

Il controllo dei DES con l'approccio diretto

Concetti fondamentali Metodi top-down

1

Controllo dei DES con l'approccio diretto - introduzione -

Idea fondamentale alla base dei metodi diretti.

Costruire un modello formale (ossia con proprietà verificabili) del comportamento desiderato del sistema.

Da questo modello il controllore si ricava con poche e semplici operazioni.

Osservazioni.

La parte difficile è la prima. Rispetto alla modellizzazione dell'impianto non controllato (il che è quanto richiesto dai metodi indiretti), scrivere un modello che comprenda anche le specifiche (il che è quanto serve qui) è un problema più complesso, per due motivi principali.

- Occorre definire un comportamento più complesso, descrivendo tutti i funzionamenti ammissibili del sistema, le "ricette" di produzione, le sequenze di lavorazione, i tipi di prodotti, le macchine necessarie per i vari prodotti, e così via.

NOTA: un modello non controllato di un impianto può anche essere una collezione di reti di Petri indipendenti, ad esempio una per dispositivo: poi "ci pensa il metodo ad attaccarle insieme col controllo" nel rispetto dei vincoli.

- Il modello delle specifiche deve essere "ben costruito", cioè ci vuole un metodo per costruirlo, in modo da garantire determinate proprietà strutturali al termine del progetto.

2

Controllo dei DES con l'approccio diretto - concetti fondamentali -

Per ottenere il modello dell'impianto controllato occorre **manipolare** modelli (nel nostro caso reti di Petri).

In generale, ovviamente, non è garantito che manipolando un modello in modo arbitrario se ne conservi alcuna proprietà.

Occorre definire delle **tecniche di manipolazione dei modelli** che garantiscano la conservazione delle proprietà d'interesse.

Quindi, i metodi diretti di progetto si sostanziano, in ultima analisi, in varie tecniche di manipolazione dei modelli. Noi ne vedremo tre tipi:

- **metodi top-down,**
- **metodi bottom-up,**
- **metodi ibridi.**

3

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

I metodi di progetto top-down sono basati su **affinamenti** successivi di un modello espresso come rete di Petri.

Idea fondamentale dei metodi diretti top-down.

Si parte da una rete molto semplice (**rete di primo livello**) che descrive in modo aggregato il funzionamento dell'intero sistema.

La rete di primo livello è molto astratta ma, essendo molto semplice, è **immediata da analizzare**.

Si **affina** (cioè si espande) la rete di primo livello agendo su posti e/o transizioni, aumentando il dettaglio descrittivo contenuto nel modello.

Si usano delle **regole di affinamento** che **conservano proprietà importanti** della rete, come la limitatezza e la vivezza.

4

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Affinamento di transizioni (metodo di Valette).

Si consideri una rete di primo livello in cui esistano **transizioni 1-abilite** (cioè tali che il numero di gettoni nei posti d'ingresso a tali transizioni basti solo per uno scatto, in una data marcatura).

Tali transizioni possono essere affinate sostituendole con **blocchi ben formati**.

Un blocco ben formato è una rete di Petri con le seguenti caratteristiche:

- **(1)** ha una sola transizione di ingresso (**transizione iniziale**) e una sola transizione di uscita (**transizione finale**);
- **(2)** la rete (detta **blocco aggiunto**) che si ottiene aggiungendo al blocco un posto marcato con un gettone, con la sola transizione iniziale del blocco nel suo postset e con la sola transizione finale del blocco nel suo preset è viva;
- **(3)** la marcatura iniziale del blocco aggiunto è l'unica sua marcatura raggiungibile in cui il posto aggiuntivo è marcato;
- **(4)** l'unica transizione del blocco aggiunto abilitata nella sua marcatura iniziale è la transizione iniziale.

5

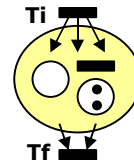
Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Significato di blocco ben formato.

E' utile convincersi che, per poter essere messo al posto di una transizione, un blocco non può essere "qualsiasi", e che nel definire le caratteristiche che deve avere si giunge a definire il blocco ben formato. Analizziamo quest'aspetto.

