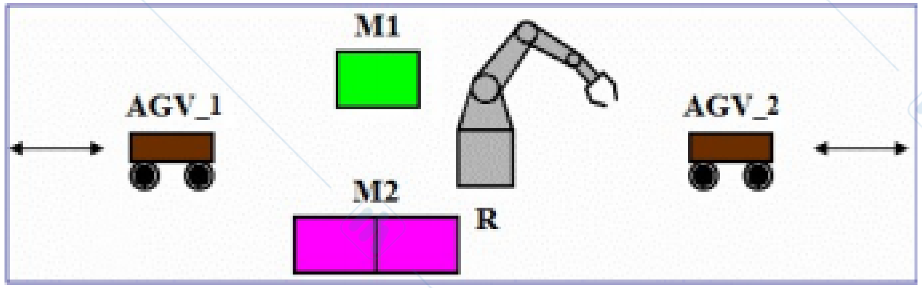
La RdP risultante rappresenta il controllore del sistema:

$$C = \begin{bmatrix} C_P \\ C_{C2} \end{bmatrix} =$$

	T1	T2	T3	T4	T5
P1	-1	0	-1	1	-1
P2	3	-1	0	0	-1
P3	-1	1	-1	0	0
P4	0	0	2	-1	1
P5	-1	0	1	0	0
P6	2	0	-1	0	-1
P7	1	0	0	0	-1



Esercizio 3 (1)



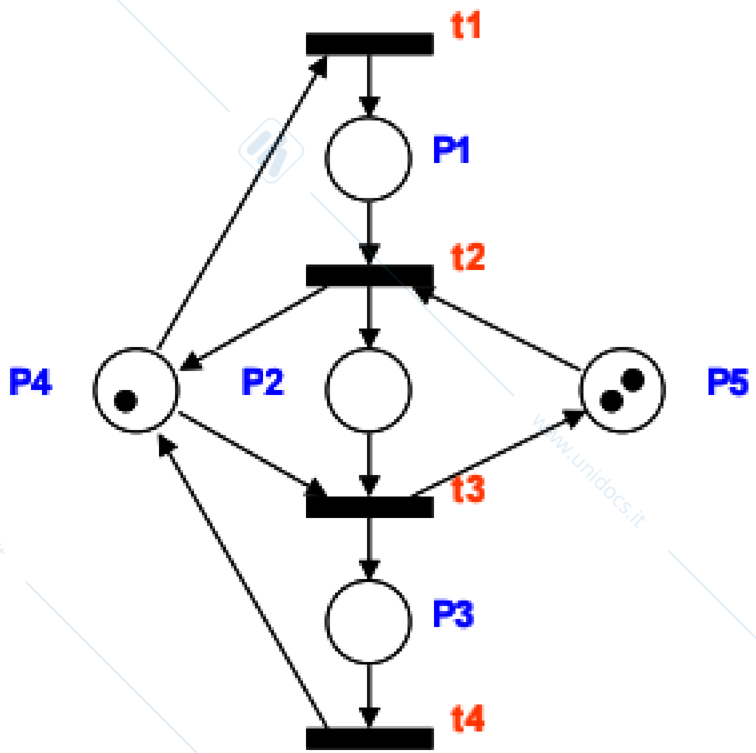
L'impianto in figura è costituito da due navette, un robot e due macchine M1 ed M2, di cui la seconda dotata di due postazioni di lavoro.
Si desidera realizzare la seguente ricetta di lavorazione:

1. prelevamento pezzo grezzo da AGV_1;
2. prima lavorazione pezzo con M1;
3. lavorazione pezzo con M2;
4. seconda lavorazione pezzo con M1;
5. deposito pezzo lavorato su AGV_2;

Formulare un modello che non rappresenti esplicitamente le operazioni di movimentazione.

Esercizio 3 (2)

