



# Corso di Automazione industriale

## Lezione 14

### Reti di Petri – Modellizzazione

# Introduzione

Un sistema di produzione automatizzato serve a ricavare prodotti finiti a partire da pezzi grezzi o materie prime, seguendo opportune sequenze di lavorazione (tipicamente una sequenza per ogni tipo di prodotto).

Esso è costituito da vari tipi di **risorse**:

- Macchine per la lavorazione
- Dispositivi per la movimentazione
- Magazzini per lo stoccaggio

# Introduzione

Il processo di produzione consiste nello svolgimento di **attività di lavorazione** che richiedono l'uso di almeno una risorsa.

Le risorse devono essere:

- acquisite all'inizio di una attività (qualora non siano state già allocate a questo scopo in precedenza)
- rilasciate al termine (in modo che possano essere utilizzate da altre attività, se sono risorse condivise, o dalla medesima attività nella produzione del pezzo successivo).

# Introduzione

Le attività:

- Sono soggette a condizioni per il loro svolgimento (pre-condizioni)
- Determinano una variazione dello stato del sistema (post-condizioni)
- Devono essere sincronizzate in modo opportuno (sequenza, concorrenza, alternativa)

I modelli «interessanti» sono quelli relativi a produzioni flessibili.

# Introduzione

Le produzioni flessibili sono produzioni in cui è possibile:

- Cambiare tipo di lavorazione
- Cambiare prodotti
- Cambiare macchine
- Cambiare il percorso delle macchine
- Sfruttare in modo elevato le risorse disponibili

# Introduzione

Tutti i modelli implementati devono essere privi di deadlock.

Cos'è il deadlock?

Letteralmente, il deadlock (stallo), è una situazione in cui il sistema non può più evolvere. Solitamente esso è connesso alle tematiche di attesa circolare («io aspetto te», «tu aspetti me»).

Nelle reti di Petri, il deadlock rappresenta una marcatura morta, cioè una marcatura  $M$ , di una rete  $N$ , in cui  $R(N, M) = \emptyset$ . Ciò significa che, in quella marcatura, non ci sono transizioni attive.

# Introduzione

I modelli che verranno descritti sono definiti di tipo funzionale, cioè modelli che descrivono le funzioni (o attività) svolte dall'impianto.

Verranno considerati sistemi con sequenze di lavoro fisse.

La modellizzazione avviene attraverso questi passi:

- **Modello delle attività**: si definisce un modello a rete di Petri per ogni attività
- **Modello dei prodotti**: si compongono le reti associate alle attività, sincronizzandole, per definire le sequenze di lavoro
- **Modello delle risorse**: si aggiungono al modello le pre e post condizioni legate alla disponibilità delle risorse

# Modello delle attività

Ci sono diversi modi per descrivere le attività:

- Modello a due eventi (attività = transizione – posto - transizione)
- Modello a un evento (attività = transizione)
- Modello FMS (attività = posto)

I tre modelli sono equivalenti (è possibile passare da uno all'altro senza perdita di informazione).

Il modello a un evento e il FMS sono riduzioni del modello a due eventi.

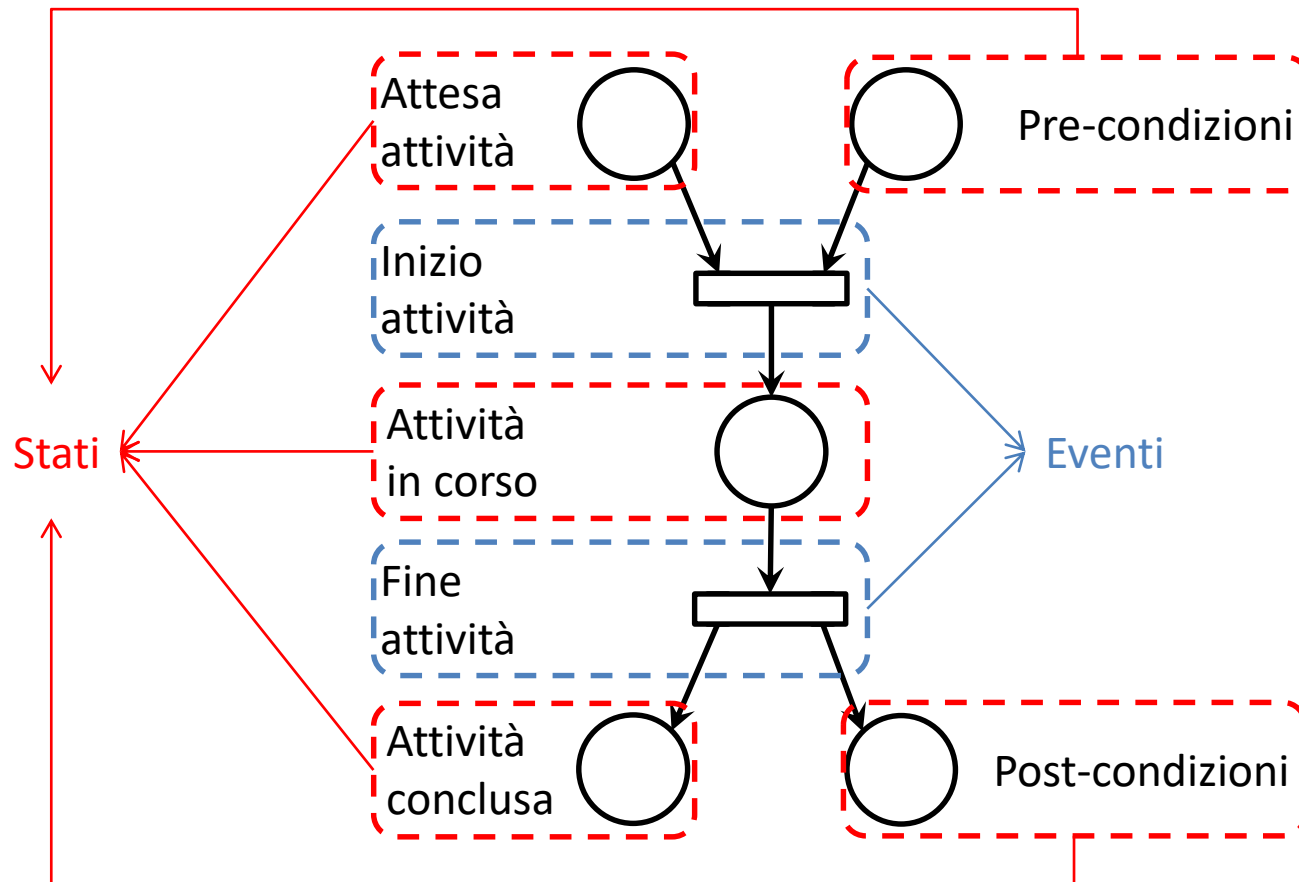
# Modello delle attività

Le differenze tra i diversi modelli sono:

- Facilità di analisi del modello
- Rappresentazione dell'uso delle risorse
- Facilità di traduzione delle reti di Petri in un codice adatto all'implementazione

# Modello delle attività

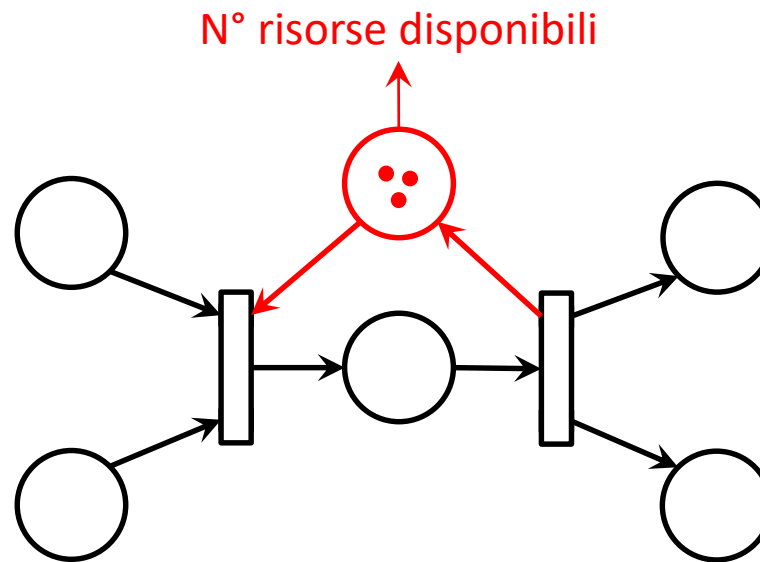
## Modello della attività a due eventi



# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – risorse

Se sono presenti delle risorse limitate, quello che normalmente si fa è inserire un posto connesso tra la transizione di fine e quella di inizio attività, con un numero di gettoni pari al numero di risorse disponibili.



# Modello delle attività

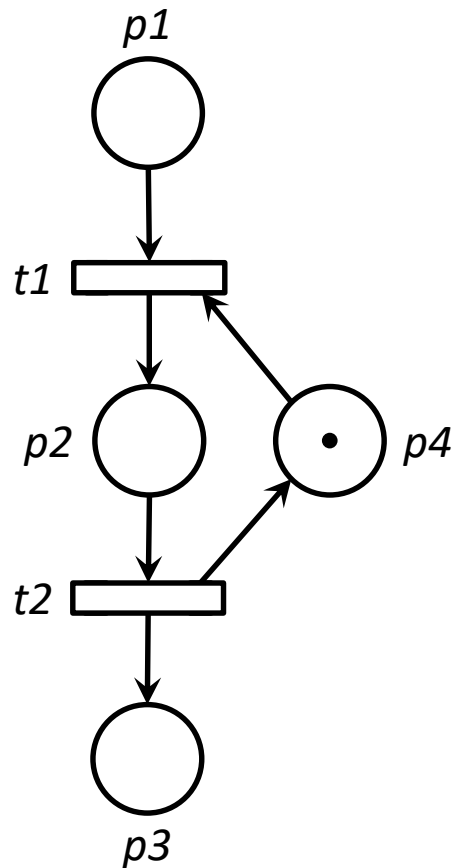
## Modello della attività a due eventi – esempio

Si consideri il trasporto di un pezzo effettuato con un robot. Quando il pezzo è disponibile per il prelievo, se il robot è disponibile, si inizia la movimentazione.

Quando il robot conclude l'attività il pezzo diventa disponibile per le attività successive e il robot ritorna disponibile per una successiva movimentazione.

# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – esempio



Significato posti:

- $p1$  – attesa pezzo
- $p2$  – movimentazione pezzo
- $p3$  – pezzo spostato
- $p4$  – attesa robot

Significato transizioni:

- $t1$  – inizio trasporto
- $t2$  – fine trasporto

# Modello delle attività

## Dettaglio di rappresentazione delle operazioni

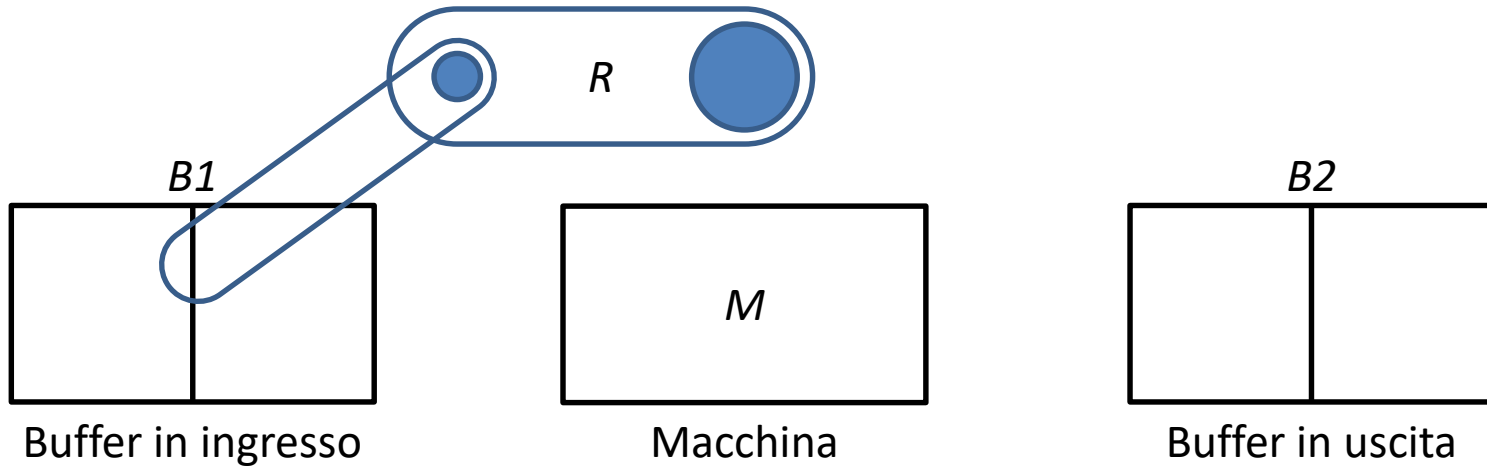
La definizione del numero di operazioni da eseguire è strettamente correlata alle risorse che vengono occupate durante le operazioni da eseguire.

Ad esempio, se si considera l'esecuzione di  $N$  operazioni successive, fatte tutte con la medesima risorsa, scindere le operazioni o rappresentarle in un'unica non cambia molto. Il vantaggio che porta l'aggregazione è la riduzione del numero di posti e transizioni.

Nel caso in cui l'utilizzo delle risorse avviene non in tutta l'operazione, conviene dividere le attività.

# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – esempio



# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – esempio

Ipotesi:

- I pezzi arrivano al buffer *B1* automaticamente
- I pezzi vengono prelevati dal buffer *B2* automaticamente
- I buffer hanno capacità 2

Le attività del sistema sono:

- *B1* riceve un pezzo
- *R* carica il pezzo prelevato in *B1* su *M*
- *M* lavora il pezzo
- *R* carica il pezzo prelevato in *M* su *B2*
- *B2* si svuota del pezzo

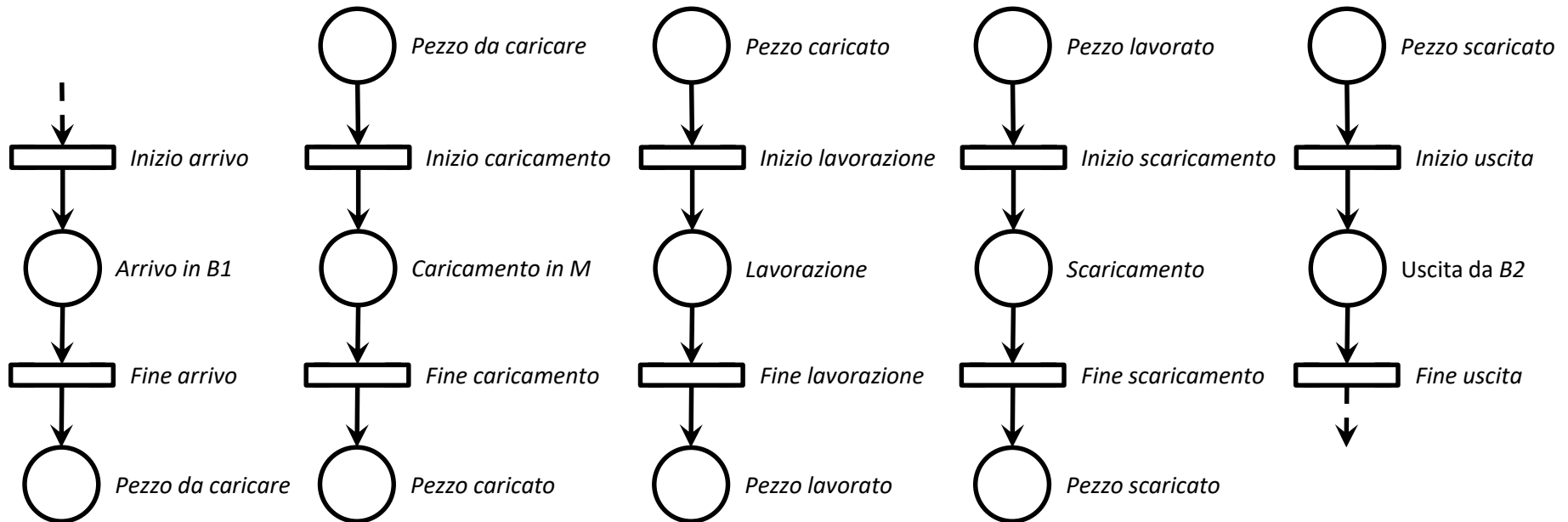
# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – esempio

<b>Attesa dell'attività</b>	<b>Attività in corso</b>	<b>Conclusione dell'attività</b>
-	Arrivo pezzo in <i>B1</i>	Pezzo da caricare
Pezzo da caricare	Caricamento pezzo in <i>M</i>	Pezzo caricato
Pezzo caricato	Lavorazione	Pezzo lavorato
Pezzo lavorato	Scaricamento pezzo in <i>B2</i>	Pezzo scaricato
Pezzo scaricato	Svuotamento <i>B2</i>	-

# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – esempio



# Modello delle attività

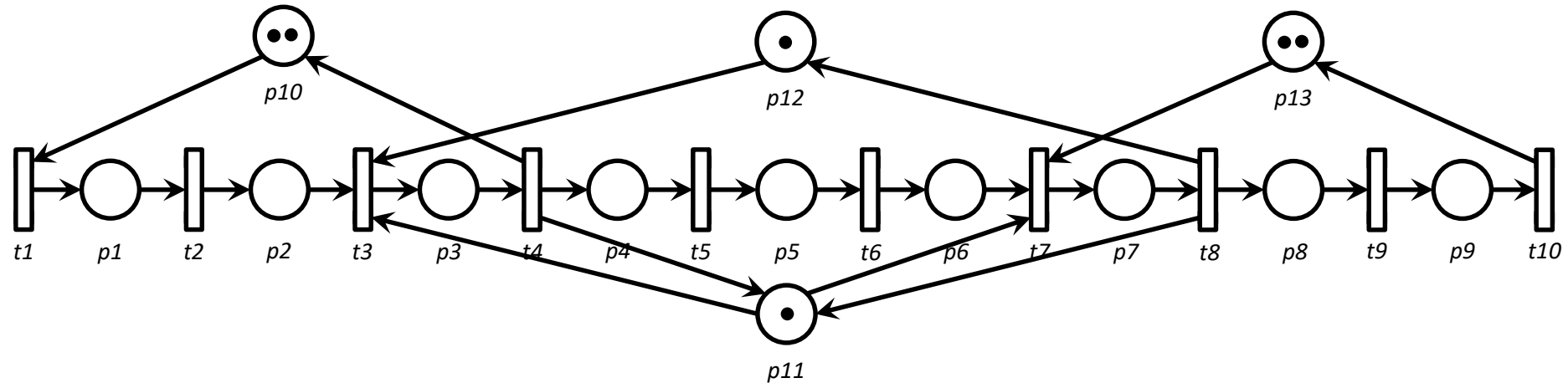
## Modello della attività a due eventi – esempio

È ora necessario andare a definire pre e post condizioni delle attività

Attività	Pre-condizioni	Post-condizioni
Arrivo pezzo in <i>B1</i>	<i>B1</i> disponibile	
Caricamento pezzo in <i>M</i>	<i>R</i> disponibile, <i>M</i> disponibile	<i>R</i> disponibile, <i>B1</i> disponibile
Lavorazione		
Scaricamento pezzo in <i>B2</i>	<i>R</i> disponibile, <i>B2</i> disponibile	<i>R</i> disponibile, <i>M</i> disponibile
Svuotamento <i>B2</i>		<i>B2</i> disponibile

# Modello delle attività

## Modello della attività a due eventi – esempio



### Significato posti:

- $p1$ : arrivo in  $B1$
- $p2$ : pezzo da caricare
- $p3$ : caricamento in  $M$
- $p4$ : pezzo caricato
- $p5$ : lavorazione
- $p6$ : pezzo lavorato
- $p7$ : scaricamento
- $p8$ : pezzo scaricato
- $p9$ : uscita da  $B2$
- $p10$ :  $B1$  disponibile
- $p11$ :  $R$  disponibile
- $p12$ :  $M$  disponibile
- $p13$ :  $B2$  disponibile

### Significato transizioni

- $t1$ : inizio ingresso
- $t2$ : fine arrivo
- $t3$ : inizio caricamento
- $t4$ : fine caricamento
- $t5$ : inizio lavorazione
- $t6$ : fine lavorazione
- $t7$ : inizio scaricamento
- $t8$ : fine scaricamento
- $t9$ : inizio uscita
- $t10$ : fine uscita

# Modello delle attività

## Modello delle attività a un evento

In questo caso si modella un'attività con una singola transizione.

Rispetto al modello a 2 eventi, ciò equivale a fondere in un'unica transizione la sottorete transizione – posto – transizione che rappresenta l'attività, associando entrambi gli eventi di inizio e fine attività alla stessa transizione.

# Modello delle attività

## Modello delle attività a un evento

Con questo modello l'attività viene descritta attraverso una singola transizione.

Gli elementi dello schema sono:

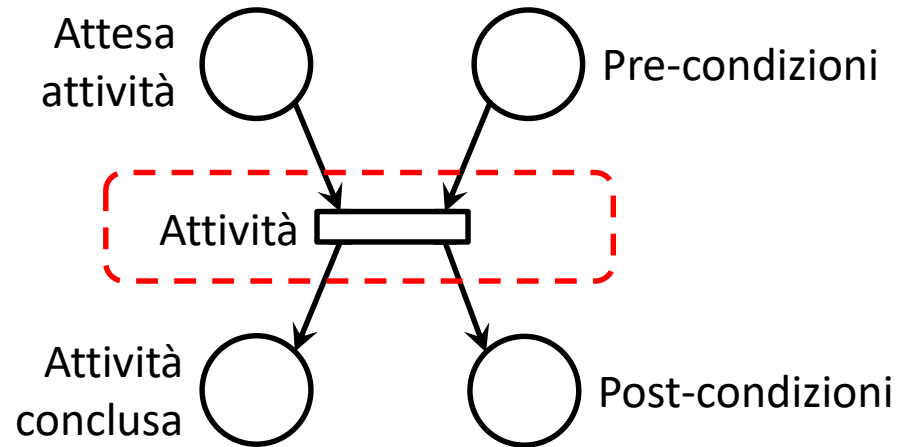
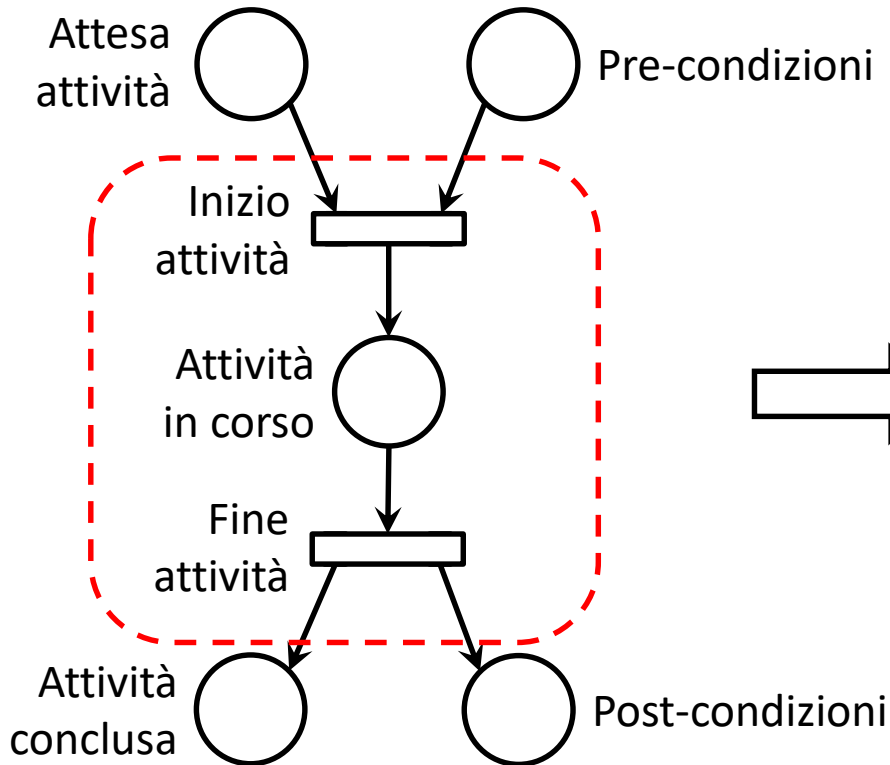
- Una transizione che identifica l'evento di esecuzione attività
- Un posto di attesa dell'attività (o fine di quella precedente)
- Un posto con le pre-condizioni
- Un posto di fine attività (o attesa della successiva)
- Un posto con le post-condizioni

# Modello delle attività

## Modello delle attività a un evento

Modello a due eventi

Modello ad un evento



# Modello delle attività

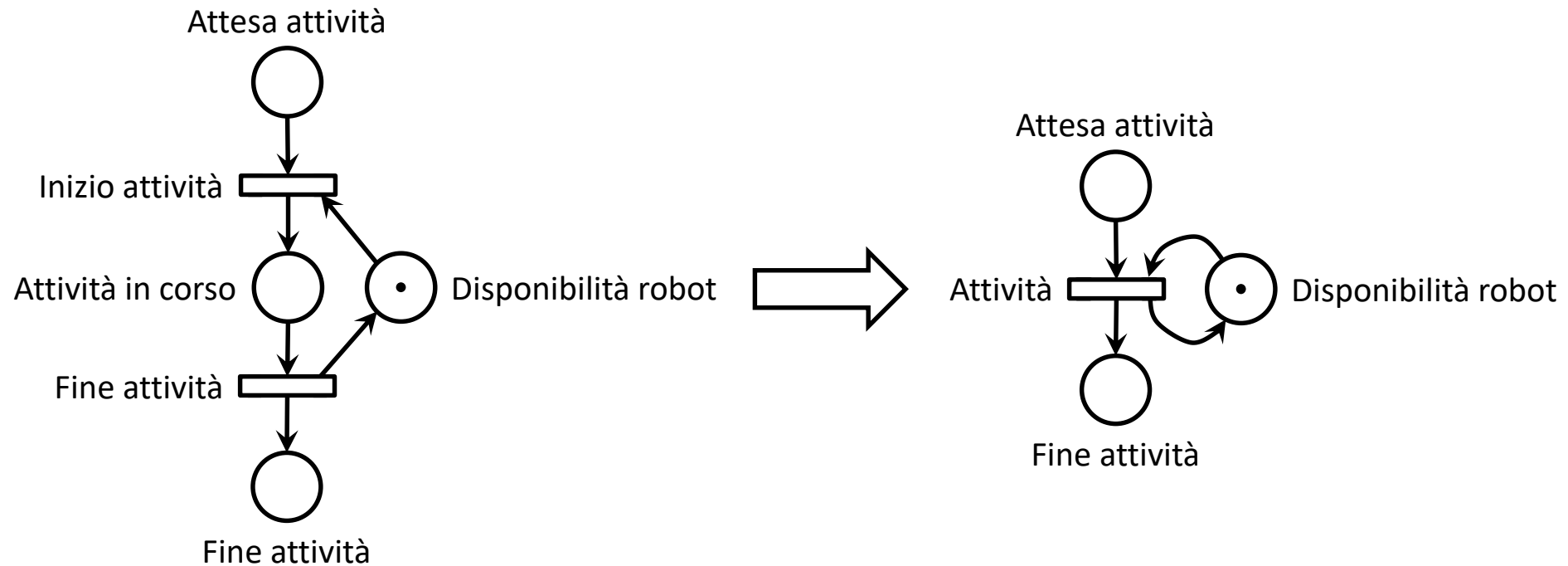
## Modello delle attività a un evento – osservazioni

- Astrazione del modello
  - L'attività ha durata istantanea → non c'è lo stato «attività in corso»
  - Le risorse utilizzate da singole attività sono modellizzate con auto-anelli → non c'è un vero e proprio modello di risorsa occupata
- Compattezza della rappresentazione
  - Grazie a questa rappresentazione la dimensione del grafo è ridotta notevolmente
- Implementazione del controllo
  - L'inizio e la fine dell'attività fanno parte della stessa transizione → serve prestare attenzione all'implementazione del controllo

# Modello delle attività

## Modello delle attività a un evento – esempio

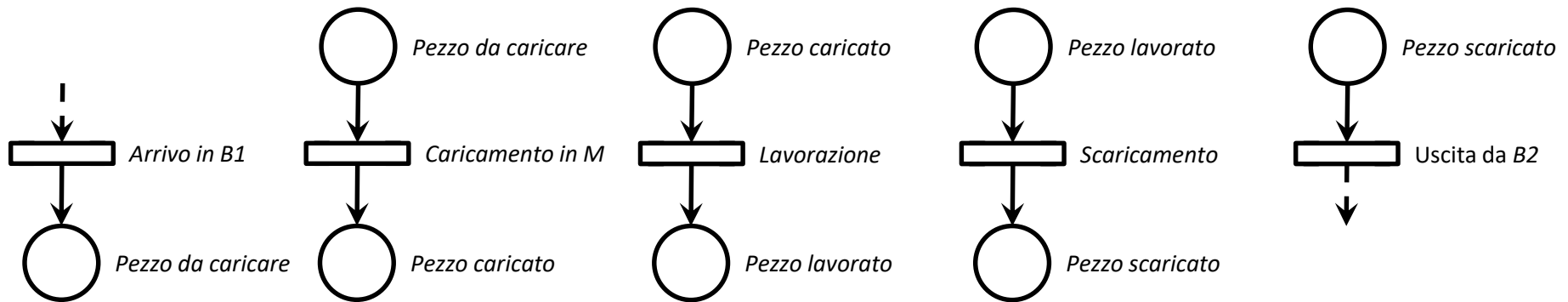
Implementiamo con questa logica l'esempio di trasporto di un pezzo con il robot



# Modello delle attività

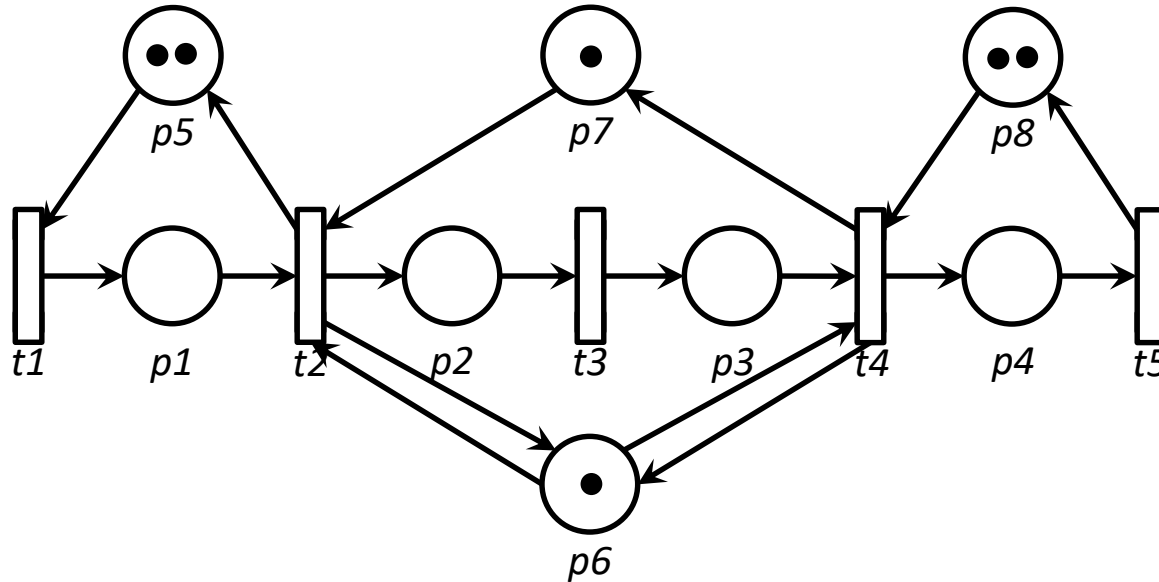
## Modello delle attività a un evento – esempio

Consideriamo, invece, l'esempio della cella di lavorazione



# Modello delle attività

## Modello delle attività a un evento – esempio



### Significato posti:

- $p1$ : pezzo da caricare
- $p2$ : pezzo caricato
- $p3$ : pezzo lavorato
- $p4$ : pezzo scaricato
- $p5$ :  $B1$  disponibile
- $p6$ :  $R$  disponibile
- $p7$ :  $M$  disponibile
- $p8$ :  $B2$  disponibile

### Significato transizioni:

- $t1$ : ingresso
- $t2$ : caricamento
- $t3$ : lavorazione
- $t4$ : scarico
- $t5$ : uscita

# Modello delle attività

## Modello FMS (Flexible Manufacturing Systems)

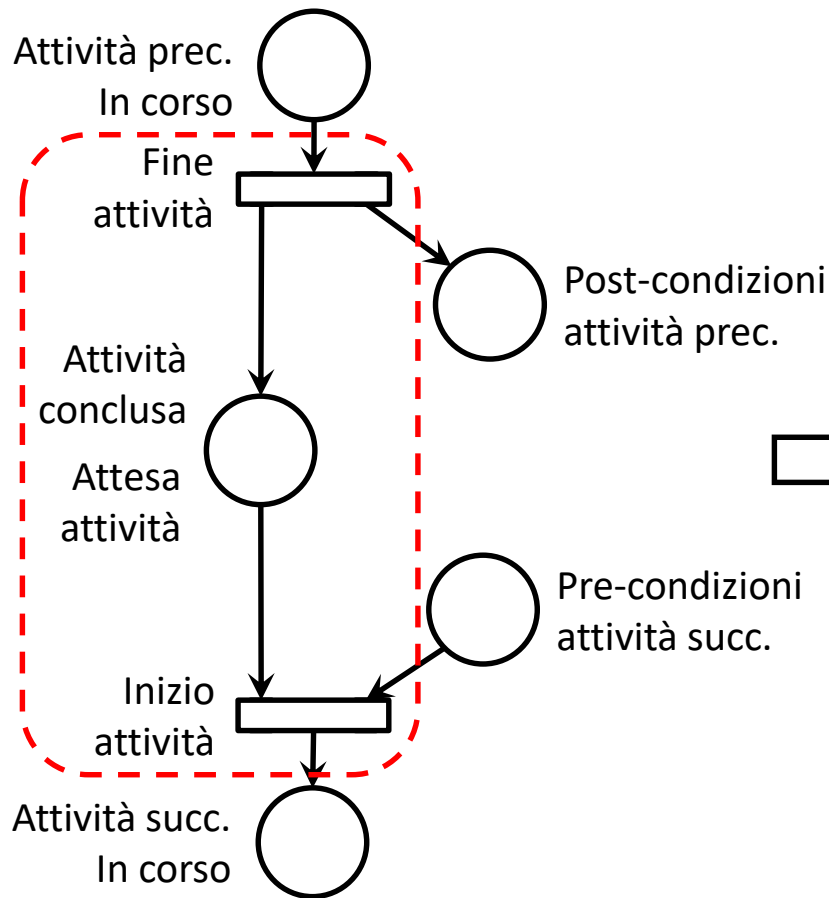
L'idea base è la seguente:

- una risorsa viene acquisita per svolgere un'operazione; tale risorsa viene tenuta (allocata) fino a quando non si libera la risorsa necessaria a svolgere l'operazione successiva
- quando una risorsa è allocata, non si distingue lo stato di «operazione in corso» dallo stato di attesa che segue la conclusione dell'operazione
- lo scambio di risorse è «istantaneo» (la deallocazione di una risorsa usata per un'operazione conclusa e l'allocazione della risorsa per l'operazione successiva sono contemporanee)

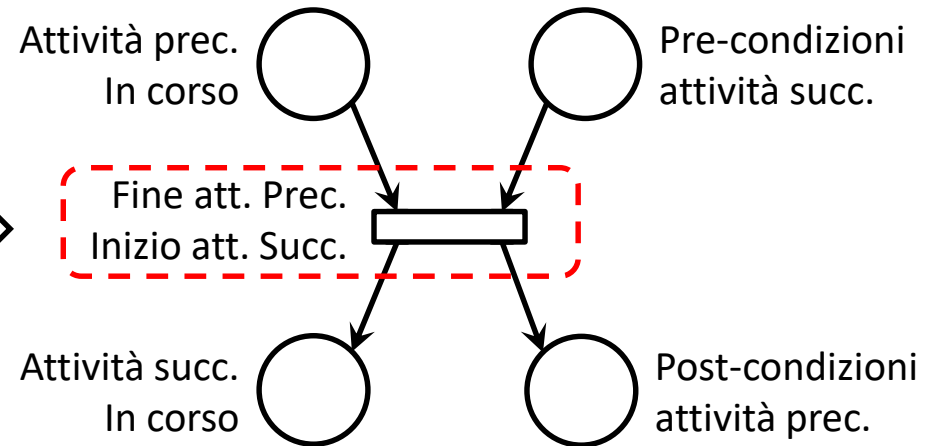
# Modello delle attività

## Modello FMS (Flexible Manufacturing Systems)

Modello a due eventi



Modello FMS



# Modello delle attività

## Modello FMS (Flexible Manufacturing Systems) – esempio

Il modello FMS nasce con l'idea di associare un'attività ad una risorsa utilizzata.

Come mostrato in precedenza, l'esempio della cella di lavorazione ha attività che sfruttano più di una risorsa (ad esempio la movimentazione da *B1* a *M*).

In questi casi, per i modelli FMS, le sotto-operazioni in cui sono utilizzate risorse multiple sono «nascoste» all'interno delle transizioni.

# Modello delle attività

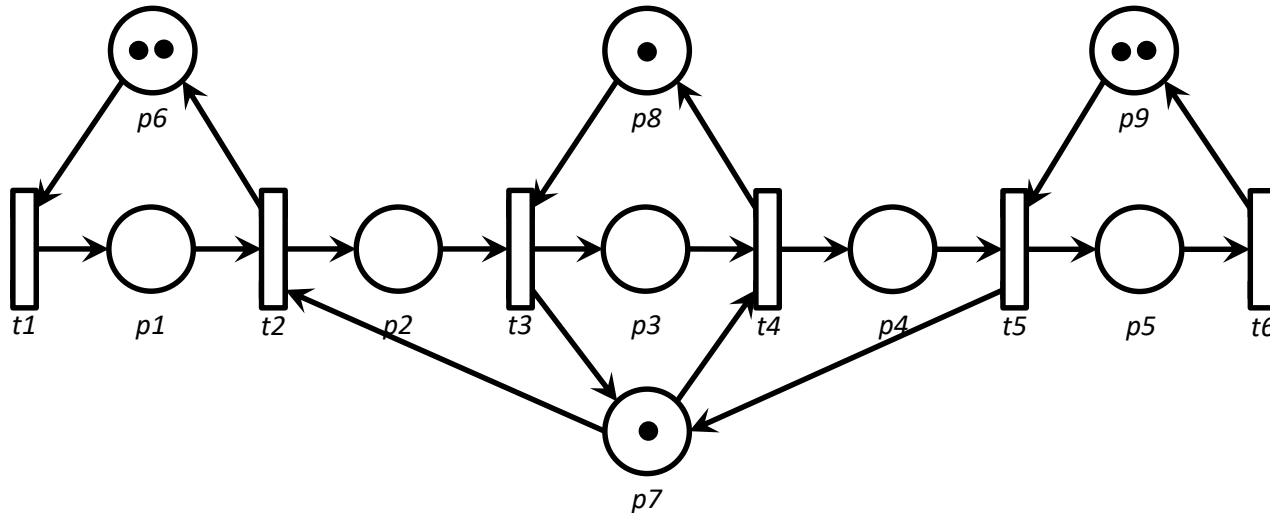
## Modello FMS (Flexible Manufacturing Systems) – esempio

Le attività risulteranno quindi:

- Occupazione  $B1$
- Trasporto  $B1 - M$
- Lavorazione
- Trasporto  $M - B2$
- Occupazione  $B2$

# Modello delle attività

## Modello FMS (Flexible Manufacturing Systems) – esempio



### Significato posti:

- $p1$ : occupazione di  $B1$
- $p2$ : trasporto  $B1 - M$
- $p3$ : Lavorazione
- $p4$ : trasporto  $M - B2$
- $p5$ : occupazione  $B2$
- $p6$ :  $B1$  disponibile
- $p7$ :  $R$  disponibile
- $p8$ :  $M$  disponibile
- $p9$ :  $B2$  disponibile

### Significato transizioni

- $t1$ : inizio ingresso
- $t2$ : inizio caricamento
- $t3$ : inizio lavorazione
- $t4$ : inizio scaricamento
- $t5$ : inizio uscita
- $t6$ : fine uscita

# Metodi di modellistica

Esistono diversi metodi per la modellistica di FMS. L'idea è sempre quella di dividere il problema in sotto-problemi più piccoli e semplici.

I metodi sono:

- *Top-down*
- *Bottom-up*
- *Ibridi*

Questi metodi sono spesso definiti diretti, perché a partire dal modello del comportamento del sistema è possibile progettare il regolatore logico dell'impianto.

# Metodi di modellistica

## Metodi top-down

I metodi top-down sono basati su affinamenti successivi della rete di Petri:

- Si parte da una rete semplice (detta di primo livello) che descrive (in modo aggregato) tutte le funzioni del sistema
- Si espande la rete di primo livello, aggiungendo posti e transizioni più di dettaglio. Le regole di affinamento mantengono le proprietà della rete come la limitatezza e la vivezza

# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Metodo di Valette

Si consideri una rete, detta rete di primo livello ( $N1$ ), in cui esistano transizioni 1-abilitate (cioè tali che il numero di gettoni in ingresso a tali transizioni basti solo per uno scatto, in una data marcatura).

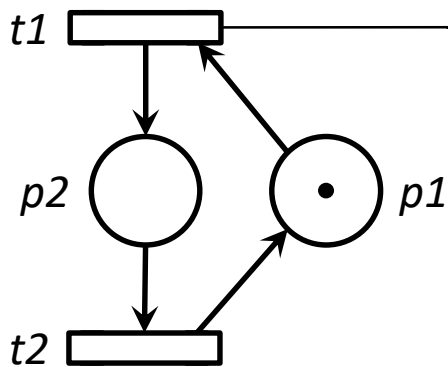
Tali transizioni possono essere sostituite con blocchi ben formati (reti di Petri con ben determinate caratteristiche, che vedremo nelle prossime slide).

L'affinamento della transizione avviene eliminandola e collegando gli archi in ingresso / uscita alla transizione iniziale / finale del blocco ben formato.

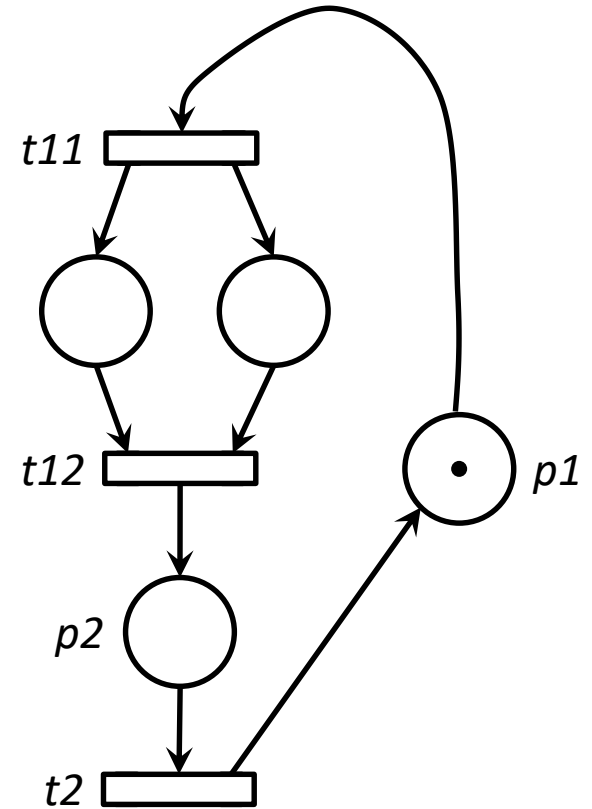
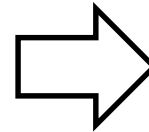
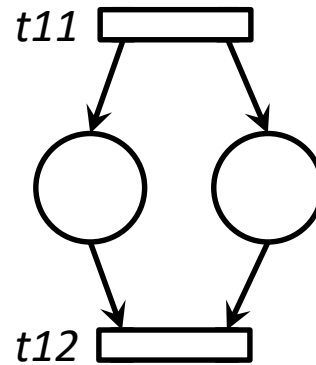
# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Metodo di Valette

Rete di primo livello



Blocco ben formato



# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Metodo di Valette

E' possibile operare anche l'affinamento dei posti.

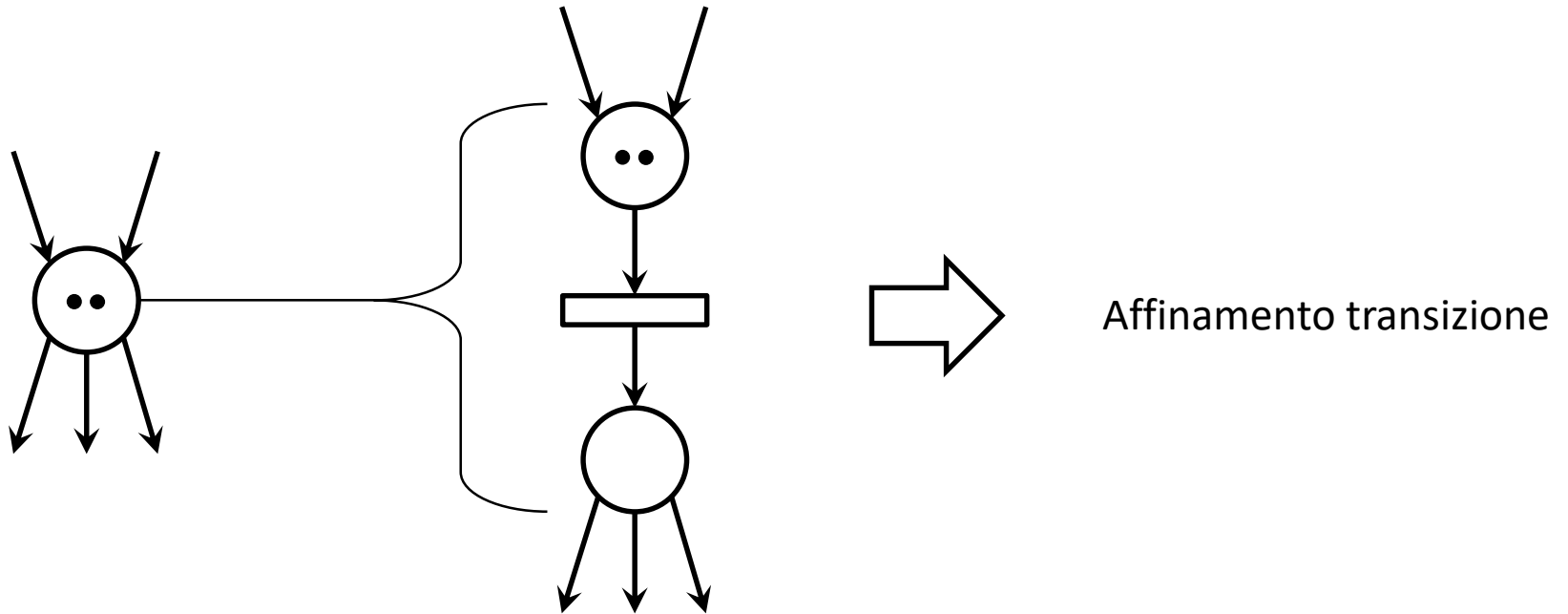
Esso avviene sostituendo prima il posto con una sequenza posto-transizione-posto e poi affinando la transizione intermedia.

Il posto a monte / valle della transizione intermedia viene collegato con gli archi in ingresso / uscita al posto da affinare.

I gettoni originariamente presenti nel posto da affinare vengono trasferiti nel posto a monte della transizione intermedia.

# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Metodo di Valette



# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Metodo di Valette – Proprietà

La rete risultante dopo l'affinamento di una transizione ( o posto) di una rete di primo livello ( $N_1$ ) prende il nome di **rete di secondo livello** ( $N_2$ ).

$N_2$  conserva le proprietà principali di  $N_1$ :

- $N_1$  limitata  $\rightarrow$   $N_2$  limitata
- $N_1$  viva  $\rightarrow$   $N_2$  viva
- $N_1$  reversibile  $\rightarrow$   $N_2$  reversibile

N.B.: Naturalmente questo vale anche per gli affinamenti successivi!

# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Metodo di Valette – Blocco ben formato

Un blocco ben formato ha le seguenti caratteristiche:

- Esistono una sola transizione in ingresso ( $t_{in}$ ) e una sola in uscita ( $t_{out}$ )
- La rete che si ottiene aggiungendo al blocco un posto ( $p_a$ ) marcato con un gettone, che ha nel proprio post-set / pre-set solo la transizione  $t_{in}$  /  $t_{out}$  è viva
- La marcatura iniziale della rete aggiunta è l'unica marcatura raggiungibile in cui  $p_a$  è marcato (con un gettone)
- L'unica transizione del blocco aggiunto abilitata nella sua marcatura iniziale è  $t_{in}$

# Metodi di modellistica

## Metodi top-down – Conclusioni

### Vantaggi

- Garanzia che la rete di Petri finale soddisfi importanti proprietà strutturali
- Semplicità → facile implementazione

### Svantaggi

- Non è semplice garantire la coerenza interpretativa del modello
- Impossibile inserire blocchi non indipendenti

# Metodi di modellistica

## Metodi bottom-up

Nei metodi bottom-up si sviluppano dei sotto-modelli (moduli) indipendenti, che poi vengono connessi, condividendo (per fusione) alcuni elementi della rete.

Si possono fondere posti, transizioni, percorsi (path) particolari (sequenze, alternative, fork-join, ecc...).

# Metodi di modellistica

## Metodi bottom-up - Conclusioni

### Vantaggi

- Sono intrinsecamente adatti al riutilizzo dei modelli
- Se i moduli sono «ben formati» è facile individuare le cause del mancato rispetto di qualche proprietà

### Svantaggi

- Non garantiscono il mantenimento delle proprietà fondamentali
- I metodi che garantiscono il mantenimento delle proprietà richiedono estreme semplificazioni del modello