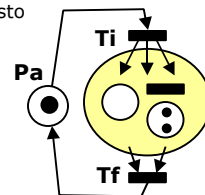
(1) Solo la transizione iniziale **Ti** mette marche nel blocco e solo la transizione finale **Tf** ne toglie. Quindi,

- il preset ed il postset del blocco sono il preset ed il postset di queste due transizioni, ed è **chiaro come mettere il blocco al posto di una transizione**;
- inoltre **ha senso dire che l'evoluzione del blocco "inizia" quando scatta **Ti** e "finisce" quando scatta **Tf****, col che a tale evoluzione si può attribuire il senso di (macro)evento ed essa è pensabile come la descrizione dettagliata di ciò che, al livello di astrazione superiore, è appunto condensato nello scatto di una transizione.



(2) Il blocco aggiunto ottenuto connettendo al blocco ben formato il posto aggiuntivo **Pa**, marcato con un token, è una rete viva. Quindi,

- l'evoluzione del blocco può avvenire un numero arbitrario di volte **indipendentemente da "com'essa è andata" le volte precedenti**, coerentemente col fatto che, se al livello di astrazione superiore una transizione non può più scattare, non è per definizione colpa di quel che avviene "al suo interno", altrimenti tale livello di astrazione superiore è un modello scorretto della realtà.

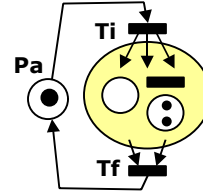


6

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

(3) la marcatura iniziale del blocco aggiunto è l'unica sua marcatura raggiungibile in cui **Pa** è marcato. Quindi,

- l'evoluzione del blocco non può causare la riabilitazione di **Ti**, ovvero la "ripartenza" dell'evoluzione stessa prima che essa sia terminata, coerentemente col fatto che, quando al livello di astrazione superiore la transizione sostituita dal blocco scatta, una volta, ciò significa una sola occorrenza del (macro)evento da essa rappresentato;
- inoltre, ogni volta che il blocco inizia ad evolvere, lo fa a partire dalla stessa condizione, ossia senza tener memoria delle evoluzioni precedenti, coerentemente col fatto che il (macro) evento rappresentato al livello di astrazione superiore dalla transizione sostituita dal blocco è per definizione sempre uguale a sé stesso ogni volta che avviene, altrimenti (di nuovo) tale livello di astrazione non è un modello corretto.



(4) L'unica transizione del blocco aggiunto abilitata nella sua marcatura iniziale è **Ti**. Quindi,

- quando il blocco non evolve, al suo interno non succede nulla; è evidente che se questo non è vero il blocco non può rappresentarsi, al livello di astrazione superiore, con una sola transizione.

NOTA: se la transizione al livello di astrazione superiore non fosse 1-abilitata, la definizione di blocco ben formato si potrebbe ancora dare ma si capisce già che la sua utilità nell'affinare una rete sarebbe minore (basta pensare di mettere più marche in **Pa** e vedere come tutto diventa meno chiaro).

7

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

L'affinamento di una transizione in un blocco ben formato avviene eliminandola e collegando i suoi archi d'ingresso e d'uscita rispettivamente alle transizioni iniziale e finale del blocco ben formato.

Si può dimostrare, e del resto si è già intuito, che la rete affinata (**N₂**) conserva le proprietà di limitatezza e vivezza se queste erano possedute dalla rete di partenza (**N₁**). In particolare

- se **N₁** è limitata **N₂** è limitata,
- se **N₁** è binaria **N₂** è binaria,
- se **N₁** è viva **N₂** è viva.

NOTA: questo non vuol dire che si possono affinare transizioni soltanto in blocchi ben formati; vuol dire però che se non si fa così bisogna riverificare le proprietà della rete dopo l'affinamento, mentre se si usano blocchi ben formati questa verifica non è necessaria.

8

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Affinamento di posti (metodo di Valette).

L'affinamento di un posto avviene sostituendo tale posto con una sequenza posto-transizione-posto e poi affinando la transizione intermedia di tale sequenza con il metodo appena visto per le transizioni. Così facendo

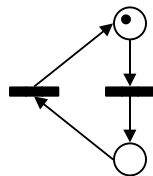
- il posto a monte e quello a valle della transizione intermedia sono collegati rispettivamente con gli archi in ingresso e quelli in uscita al posto da affinare, mentre
- i gettoni originariamente presenti nel posto da affinare vengono trasferiti nel posto a monte della transizione intermedia.

9

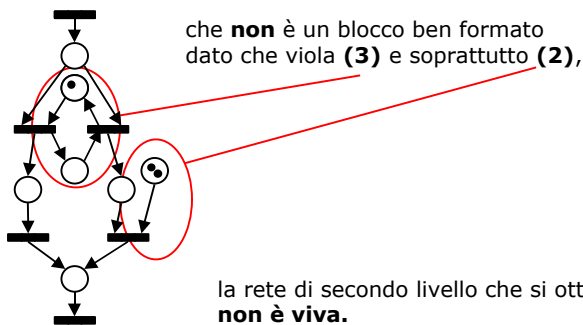
Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

(Contro)esempio 1

Rete di primo livello,
palesamente viva:



Se si sostituisce questa
transizione 1-abilitata
con



10

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

(Contro)esempio 1

Concetti appresi.

L'operazione rappresentata al livello superiore dalla transizione affinata non è priva di memoria del passato e può bloccarsi per ragioni che al livello superiore non sono rappresentate.

Quindi, per trarre conclusioni valide per il sistema fisico (che "funziona al livello di astrazione più basso", dato che in esso nessun fenomeno è "riassumibile" per il fatto medesimo che tutti i fenomeni avvengono), usare la rete di primo livello non è corretto.

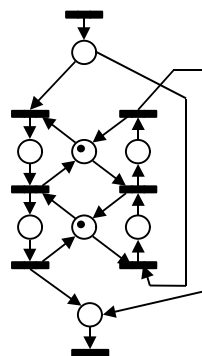
Non tutto è riassumibile in un singolo evento.

11

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

(Contro)esempio 2

La rete



è un blocco
ben formato?

Sì.

Vediamo.

- (1) Ha una sola transizione di ingresso e una sola transizione di uscita?

Sì.

- (2) Il blocco aggiunto è vivo?

Sì.

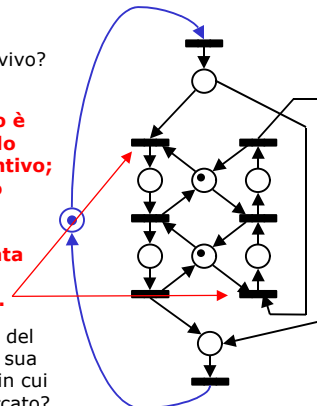
Si noti però che questo è vero se si mette un solo token nel posto aggiuntivo; mettendone più di uno il blocco aggiunto può andare in deadlock, in particolare se all'entrata di due token scattano queste due transizioni.

- (3) la marcatura iniziale del blocco aggiunto è l'unica sua marcatura raggiungibile in cui il posto aggiuntivo è marcato?

Sì (sempre con un token nel posto aggiuntivo).

- (4) l'unica transizione del blocco aggiunto abilitata nella sua marcatura iniziale è la transizione iniziale?

Sì.



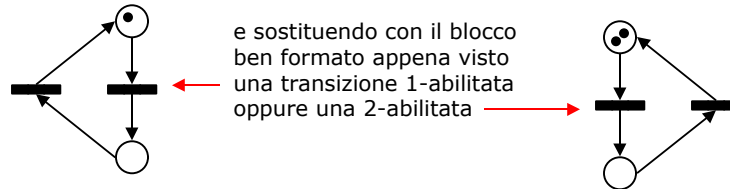
12

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

(Contro)esempio 2

Conseguenza:

partendo da due reti di primo livello palesemente vive



si ottiene nel primo caso una rete di secondo livello viva, nel secondo caso una rete di secondo livello che può bloccarsi.

13

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

(Contro)esempio 2

Concetti appresi.

L'operazione rappresentata al livello superiore può bloccarsi per ragioni che dipendono (anche) dal livello superiore e che in esso sono rappresentate in modo ambiguo, col che tra le reti di primo e secondo livello può esservi incoerenza.