- **Modellare il sistema mediante RdP:**

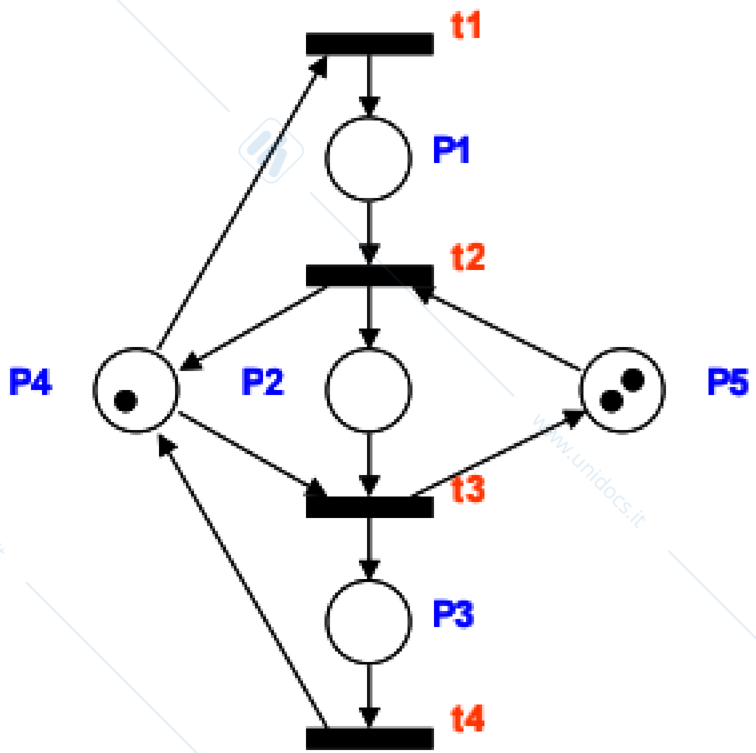


Transizioni
t1: inizio lav. M1
t2: fine lav. M1 & inizio lav. M2
t3: fine lav.M2 & inizio seconda lav. M1
t4: fine lav. M1

Posti
P1: lav. M1 in corso
P2: lav. M2 in corso
P3: seconda lav. M1 in corso
P4: M1 disponibile
P5: M2 disponibile

Esercizio 3 (3)

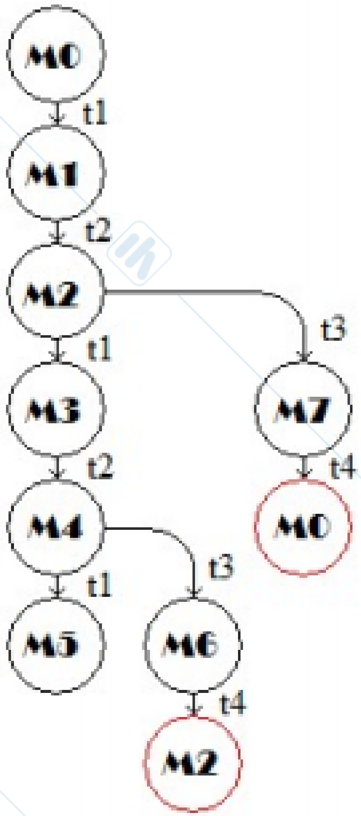
- Calcolare la matrice di incidenza della rete:



$$C=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Esercizio 3 (4)

- Calcolare il grafo di raggiungibilità della rete:



	p1	p2	p3	p4	p5
M0				1	2
M1	1				2
M2		1		1	1
M3	1	1			1
M4		2		1	
M5	1	2			
M6		1	1		1
M7			1		2

Esercizio 3 (5)

- **Determinare il sifone che si svuota in corrispondenza della marcatura morta e impedire che si svuoti applicando il metodo del controllo supervisivo:**

S = {P3,P4,P5}

1. Si formula il vincolo per cui il sifone non si svuoti:

   $$m_3 + m_4 + m_5 \geq 1$$

   in forma $L \cdot M_p \leq b$

   $$L = [0 \quad 0 \; -1 \; -1 \; -1] \qquad b = -1$$

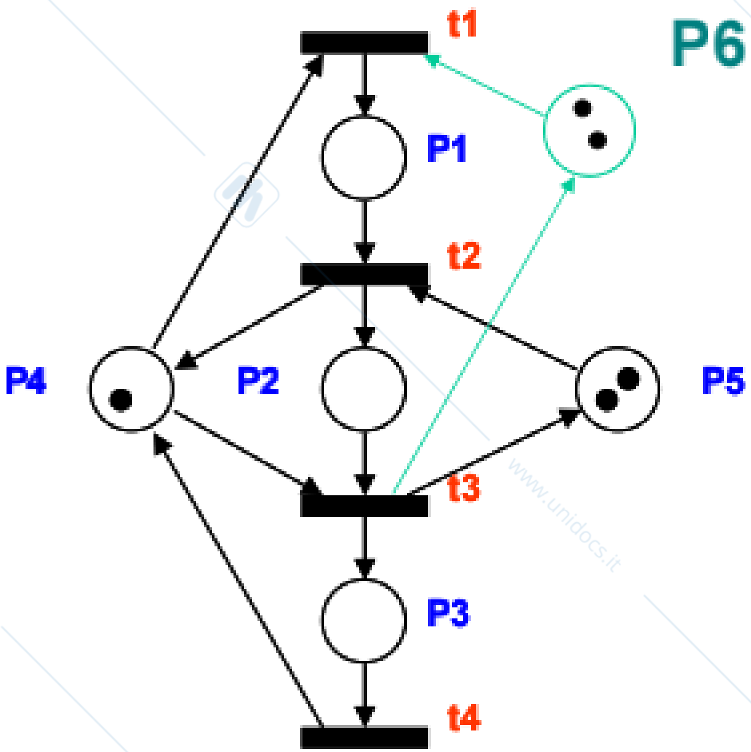
2. Si calcola

   $$C_c = -L \cdot C_p = [-1 \quad 0 \quad 1 \quad 0]$$

   $$M_{c0} = b - L \cdot M_{p0} = -1 - (-3) = 2$$

Esercizio 3 (6)

- Disegnare il controllo sintetizzato:



Esercizio 3 (7)

- Proporre una modifica che permetta di eliminare la deadlock in alternativa al controllo basato su P-invarianti: