

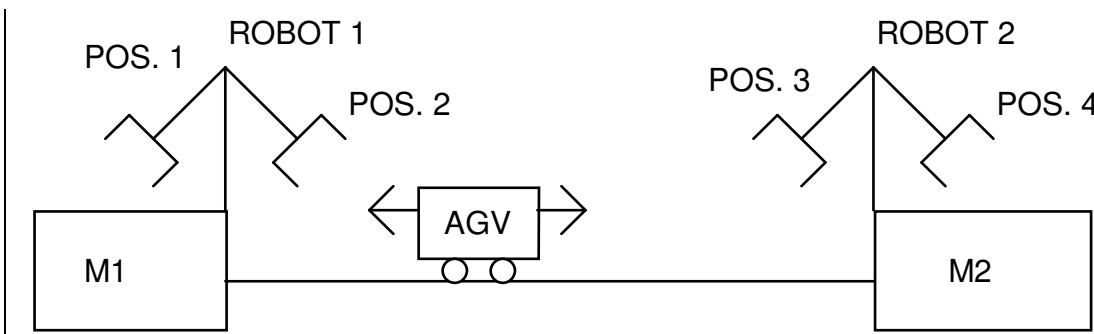
## PARTE II

### Reti di Petri TEMPORIZZATE

(La parte teorica necessaria a svolgere questi esercizi fa riferimento alle lezioni n° 2 , n° 3 , n° 4 e n° 5 (escluso il concetto di archi inibitori) del corso di Automazione Industriale tenuto per il consorzio Nettuno)

#### Problema 2.1

Sia dato il sistema in figura.



Il robot 1, se in posizione 1, effettua il grasp di un pezzo dal magazzino M1, supposto illimitato, si porta nella posizione 2 e deposita il pezzo sull'AGV, se quest'ultimo è presente, quindi torna in Posizione 1, per prendere un altro pezzo dal magazzino M1.

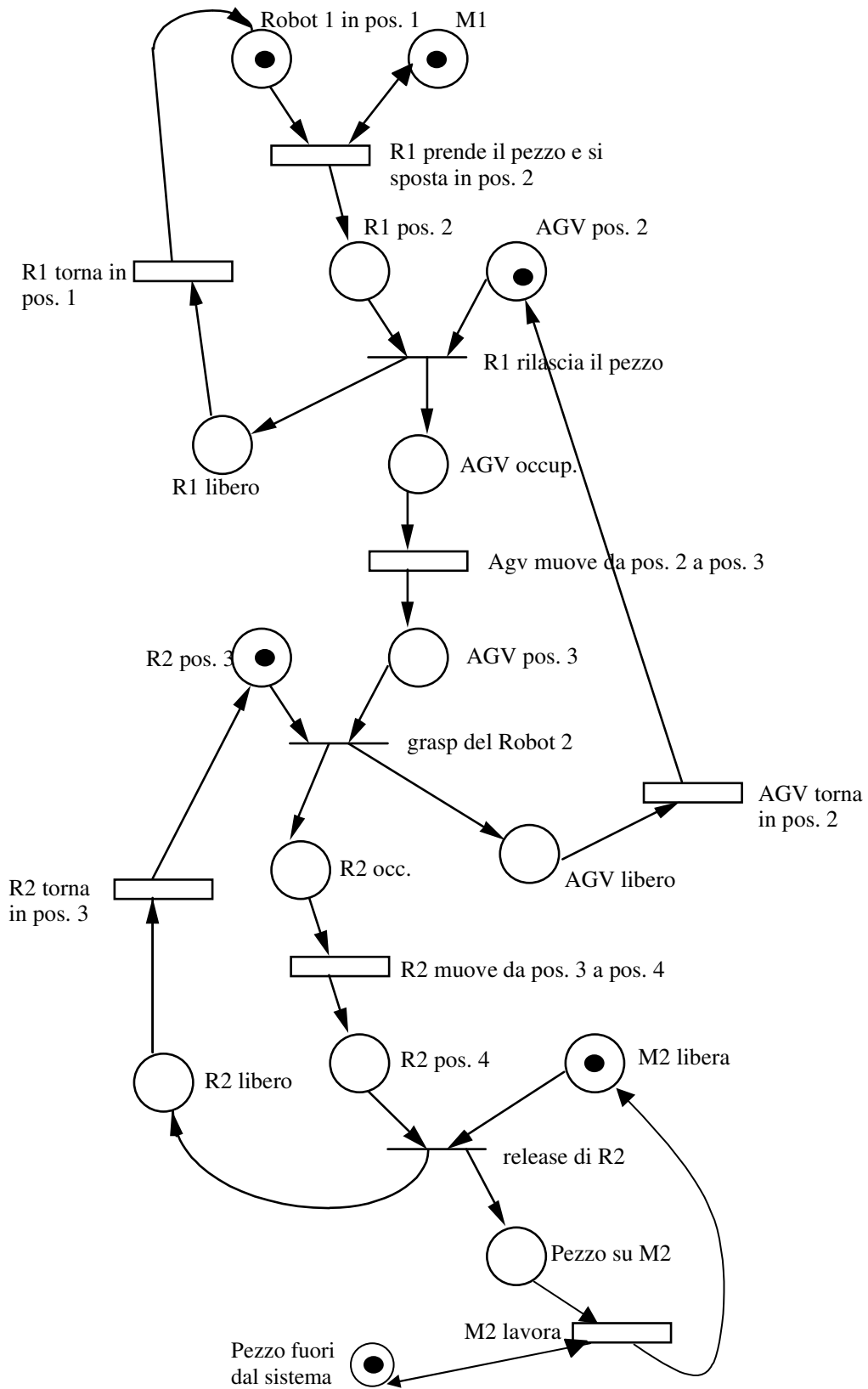
Una volta carico, l'AGV si sposta dalla posizione 2 alla posizione 3. Quindi il robot 2, se in posizione 3, preleva il pezzo presente sull'AGV, si porta in posizione 4 e lo deposita sulla macchina M2 se questa è libera, quindi torna in Posizione 3.

Quando il Robot 2 effettua il grasp del pezzo sull'AGV, quest'ultimo torna nella posizione 2 in attesa di un nuovo pezzo da M1. In seguito alla lavorazione in M2, il pezzo esce dal sistema e M2 torna libera per accogliere un nuovo pezzo.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

Si trascuri il tempo occorrente per le operazioni di grasp e release per i robots, supponendo questi sempre in grado di afferrare o rilasciare un pezzo. Si curino con particolare attenzione gli spostamenti dei robots e dell'AGV presentando questi il prima possibile ai propri appuntamenti.

Soluzione 2.1



### Problema 2.2

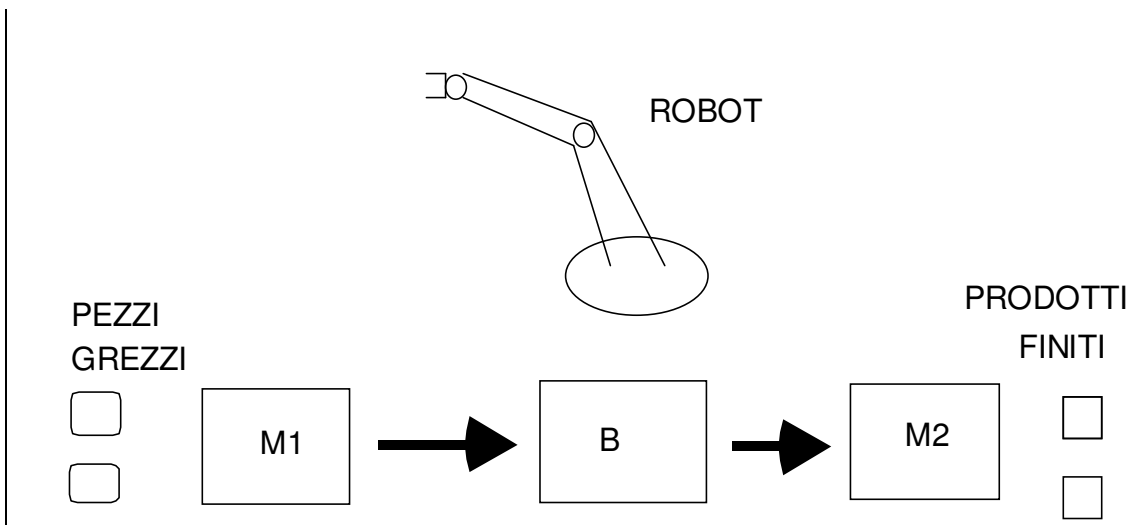
Un semplice sistema di produzione é costituito un magazzino di grezzi in ingresso con un sol posto, che viene continuamente alimentato, con un certo tempo di caricamento, da due macchine M1 e M2, un robot R e un buffer intermedio B situato fra le due macchine e un magazzino di finiti in uscita con un sol posto, che viene continuamente scaricato, con un certo tempo di svuotamento.

Ogni pezzo che entra nel sistema è fissato su un pallet e caricato sulla macchina M1. Alla fine della prima lavorazione, il robot effettua il grasp del semilavorato e lo trasporta da M1 al buffer intermedio limitato.

Da qui i semilavorati sono caricati su M2 e processati.

Una volta terminata la lavorazione su M2 il robot provvede a scaricare i pezzi finiti, a smontarli dai pallet, e a trasportare i pallet in ingresso.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.



## Soluzione 2.2

Attività:

- 1) operazione di macchina (fissaggio del pezzo sul pallet, carico e processamento);
- 2) immagazzinamento di un semilavorato nel buffer;
- 3) operazione di robot (scarico di un pezzo da una macchina).

Ordine delle attività:

- M1 fissa un pezzo grezzo sul pallet lo carica e lo processa (M1P);
- R scarica un semilavorato da M1 e lo trasporta in B (RU1);
- B immagazzinamento di un semilavorato (BS);
- M2 carica e processa un semilavorato (M2P);
- R scarica da M2 un prodotto finito, lo smonta dal pallet e trasporta il pallet in M1 (RU2) (ATTENZIONE UTILIZZO NON OTTIMALE DI M2)

PA: numero di pallet disponibili;

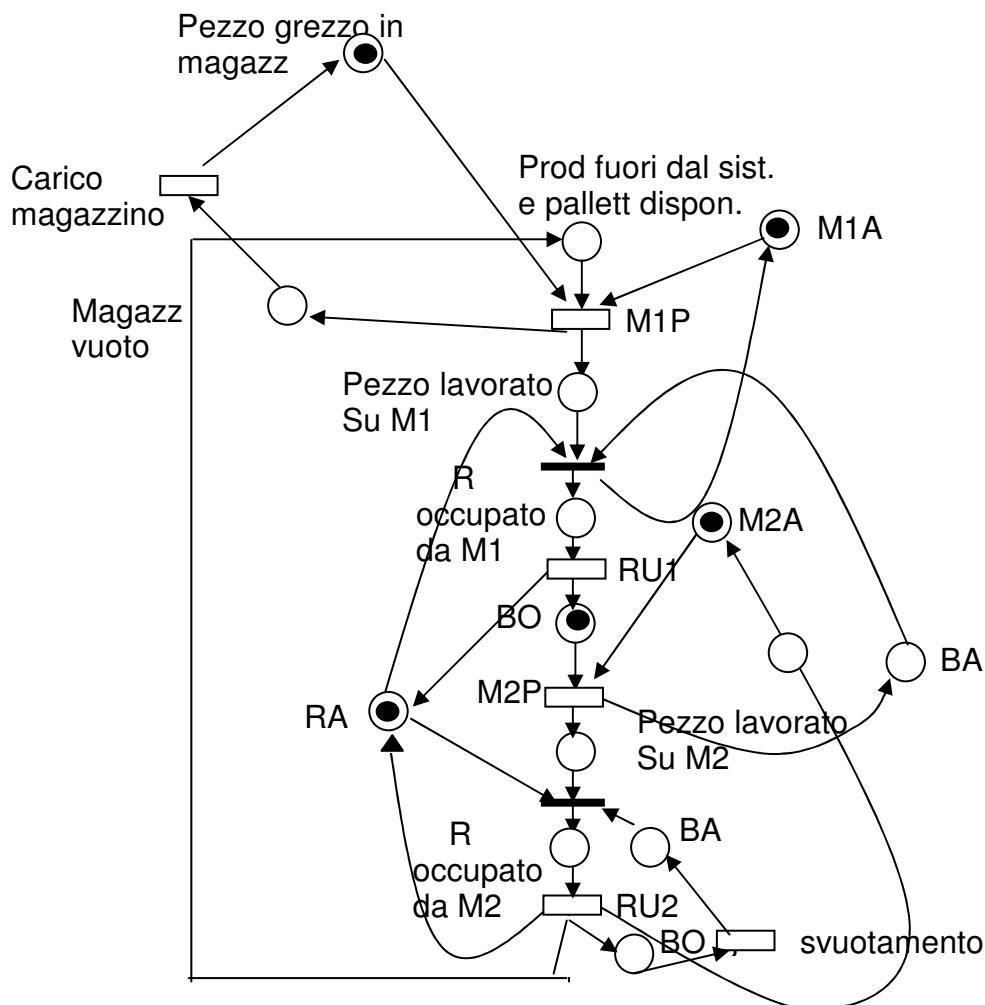
M1A: macchina 1 disponibile;

M2A: macchina 2 disponibile;

RA: robot disponibile;

BA: numero di posti disponibili nel buffer.

BO: numero di posti occupati nel buffer.



Se si traccia il diagramma di Gantt dei posti “Pezzo grezzo in magazzino”, “Pezzo lavorato su M1”, “R occupato da M1”, “BO”, “Pezzo lavorato su M2”, “R occupato da M2”, “Prod. Smontato da M2”, contando i tempi dalla fine della presenza di marca nel primo dei posti elencati fino alla fine della presenza di marca dell’ultimo, senza sovrapporre tempi di presenza di marca nei posti intermedi, si ottiene il tempo di attraversamento del sistema (ossia quanto tempo un pezzo rimane nel sistema)

Il sistema è periodico; il tempo di ciclo, o periodo, rappresenta quanti pezzi vengono prodotti nel sistema nell’unità di tempo. Questo si ottiene dalla differenza tra i tempi consecutivi di inizio o fine di marcatura in un qualsiasi posto del sistema. Per esempio tra due istanti consecutivi di fine della marcatura del posto “Pezzo grezzo in magazzino”.

Nel caso considerato, in cui la marcatura iniziale corrisponda a un work in process (WIP) pari a 1, tempo di attraversamento è uguale al periodo. Ovviamente in generale vale la legge di Little per la quale il tempo di attraversamento è pari al periodo per il WIP.

Può essere utile verificare la legge di Little considerando una marcatura iniziale con una marca anche in “Prod fuori dal sist.e pallett dispon”, che porta a un WIP pari a 2.

### **Problema 2.3**

#### **Produzione di un solo tipo di prodotto attraverso processi alternativi**

Il sistema di produzione automatico rappresentato in figura é costituito da due robot R1, R2, da tre macchine M1, M2, M3, da un magazzino d'ingresso BI e da un magazzino d'uscita BO.

Il sistema produce un solo tipo di prodotto che richiede due operazioni in sequenza: la prima operazione é sempre effettuata dalla macchina M1, mentre la seconda può essere effettuata indifferentemente o su M2 o su M3.

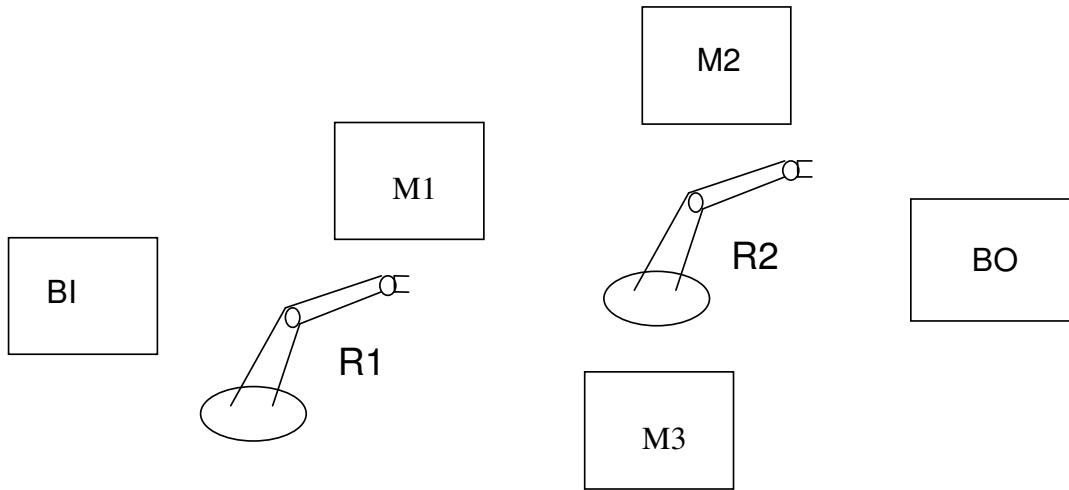
I pezzi grezzi, sempre disponibili nel magazzino in ingresso BI, vengono prelevati da R1 e trasferiti su M1 per la prima operazione. Quando M1 termina la lavorazione, R2 effettua il grasp del prodotto intermedio, lo rilascia su M2 o su M3, e poi, al termine della seconda operazione, trasporta il prodotto finito nel magazzino finale BO, supposto di capacità illimitata.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

Si presti particolare attenzione alla soluzione del conflitto dovuto all’acquisizione del pezzo prodotto da M1, tra la macchina M2 e la macchina M3, con opportuna marcatura iniziale che tiene conto della impossibilità pratica di simultanea disponibilità delle due macchine, oppure sequenziando strettamente un’alternanza.

Inoltre si risolva il conflitto dovuto alla richiesta di disponibilità del Robot R2 da parte delle macchine M2 e M3.

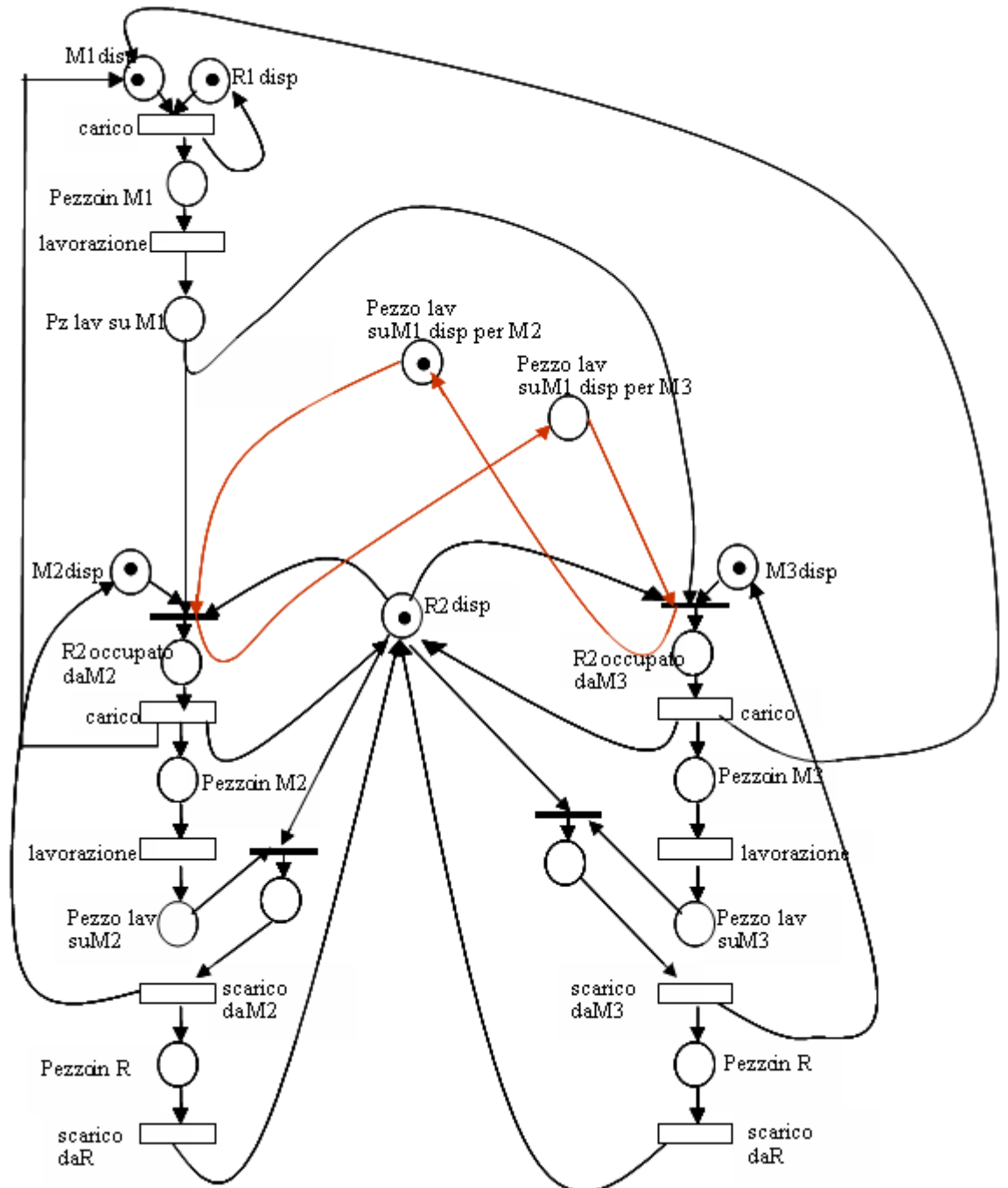
Si ricorda che ogni operazione deve essere effettuata massimizzando il parallelismo degli eventi.



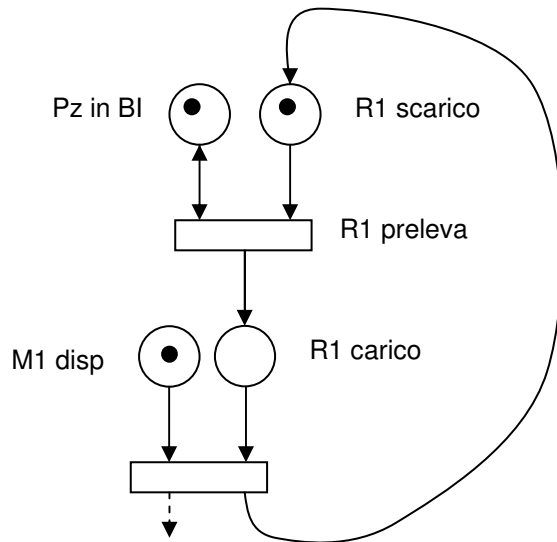
### Soluzione 2.3

Prima di fornire lo schema della soluzione é importante mettere in evidenza le seguenti caratteristiche del sistema:

- ogni robot od ogni macchina é un sistema autonomo che può operare in modo indipendente dagli altri (concorrenza);
- la seconda operazione può essere effettuata sia su M1, sia su M2 (conflitto);
- R2 é una risorsa condivisa.
- In BI i pezzi sono sempre disponibili (non occorre modellarlo)
- BO ha capacita' infinita (non occorre modellarlo)



Si noti che poichè non è stato richiesto di modellare specificatamente lo spostamento del robot R1, scarico, da M1 al magazzino grezzi, non rappresentato anch'esso, R1 risulta sempre disponibile; volendo, si può sostituire il posto "R1 disp" con una sottorete che rappresenta il lavoro del robot R1, come rappresentato di seguito.



Lo stesso ragionamento fatto nell'esercizio 2.2 per quanto riguarda il magazzino può essere applicato anche al posto "Pz in BI".

Nella rete completa vengono evidenziati in rosso gli archi che contribuiscono a risolvere il conflitto dovuto all'acquisizione del pezzo prodotto da M1 tra la macchina M2 e la macchina M3, sequenziando un'alternanza.

Infatti, grazie alla marcatura iniziale indicata, si può notare che il primo pezzo lavorato da M1, sarà lavorato da M2, poiché è presente una marca nel posto "Pezzo lav da M1 disp per M2". In seguito la transizione immediata marcherà il posto "Pezzo lav da M1 disp per M3", quindi il secondo pezzo in uscita da M1 sarà lavorato da M3, e così via.

Per risolvere il conflitto sul Robot R2 in modo diverso da quanto indicato sulla rete realizzata, lo si potrebbe sequenziale assegnandolo in modo alternativo alla macchina M2 e alla macchina M3, similmente a quanto precedentemente fatto per il pezzo prodotto da M1.

Può essere utile esaminare anche in questo caso l'andamento del diagramma di Gantt per ottenere tempi di ciclo e di attraversamento.



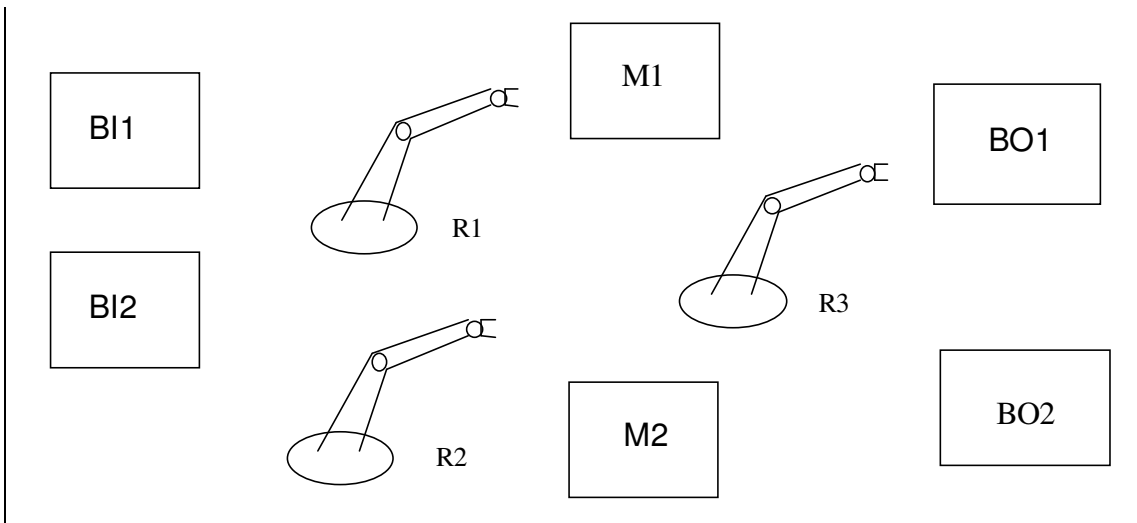
## Problema 2.4

### Produzione di due prodotti con condivisione di una risorsa

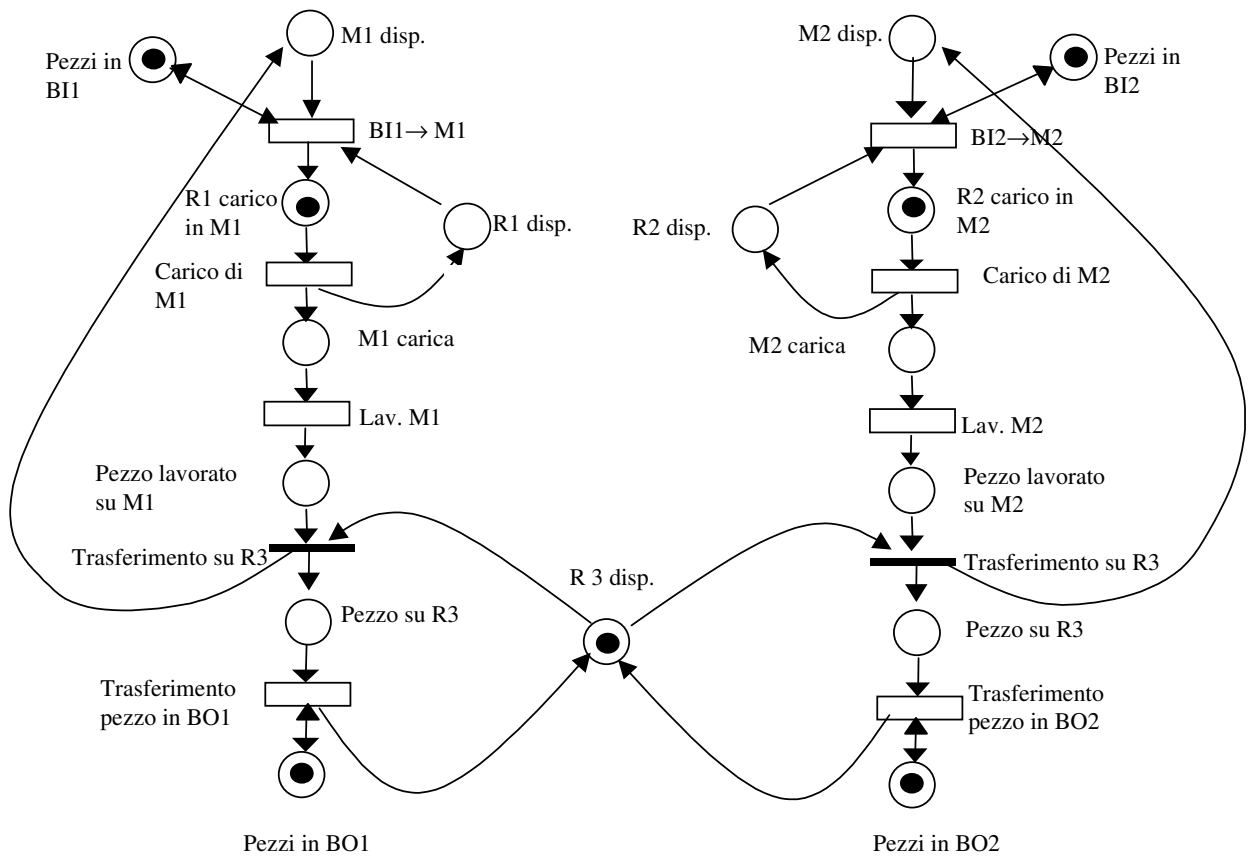
Un sistema di produzione per la produzione di due differenti prodotti A, B é costituito da tre robot R1, R2, R3, da due macchine M1, M2, da due magazzini d'ingresso BI1, BI2 e da due magazzini d'uscita BO1, BO2.

I processi di produzione dei due prodotti sono indipendenti l'uno dall'altro eccetto che per la condivisione di R3. La produzione del prodotto A (B) avviene nel seguente modo: il robot R1 (R2) effettua il grasp di un pezzo grezzo da BI1 (BI2) e lo rilascia su M1 (M2), poi torna a prendere un pezzo dal magazzino BI1 (BI2). Quando M1 (M2) termina la lavorazione, R3 prende il prodotto finito e lo trasporta in BO1 (BO2) e è pronto per prendere un nuovo pezzo finito.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.



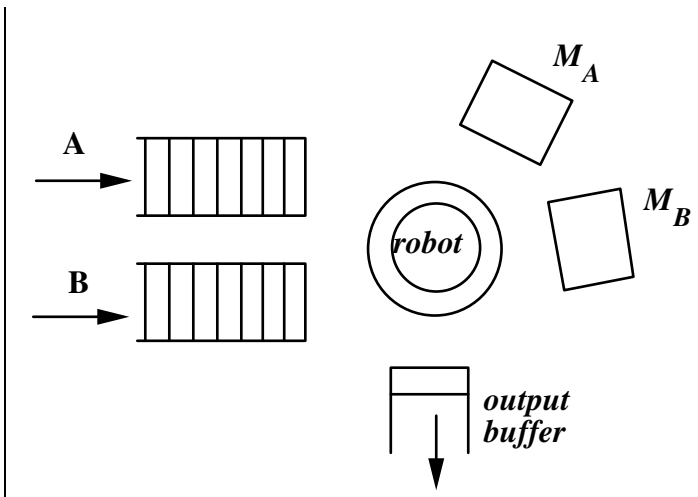
Soluzione 2.4



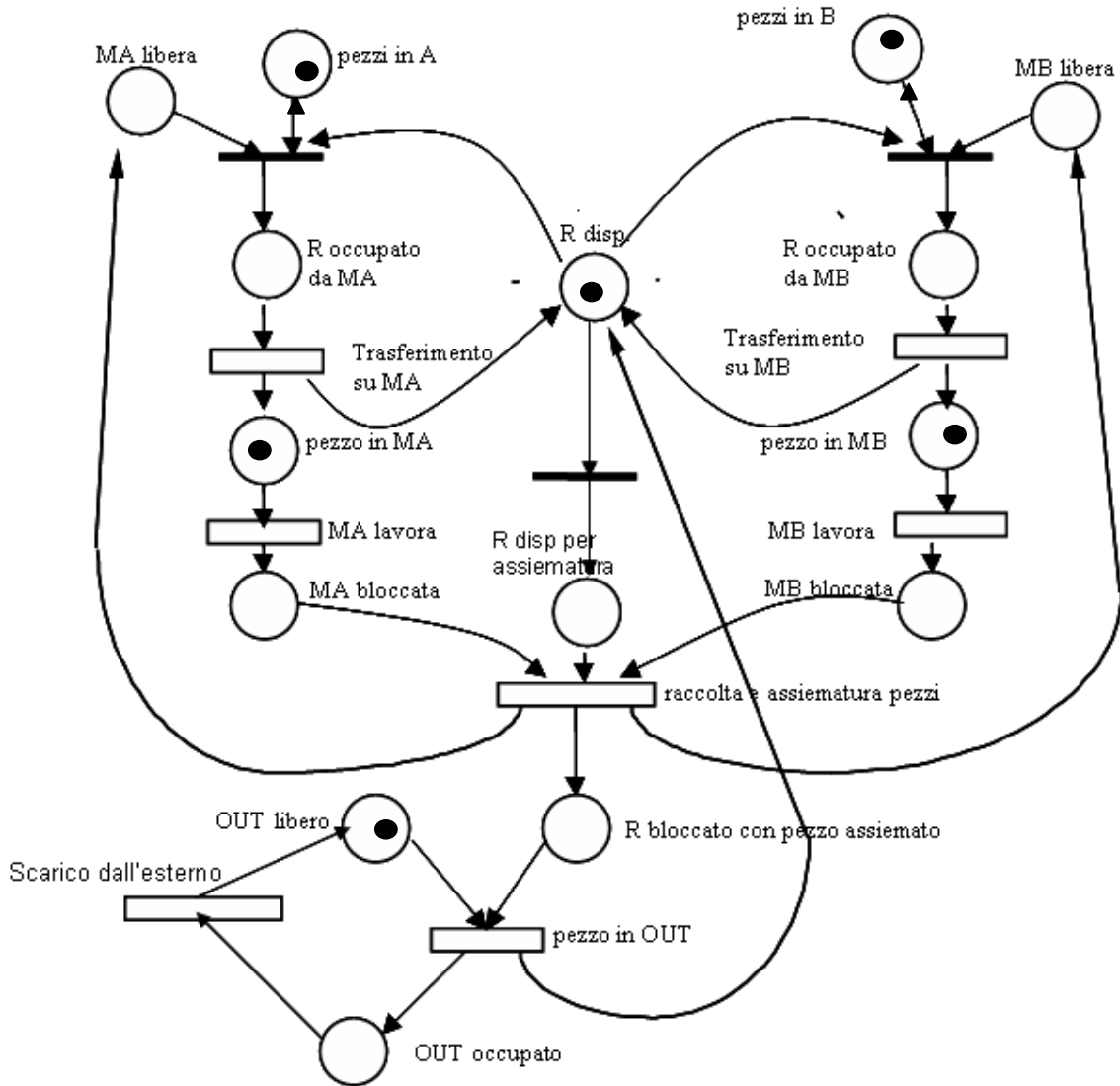
### Problema 2.5

In figura è illustrato lo schema di una cella di assemblatura. In questa cella, pezzi di due tipi diversi (A e B) arrivano su conveyor separati, e sono trasferiti da un *robot* su due centri, rispettivamente  $M_A$  e  $M_B$ , che effettuano una lavorazione. I centri non sono dotati di buffer, e dunque possono accettare un pezzo solo se non sono occupati; un pezzo lavorato da  $M_A$  o da  $M_B$  attende sul centro finché non arriva il robot a rimuoverlo. Quando *ambidue* i centri hanno terminato la lavorazione, il robot raccoglie i due pezzi lavorati e li assembla, dopodiché, se c'è spazio, pone il prodotto finito così ottenuto in un buffer di uscita, che è a un solo posto e che viene svuotato dall'esterno. Solo dopo aver posto il prodotto finito nel buffer di uscita, il robot può occuparsi dell'ingresso dei nuovi pezzi. Dopo ogni operazione di movimentazione compiuta dal robot, esso torna in una posizione di riposo.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema, prestando attenzione ai conflitti sulla risorsa *robot* e modellando opportunamente lo scarico dall'esterno dei pezzi finiti.



Soluzione 2.5



Il conflitto sul robot tra MA e MB è sempre effettivo e deve essere risolto in maniera esogena , per esempio sequenziando (cfr. Soluzione 3.6)

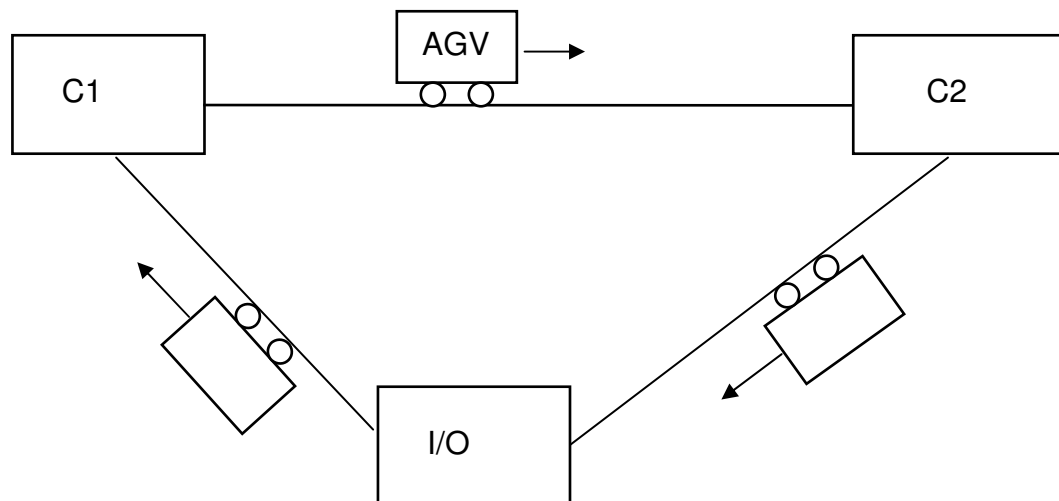
### Problema 2.6

Un (piccolo) impianto produttivo dispone di due AGV, usati per trasportare gruppi di pezzi su due centri di lavorazione in serie (C1 e C2) e su di un centro di I/O. Nel primo centro C1, tutti i pezzi trasportati dall'AGV vengono lavorati in parallelo, e l'AGV attende nel centro di lavorazione che tutti i pezzi siano terminati per poi trasferirli al centro C2; similmente accade nel centro C2.

Quando i pezzi hanno terminato il secondo insieme di lavorazioni vengono trasportati dall'AGV fuori dal sistema. A questo punto l'AGV è libero e torna al centro di I/O. Quindi, l'AGV ricomincia un ciclo solo se sono presenti *almeno* quattro pezzi in ingresso, nel qual caso essi vengono tutti caricati sull'AGV e inizia il processo produttivo, altrimenti l'AGV attende che si formi una coda di almeno quattro pezzi.

Siccome si vuole evitare che due gruppi di pezzi stiano contemporaneamente nello stesso centro di lavorazione, un AGV *non* entra in un centro in cui sia già presente l'altro AGV con il suo gruppo di pezzi.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.





Oppure si possono mettere due marche in “AGV disponibile” una marca in ciascuno dei posti “Ci vuoto”: questa sarebbe la marcatura corrispondente all’inizializzazione del sistema, che però non si ripeterebbe più durante il funzionamento periodico.

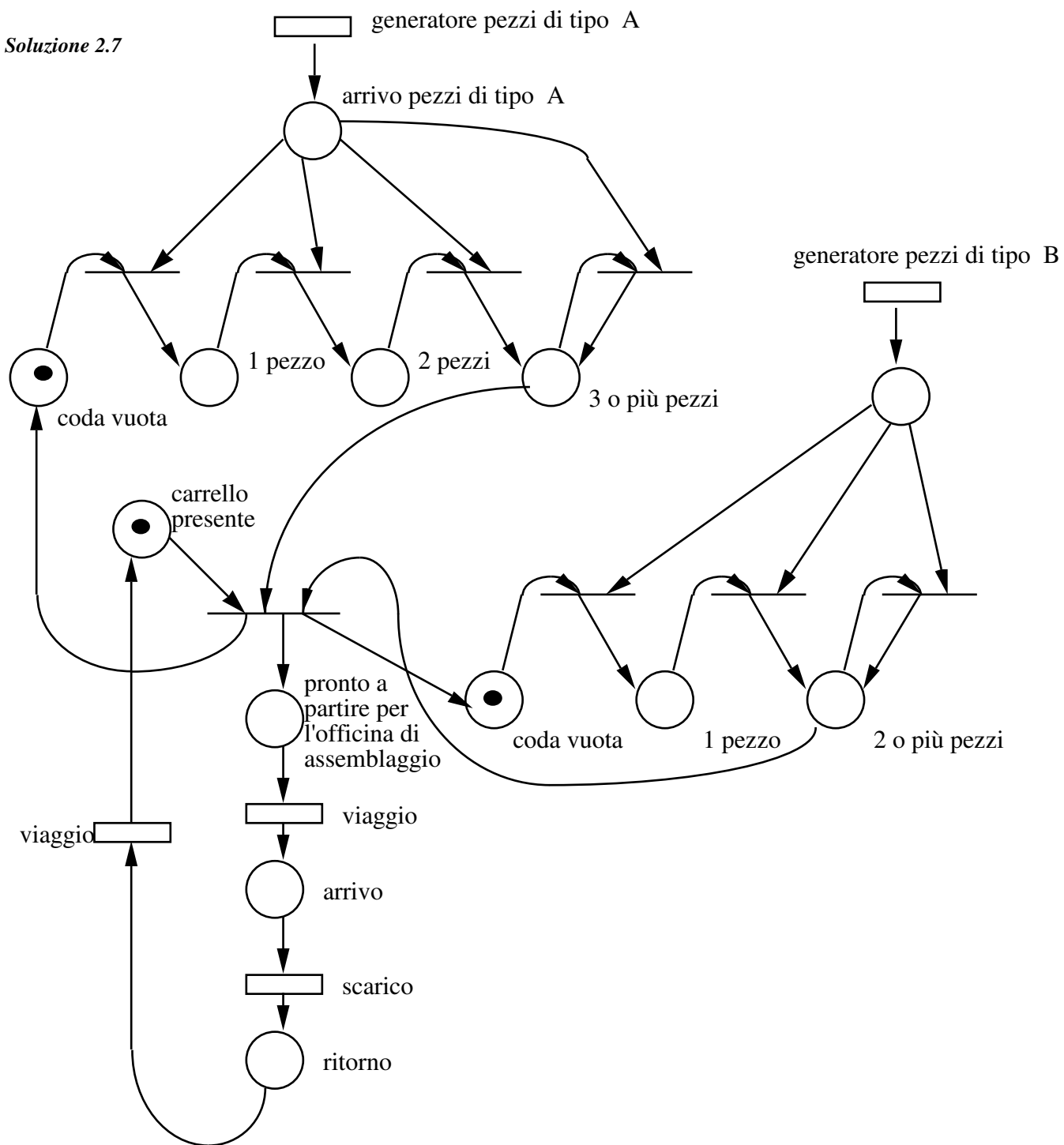
### **Problema 2.7**

Un’officina di produzione produce pezzi meccanici di due tipi diversi con un tasso di produzione fortemente variabile nel tempo. I pezzi prodotti vengono prelevati da un carrello trasportatore automatico e trasportati all’officina di assemblaggio che utilizza i pezzi meccanici suddetti per costruire dei prodotti finiti.

Il carrello ha una capacità di carico molto elevata; si decide pertanto per motivi economici che il carrello possa lasciare l’officina di produzione solo se sono presenti almeno tre pezzi di tipo *A* e due di tipo *B* da trasportare. Se invece sono presenti più pezzi, li raccoglie tutti e parte per una nuova missione.

Si schematizzi il funzionamento del carrello trasportatore con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

Soluzione 2.7



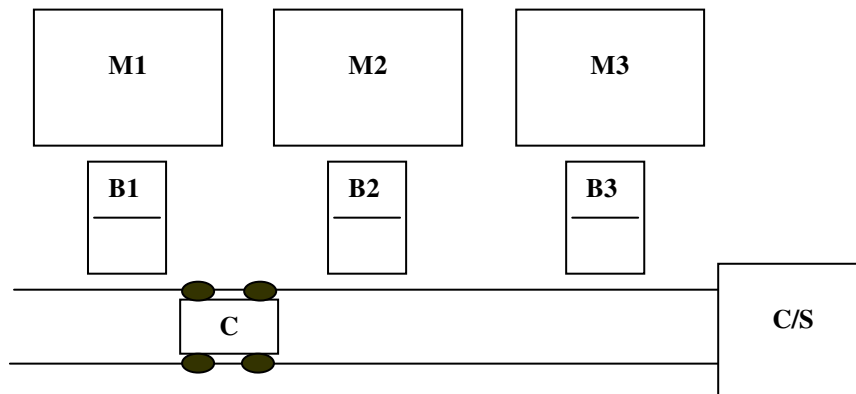


### Problema 2.8

Un tipico FMS e' costituito da 3 macchine ( **M1**, **M2**, **M3** ), una stazione di carico e scarico **C/S** e un sistema di trasporto costituito da una navetta **C**. Per ogni macchina  $M_i$  e' presente un buffer ad un posto **B<sub>i</sub>** in cui vengono ospitati sia i grezzi in attesa di lavorazione che i pezzi lavorati in attesa di essere trasportati verso C/S. Nella situazione di lavoro normale le tre macchine ospitano un pezzo in lavorazione (il tempo di lavorazione **T<sub>lavi</sub>** e' uguale per tutti i pezzi) ed e' presente un grezzo in ciascun buffer. La navetta si trova in attesa, cioe' presso la stazione C/S con un grezzo gia' montato .

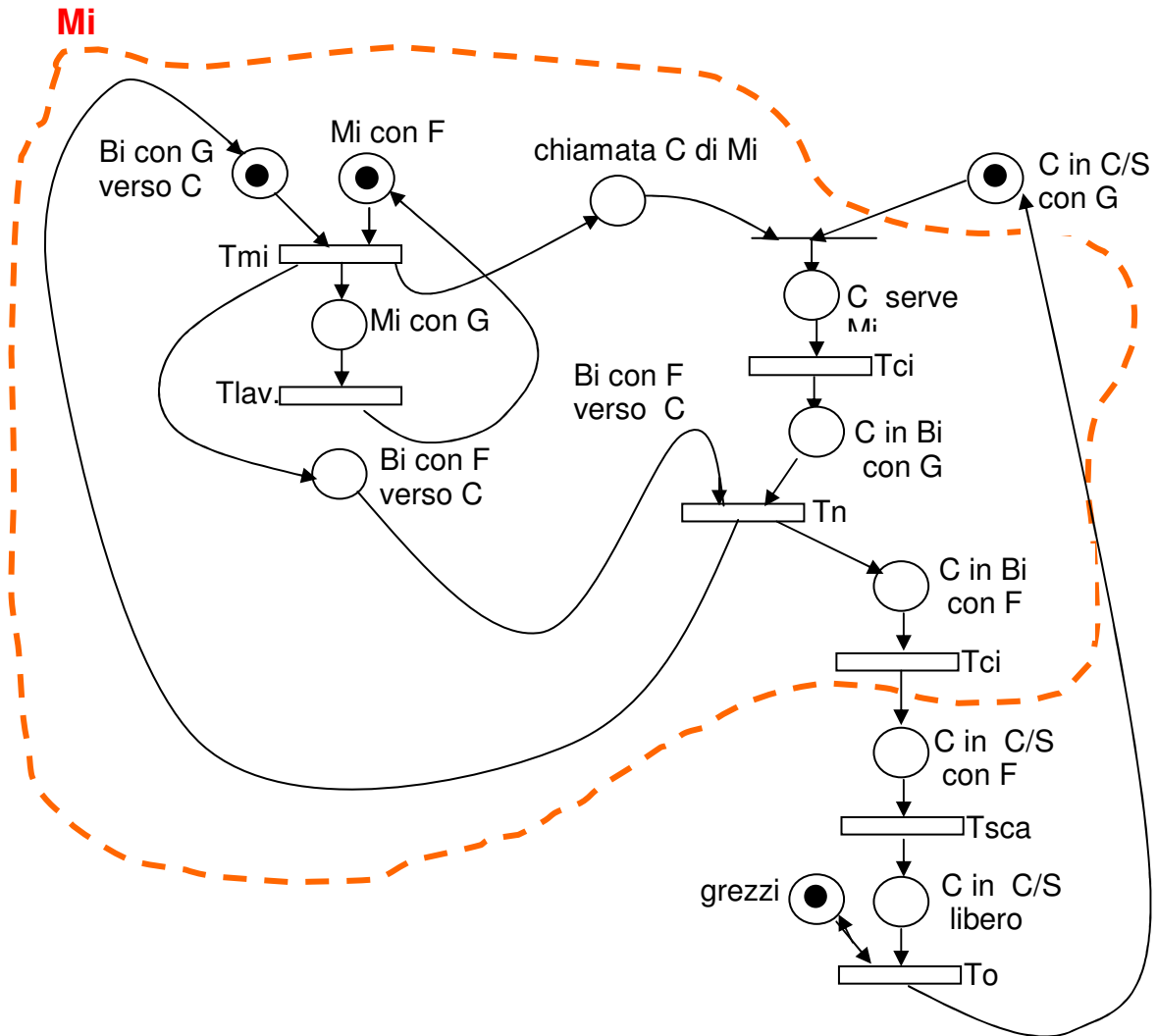
Quando una macchina  $M_i$  termina la lavorazione di un pezzo, se nel buffer  $B_i$  e' presente un grezzo da lavorare,  $M_i$  scambia il finito con il grezzo presente nel buffer (operazione che richiede un tempo **T<sub>mi</sub>**) altrimenti rimane bloccata, al termine dell'operazione invia una chiamata alla navetta **C** perche' questa provveda a scambiare il pezzo finito presente ora nel buffer  $B_i$  con un nuovo grezzo questa operazione richiede un tempo **T<sub>n</sub>** per lo scambio del pezzo con il buffer). Quindi il carrello si dirige verso la stazione di C/S (tempo **T<sub>ci</sub>**) dove il pezzo finito viene scaricato e, se sono presenti altri grezzi da lavorare in C/S, un nuovo grezzo viene depositato sulla navetta (tempo **T<sub>o</sub>**). A questo punto se sono presenti altre chiamate la navetta si dirige casualmente verso una stazione chiamante, altrimenti resta in attesa in questa posizione.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema con  $WIP = 3$ . Calcolare il periodo e il tempo di attraversamento medio (ovviamente ciascun pezzo ha un tempo di attraversamento diverso a seconda della macchina da cui viene lavorato, mentre il periodo e' unico).

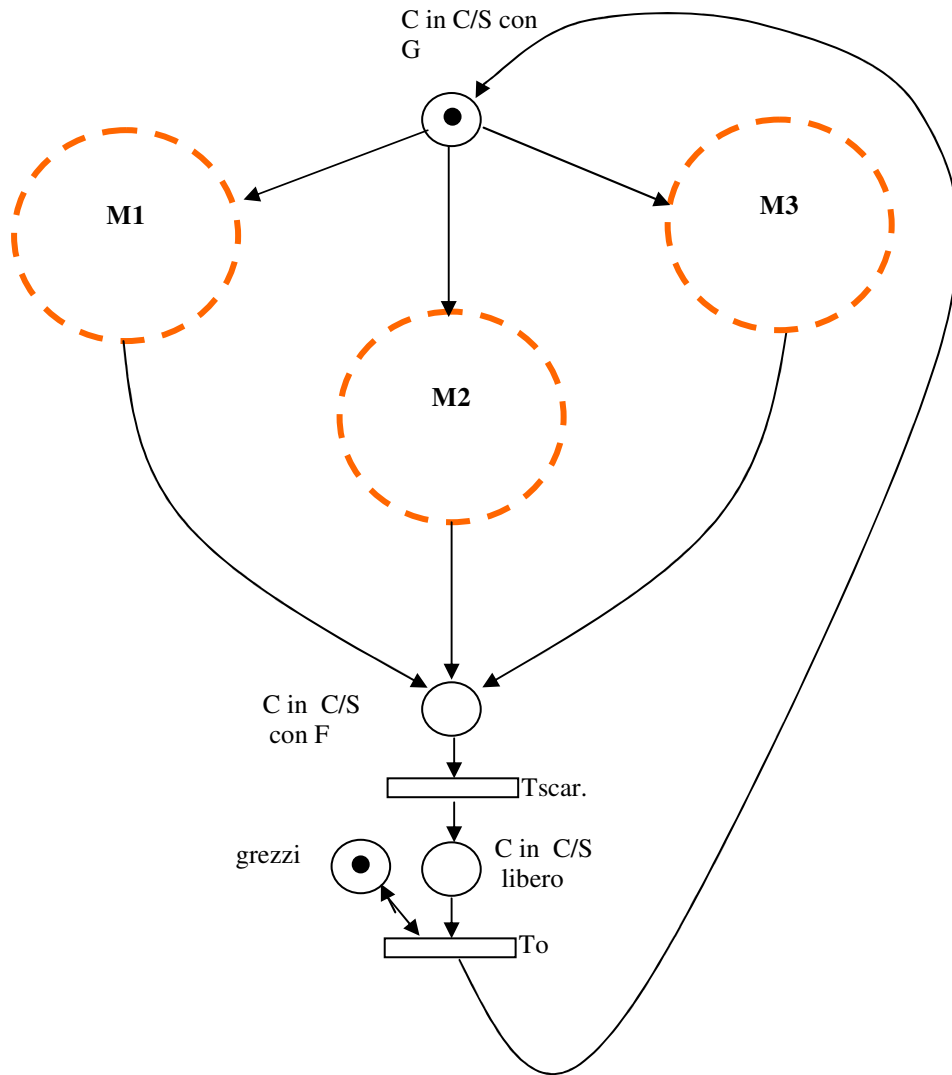


**Soluzione 2.8**

Esaminiamo prima le caratteristiche di una singola macchina (che risultano essere identiche per tutte e tre le macchine)



Quindi consideriamo la rete complessiva:



Si noti che il conflitto potenziale sul posto "C in C/S con G" diventa effettivo con probabilità zero, cioè solo se i tempi  $T_m$  delle tre macchine sono perfettamente uguali.

Il tempo di ciclo è dato da  $\max(T_{m1} + 2 T_{ci} + T_n + T_o + T_{scar}) / 3$

### PARTE III

(La parte teorica necessaria a svolgere questi esercizi fa riferimento alle lezioni n° 2, n° 3, n° 4 e n° 5 del corso di Automazione Industriale tenuto per il consorzio Nettuno)

#### Problema 3.2

Sia dato il sistema in figura 1.

Il buffer B1 è un magazzino, supposto di capacità infinita, in cui entrano nuovi pezzi in istanti di tempo aleatori. Dal magazzino i pezzi vengono prelevati dal robot R1 e processati da una delle due macchine M1, M2 di capacità unitaria operanti in parallelo. In seguito alla lavorazione i pezzi vengono inseriti nel buffer B2 d'uscita (di capacità infinita).

Il robot R1 opera secondo la seguente regola di priorità: "in caso di conflitto tra due o più operazioni, dà priorità massima allo svuotamento della macchina M1, quindi allo svuotamento della macchina M2, quindi al caricamento della macchina M1 e, infine, al caricamento della macchina M2 (priorità minima)".

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

Si presti attenzione alla soluzione del conflitto sul robot R1 e alla sua politica di azione.

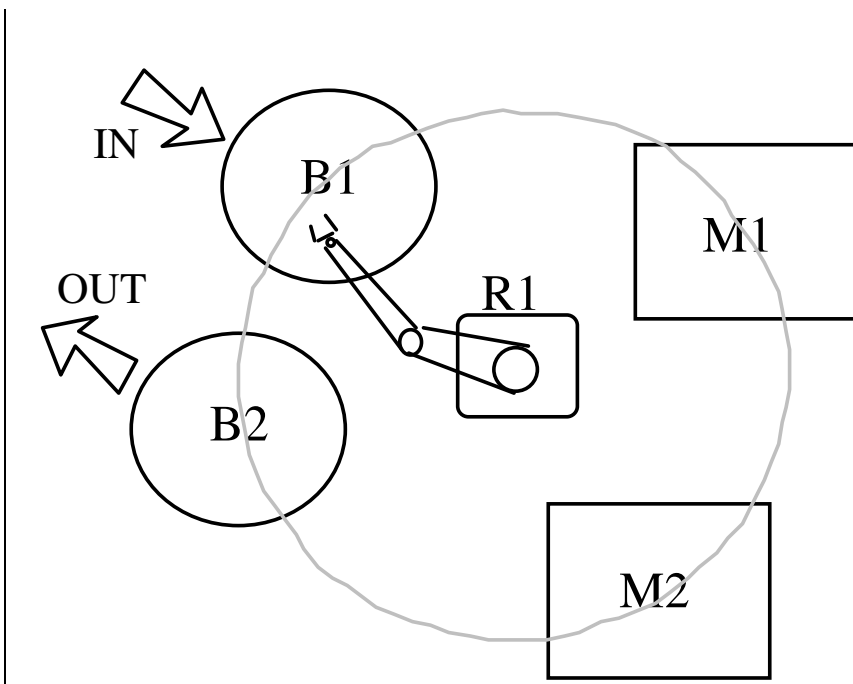
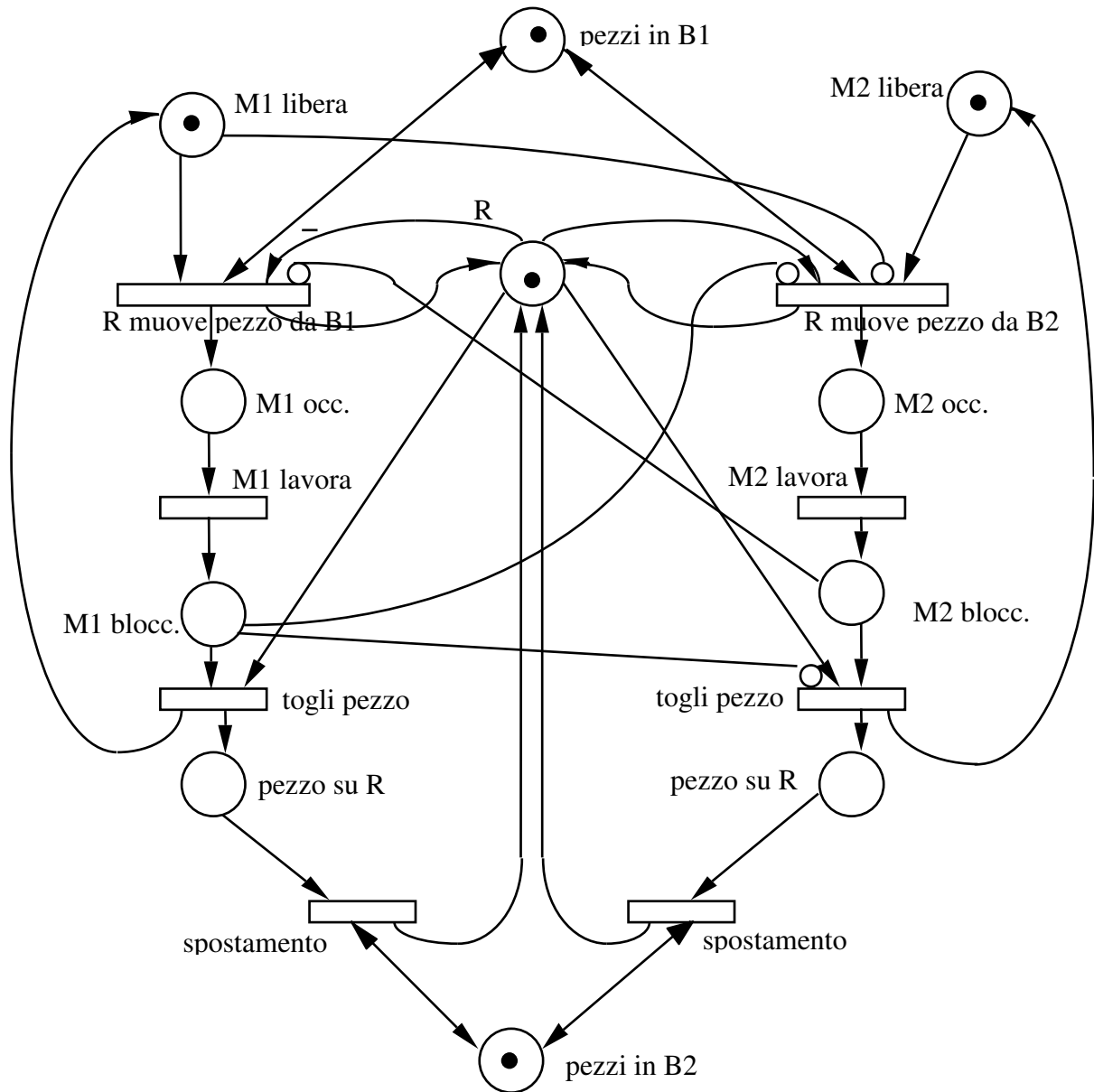


Fig.1

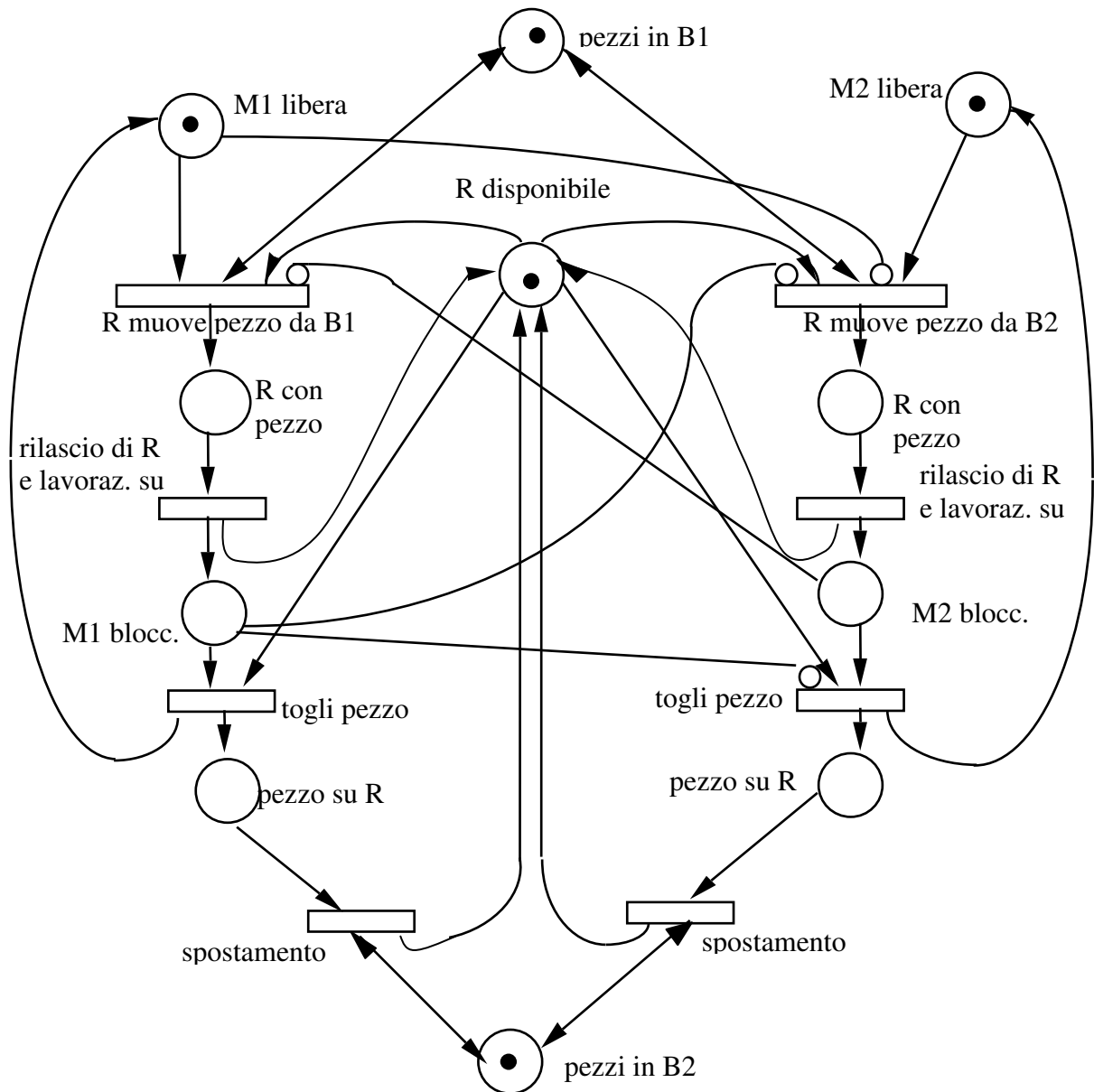
**Soluzione3.2 (con archi inibitori) CON LA CONVENZIONE CHE LE le marche nei posti di ingresso vengono consumate ALL'INIZIO del tempo che controlla le transizioni (cosa che fa scomparire lo stato locale "attività in corso" E NON è COERENTE CON LA CONVENZIONE CHE LO SCATTO DI UNA TRANSIZIONE è UN'EVENTO UNICO CHE DISTRUGGE LE MARCHE IN INGRESSO E LE CREA IN USCITA)**



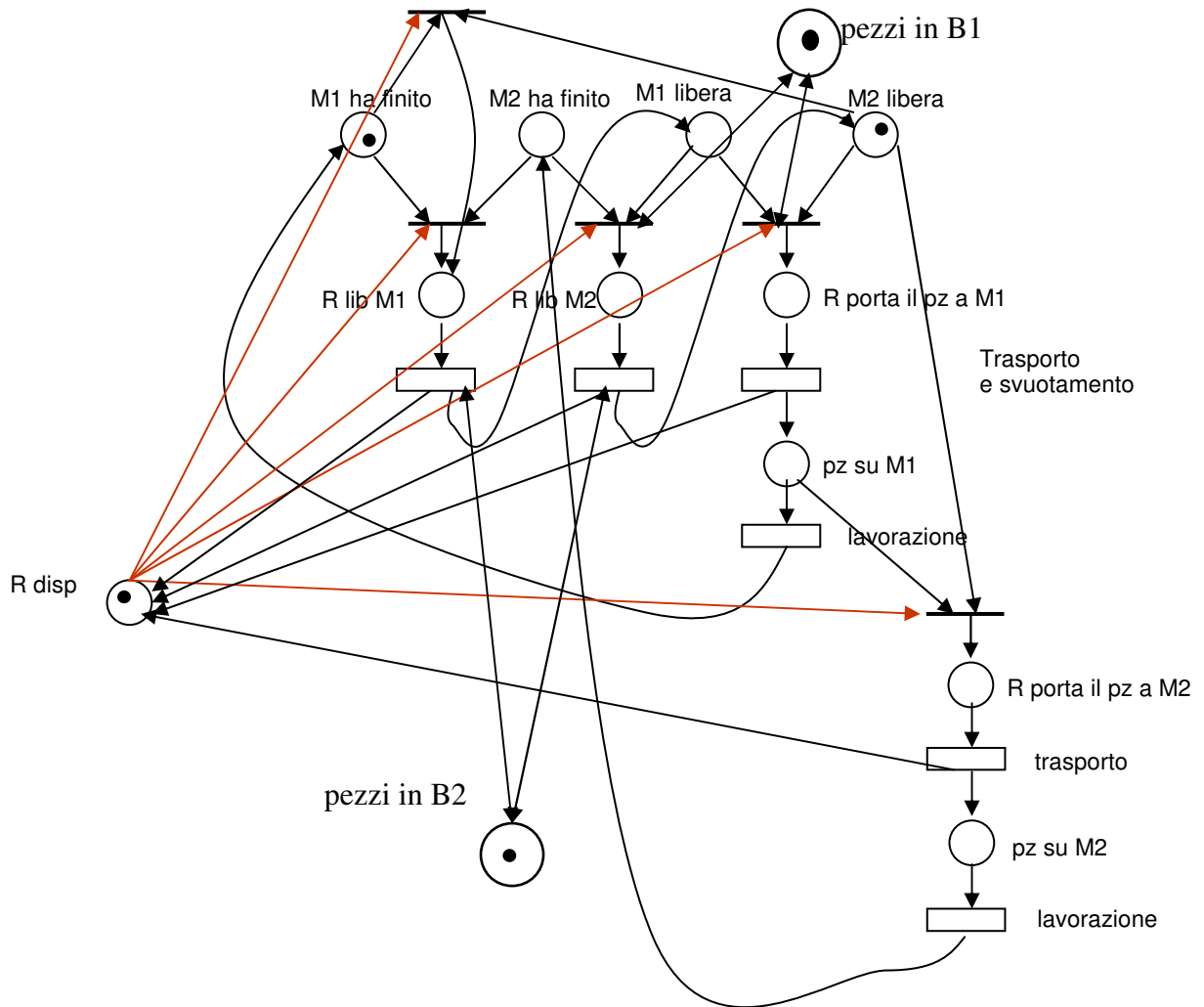
**ATTENZIONE: con la convenzione che le marche nei posti di ingresso vengono consumate alla fine del tempo che controlla le transizioni, UNA CONDIVISIONE NON E' QUI RAPPRESENTATA: QUALE? R che carica!**

Soluzione3.2 (con archi inibitori)

LA CONDIVISIONE DI R VIENE QUI RAPPRESENTATA CON LA CONVENZIONE CHE LE le marche nei posti di ingresso vengono consumate alla fine del tempo che controlla le transizioni



**Soluzione3.2b (in cui non compaiono archi inibitori)**

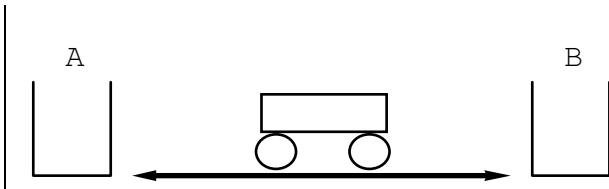


Gli archi che partono da "R disp" sono in rosso per chiarezza grafica. Si noti che il funzionamento logico della rete risulta in questo caso molto più "leggibile" anche se la rete è certamente più embriicata. Volendo calcolare il tempo di attraversamento bisogna dettagliare i posti "Pezzo in B1/2" con la solita sottorete "B pieno", "svuotamento", "B vuoto".

### Problema 3.4

Un carrello AGV è utilizzato per trasportare pezzi tra due stazioni A e B. Ogni stazione è costituita da un buffer di ingresso, in cui si accumulano (dall'esterno) i pezzi da trasferire all'altra stazione, e un buffer di uscita, in cui invece vanno depositati i pezzi provenienti dall'altra stazione (si supponga tale buffer di capacità infinita). I buffer di ingresso hanno capacità 3. Quando un buffer di ingresso è pieno, il carrello viene chiamato (se non era già presente nella stazione) per effettuare il trasferimento all'altra stazione. Schematizzare il funzionamento del sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

Si presti attenzione a modellare correttamente il conflitto sul carrello richiesto sia dalla stazione A, sia dalla stazione B.



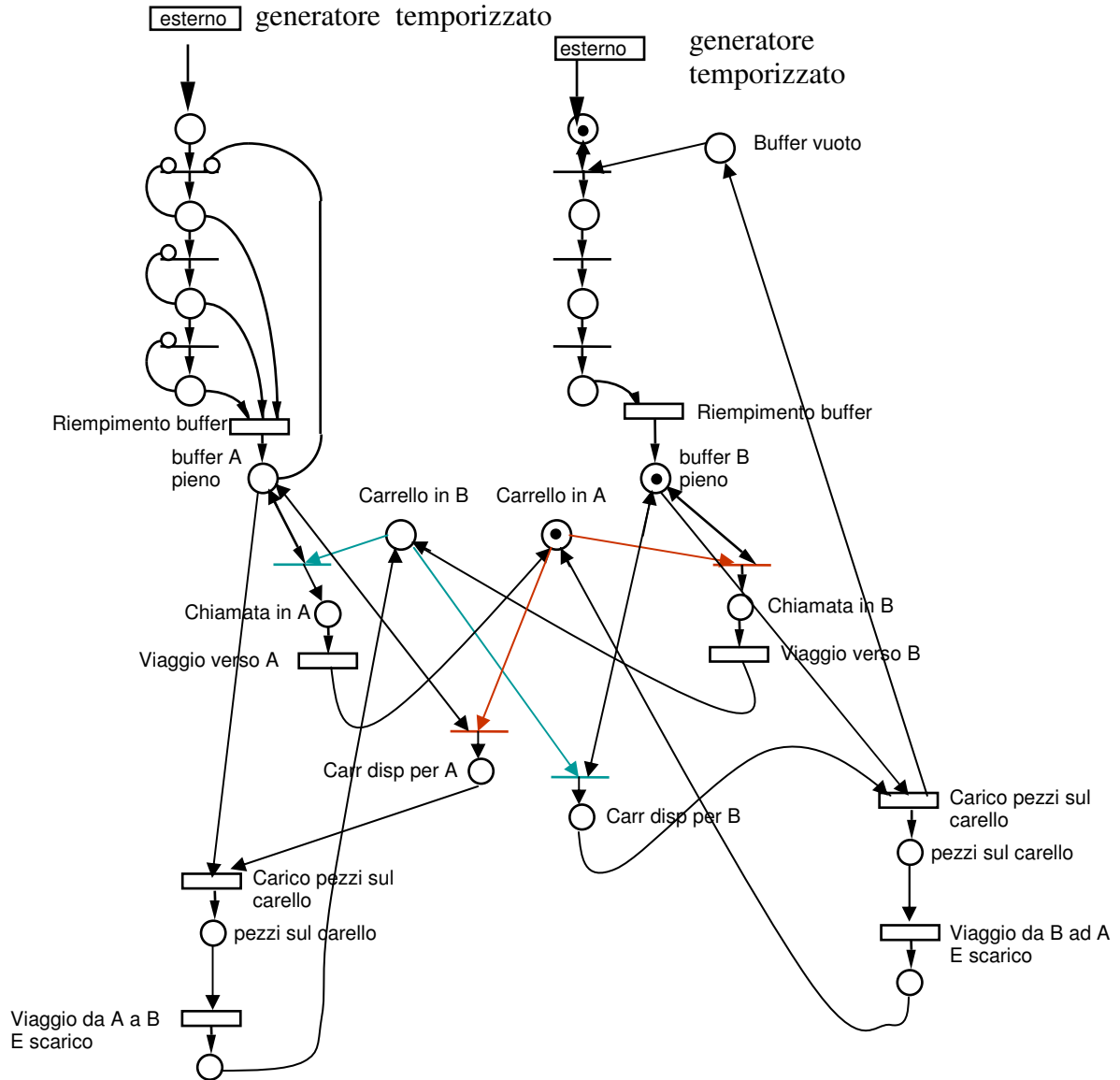
Nella soluzione proposta il riempimento dei buffer di ingresso di A e di B viene modellato in due modi differenti.

evento	azione
carrello in A, buffer d'ingresso pieno	effettua il trasferimento
carrello non in A, buffer d'ingresso pieno	chiama il carrello
arrivo pezzo in A, buffer disponibile	mettilo in buffer d'ingresso di A
arrivo pezzo in B, buffer disponibile	mettilo in buffer d'ingresso di B



**Soluzione3.4**

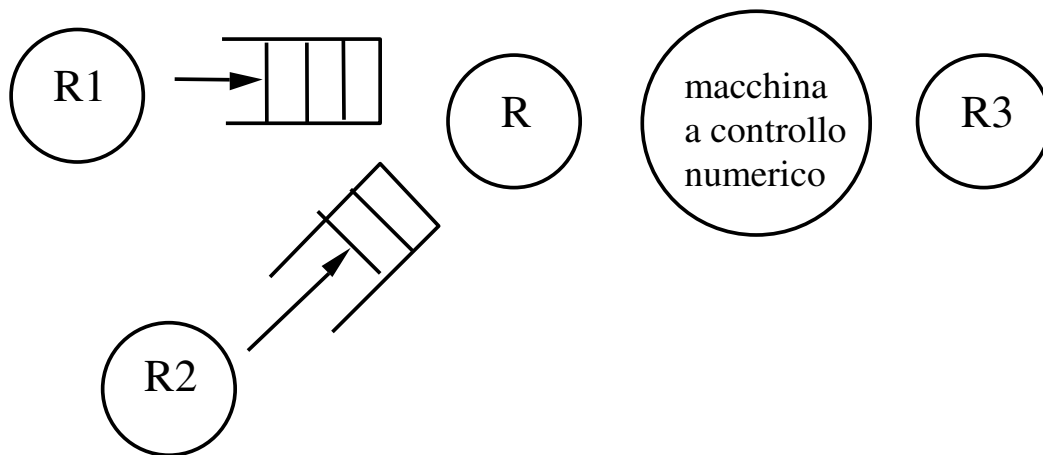
Vengono evidenziati in verde e rosso gli archi che forniscono la soluzione dei conflitti sul carrello.



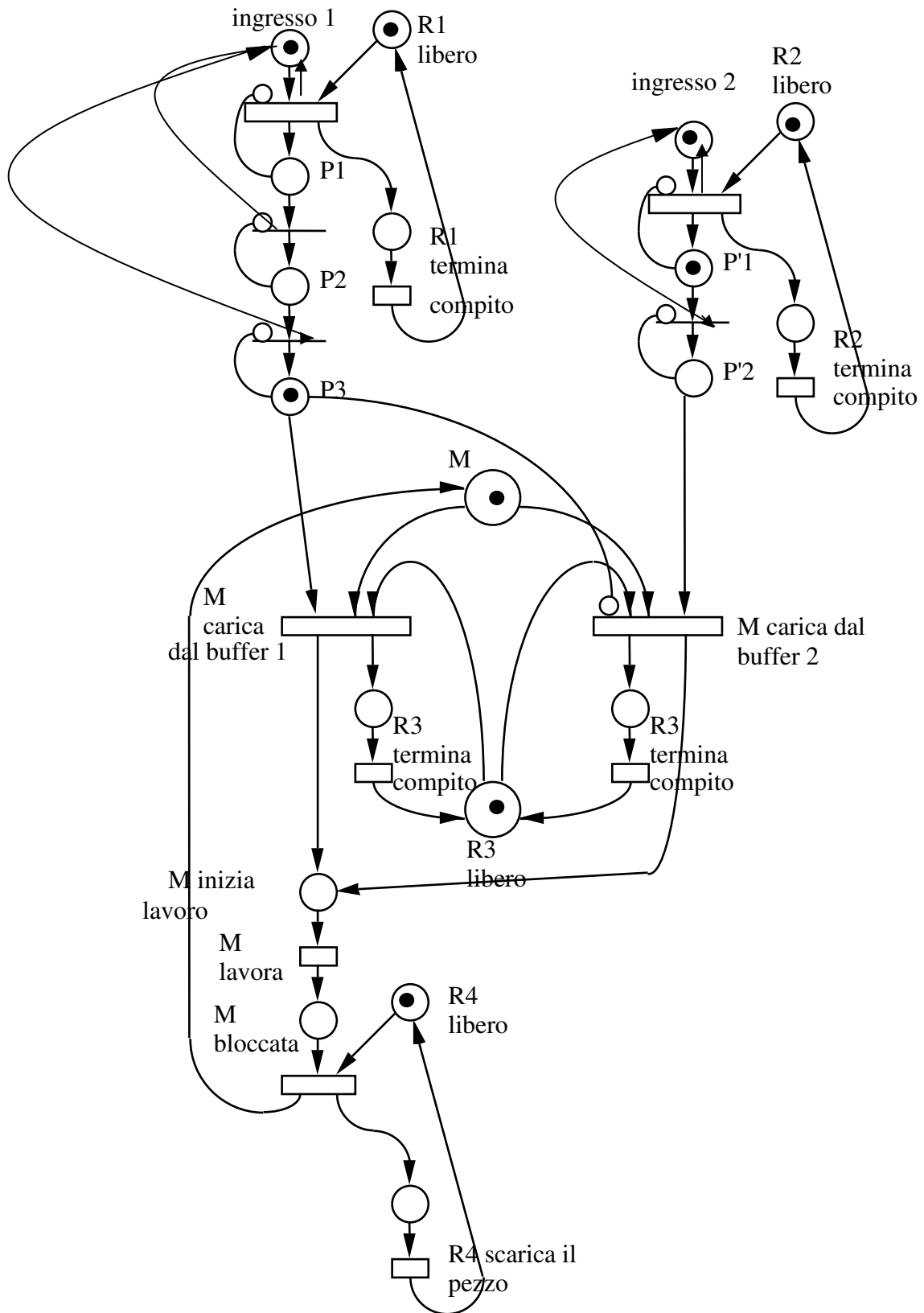
### Problema 3.5

Un centro di lavorazione è costituito da una macchina a controllo numerico, due buffer di input e da un robot R (posto tra la macchina e i buffer) che effettua il trasferimento dai buffer alla macchina.

I due buffer di input hanno priorità diverse, e funzionano ambedue in modalità FIFO. Solo quando il buffer a priorità più alta (che ha 3 posti) non è completamente pieno, e la macchina è libera, può essere prelevato il primo pezzo in coda nel buffer a priorità più bassa (che ha 2 posti). I due buffer sono riforniti da altrettanti robot (R1 e R2), come pure lo scarico del pezzo finito dalla macchina a controllo numerico avviene tramite il robot R3. Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.



Soluzione 3.5 (correggere con generatori)



### **Problema 3.6**

#### **Sistema per la produzione e l'assemblaggio di pezzi**

Un sistema di produzione e di assemblaggio é costituito da una macchina M1 per la produzione di due tipi di pezzi A e B a partire dalla stessa materia prima. I semilavorati A e B sono rispettivamente immagazzinati nei buffer, ad un solo posto, BA e BB di una macchina M2 che effettua l'operazione di assemblatura.

I prodotti finiti AB sono scaricati da M2 ed escono dal sistema.

Per evitare situazioni di stallo del sistema si vuole che il tipo di pezzo che M1 produrrà nel successivo istante di tempo dipenda dallo stato di BA e BB.

In particolare si richiede che:

se BA é pieno e BB é vuoto M1 produca un pezzo di tipo B;

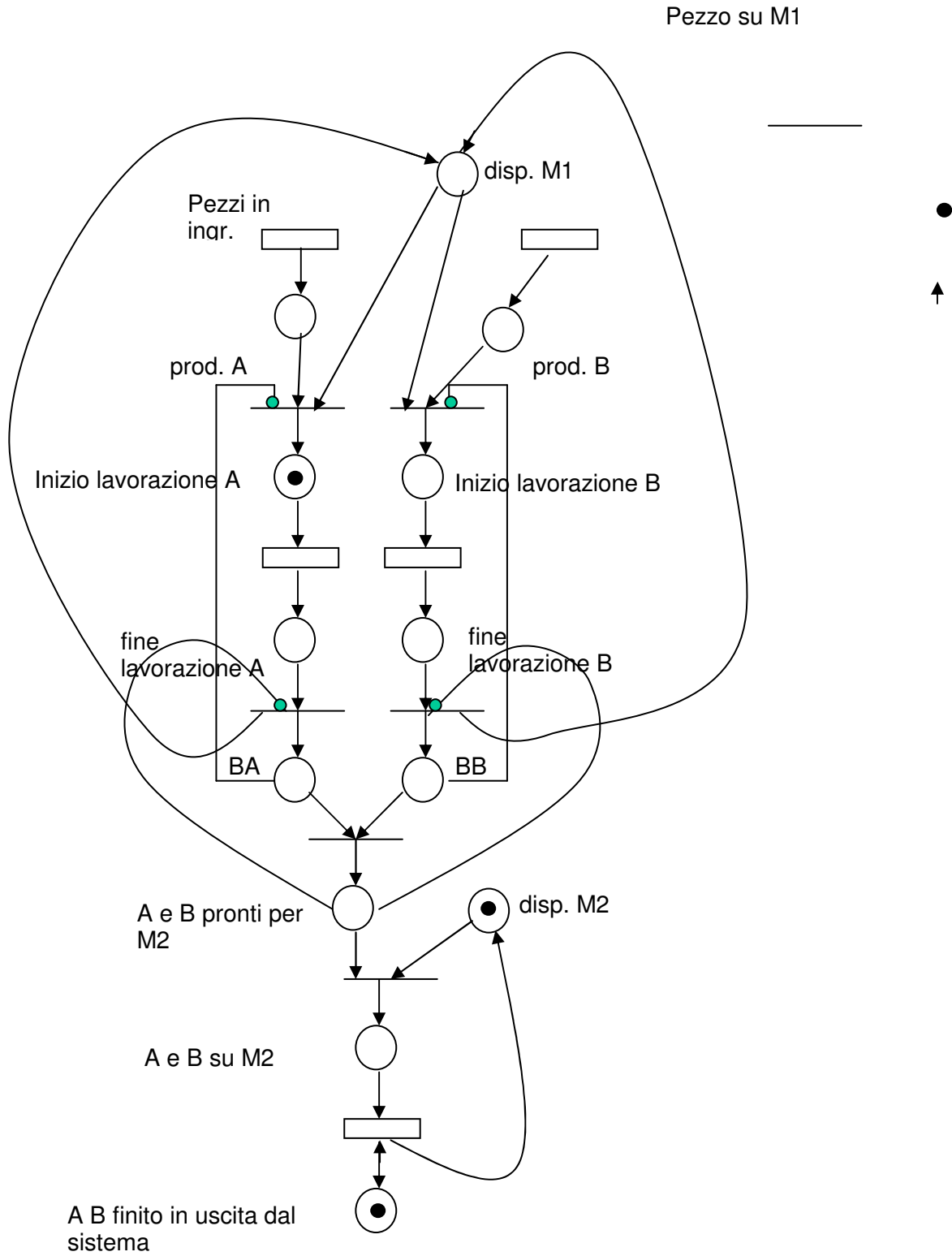
se BA é vuoto e BB é pieno M1 produca un pezzo di tipo A;

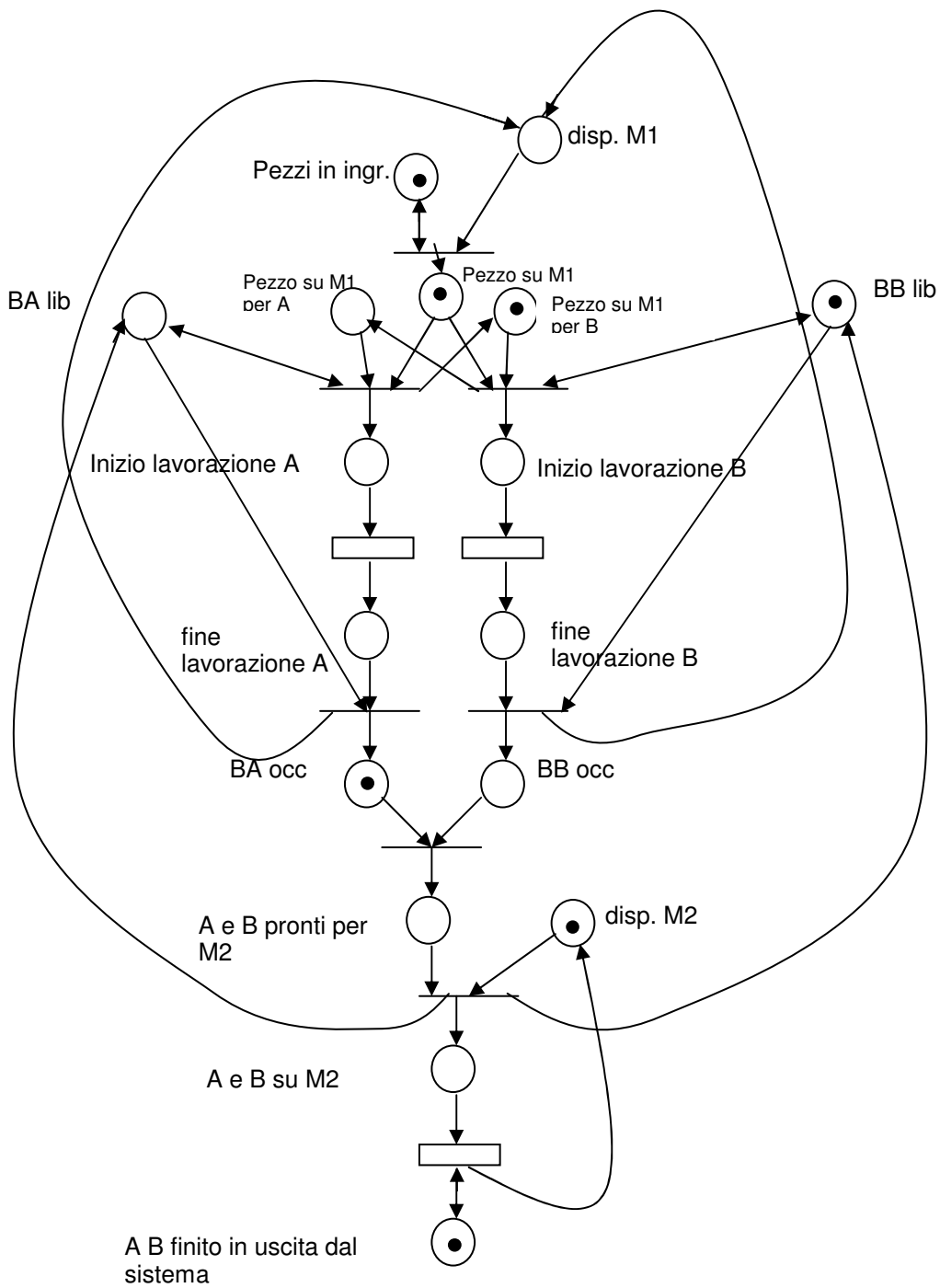
se BA e BB sono entrambi vuoti o pieni sia indifferente il tipo di pezzo prodotto da M1.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

**Soluzione 3.6 (corretto con generatori)**

Vengono proposte due soluzioni dell'esercizio, solo in una di queste compaiono gli archi inibitori.





### Problema 3.8

Un sistema flessibile di lavorazione consiste di tre centri di lavorazione più una stazione di scarico e un sistema di trasporto costituito da due AGV. I centri di lavorazione ricevono direttamente i grezzi da alimentatori esterni. Quando un centro di lavorazione termina un pezzo, chiama un AGV che prende il pezzo e lo porta alla stazione di scarico, dove un robot, *se libero*, provvede al prelievo del pezzo dall'AGV. Quando un AGV termina un servizio, torna *comunque* al posto di riposo. Allorché viene richiesto il servizio di un AGV da parte di un centro, viene chiamato quello che da più tempo si trova nel posto di riposo: in altre parole, un AGV che ha terminato un servizio entra in una *coda* (con disciplina, dunque, FIFO).

Tutti i tempi di percorrenza dal posto di riposo ai centri di lavorazione, da questi alla stazione di scarico e da questa al posto di riposo sono noti. Non sono noti a priori invece gli istanti in cui avvengono le chiamate agli AGV né il tempo che il robot della stazione di scarico impiega a scaricare i pezzi.

Modellare il sistema con una rete di Petri marcata temporizzata in modo da rappresentare il funzionamento periodico del sistema.

Soluzione 3.8 (corretto con generatori)