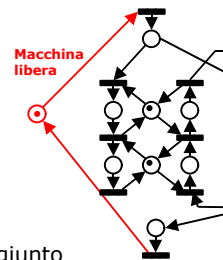
Infatti, il blocco ben formato si potrebbe interpretare come una macchina che non può accettare un nuovo pezzo finché ha finito quello precedente (se non si blocca). Di ciò al livello superiore non può esservi traccia (una transizione modella un evento, che dovrebbe essere *istantaneo*).

Allora, in questo caso perché le reti di ambedue i livelli descrivano correttamente il funzionamento del sistema fisico bisogna

o garantire che la transizione affinata sia 1-abilitata operando così al livello superiore, cioè nel **"comandare da fuori"** la macchina



o, se la transizione è in ogni caso a-abilitata, garantire (operando al livello inferiore, cioè nel **"gestire da dentro"** la macchina) che il blocco aggiunto sia vivo con **a** token inizialmente nel posto aggiuntivo.

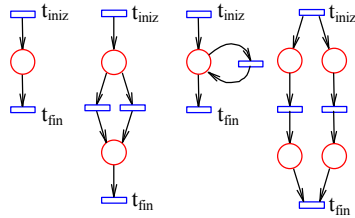


Non sempre mantenere la coerenza tra i livelli di astrazione è cosa ovvia.

14

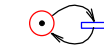
Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Esempi di blocchi ben formati.

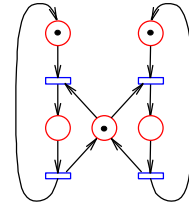


Esercizio: verificare che lo sono.

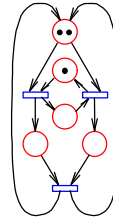
Tipiche (parti di) reti di primo livello.



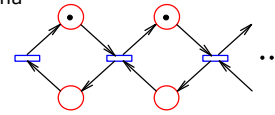
Ciclo di operazioni.



Due sequenze con una risorsa condivisa.



Scelta-sincronizzazione con due sequenze da eseguirsi in alternanza.

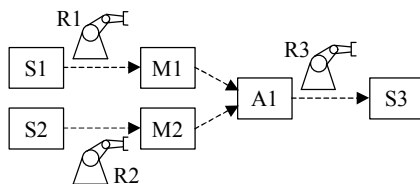


Sincronizzazione di più cicli di lavorazione.

15

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Esempio di progetto con metodo top-down.



Sistema manifatturiero:

- **S1** e **S2** sono magazzini di pezzi grezzi,
- **M1** e **M2** sono macchine,
- **R1**, **R2** e **R3** sono manipolatori di trasporto,
- **A1** è una cella di assemblaggio,
- **S3** è il magazzino dei prodotti finiti.

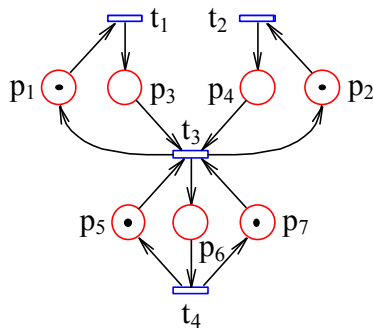
Procedura di lavorazione:

1. **R1** [**R2**] preleva un pezzo da **S1** [**S2**] e lo carica su **M1** [**M2**].
2. **M1** ed **M2** effettuano le rispettive lavorazioni.
3. **R3** preleva il semilavorato di **M1** e lo porta in **A1**, poi preleva quello di **M2** e porta in **A1**.
4. **R3** effettua l'assemblaggio dei due semilavorati.
5. **R3** pone il prodotto finito in **S3**.

16

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Rete di primo livello:



Significato di posti e transizioni:

P1: macchina **M1** disponibile
P2: macchina **M2** disponibile
P3: semilavorato 1 pronto
P4: semilavorato 2 pronto
P5: cella **A1** disponibile
P6: semilavorati 1 e 2 nella cella **A1**
P7: robot **R3** disponibile

T1: macchina **M1** in lavorazione
T2: macchina **M2** in lavorazione
T3: scarico di **M1** e **M2** e carico di **A1**
T4: cella **A1** in lavorazione

Si notano quattro strutture con due posti cui si può attribuire il significato di "libero" e "occupato" relative alle due macchine, alla cella **A1** ed al robot **R3**, e una transizione (**T3**) di sincronizzazione.

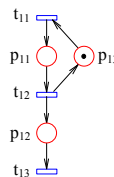
La rete di primo livello è viva e binaria.

17

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

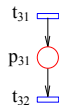
Dettaglio delle operazioni con blocchi ben formati:

Lavorazione di una macchina:
due operazioni, ovvero il carico
e la vera e propria lavorazione.



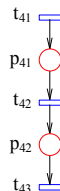
P11: **R1** carica **M1**
P12: **M1** in lavorazione
P13: **R1** disponibile
 (e analogo per **M2**)

scarico delle macchine e carico
della cella:



P31: scarico di **M1** e **M2**
e carico di **A1**

Assemblaggio finale:
due operazioni, ovvero
l'assemblaggio vero e proprio
e il successivo scarico della cella.

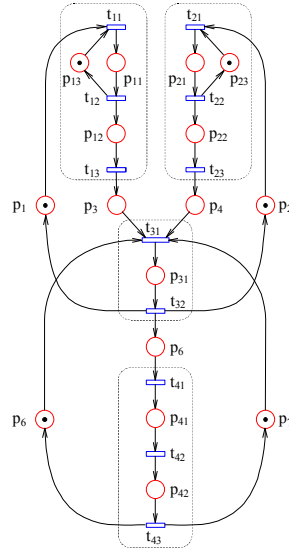


P41: **R1** assembla in **A1**
P42: **R1** scarica **A1**

18

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Rete di secondo livello:



La rete di secondo livello è viva e binaria.

19

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Conclusioni.

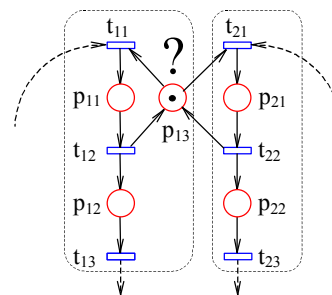
Vantaggi:

- garanzia che la rete ottenuta alla fine (dopo vari passi di affinamento) abbia importanti proprietà strutturali;
- semplicità d'uso, e quindi facile implementazione in ambienti CAD.

Svantaggi:

- limitazioni modellistiche imposte dal dover usare (se non si vogliono riverificare le proprietà ad ogni affinamento) blocchi ben formati;
- impossibilità di inserire blocchi non indipendenti (questo è il limite fondamentale), il che succede tipicamente quando vi sono risorse condivise.

NOTA: Se nell'esempio precedente ci fosse stato un solo robot per il carico delle macchine (risorsa condivisa), il metodo non si sarebbe potuto applicare.



20

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Conclusioni.

Nei metodi top-down,

- o tutte le risorse condivise sono modellate nella rete di primo livello,
- o tutte le risorse condivise devono essere confinate all'interno di blocchi.

I metodi top-down si adattano bene a sistemi dove prevale l'aspetto sequenziale, mentre non sono molto adatti a sistemi dove prevale la concorrenza e vi sono forti accoppiamenti tra parti del sistema a causa della condivisione di risorse.

21

Il controllo dei DES con l'approccio diretto Metodi bottom-up Metodi ibridi (cenno)

22

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi bottom-up -

Idea fondamentale.

Iniziare sviluppando dei **sotto-modelli** o **moduli** indipendenti per parti diverse del sistema e poi connetterli insieme a formare il modello complessivo, condividendo tramite procedimenti di **fusione** alcuni elementi delle reti costituenti i sottomodelli.

Si possono **fondere**

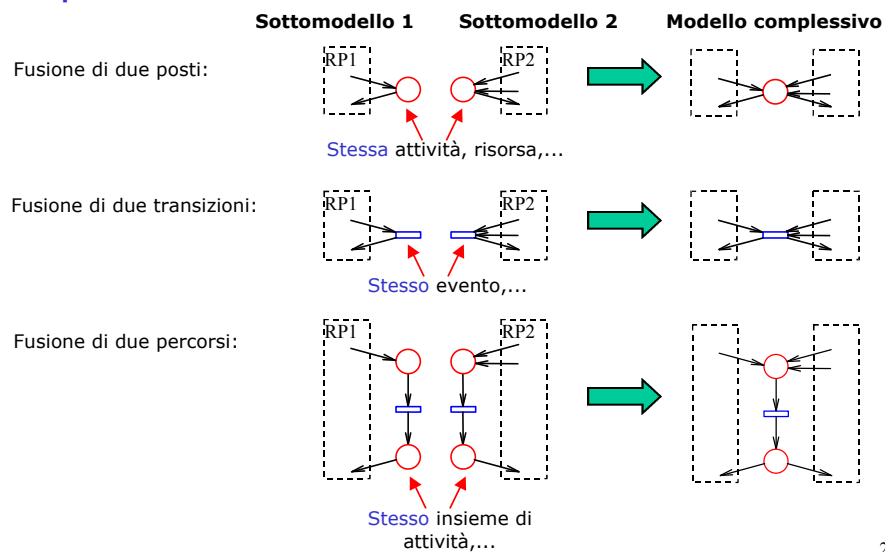
posti,
transizioni,
percorsi (path) particolari quali sequenze, alternative, fork-join, e così via,

che **rappresentano la stessa cosa** (attività, evento, risorsa,...) in tutte le sottoreti che si fondono.

23

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi bottom-up -

Esempi di fusione.



24

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi bottom-up -

Caratteristiche fondamentali.

I metodi bottom-up non sono molto potenti. Infatti

- non garantiscono in generale il mantenimento di alcuna proprietà del modello nel corso dei vari passi di fusione che costituiscono la procedura di progetto, mentre
- i metodi che garantiscono qualche proprietà ci riescono soltanto a prezzo di semplificazioni estreme del modello (non trattiamo quest'argomento).

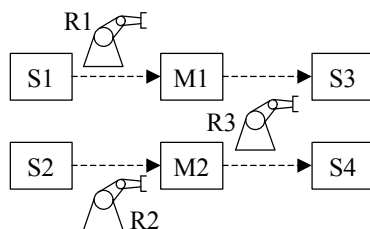
Tuttavia

- i metodi bottom-up hanno dalla loro parte il fatto che sono intrinsecamente inclini al riutilizzo, nella veste di sottomodelli, di modelli già scritti, e
- se si parte da moduli "ben fatti" (ad esempio coperti da P-invarianti e/o da T-invarianti, vivi e reversibili), è di solito facile individuare le cause del non ottenimento di qualche proprietà e porvi rimedio.

25

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi bottom-up -

Esempio di progetto con metodo bottom-up.



Sistema manifatturiero:

- **S1** e **S2** sono magazzini di pezzi grezzi,
- **M1** e **M2** sono macchine,
- **R1**, **R2** e **R3** sono manipolatori di trasporto,
- **S3** e **S4** sono magazzini di prodotti finiti.

Procedura di lavorazione:

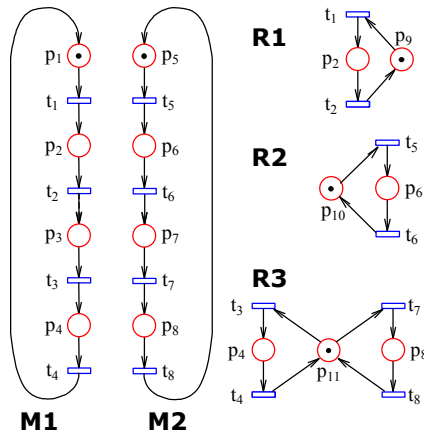
1. **R1** [**R2**] preleva un pezzo da **S1** [**S2**] e lo carica su **M1** [**M2**].
2. **M1** ed **M2** effettuano le rispettive lavorazioni.
3. Al termine delle lavorazioni **R3** preleva il pezzo da **M1** [**M2**] e lo pone in **S3** [**S4**].

26

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi bottom-up -

Sottomodelli.

Per ognuno dei dispositivi dell'impianto è possibile individuare un ciclo di lavorazione:



Significato dei posti:

- P1 [P5]** : **M1 [M2]** disponibile
- P2 [P6]** : pezzo da **S1 [S2]** a **M1 [M2]**
- P3 [P7]** : **M1 [M2]** lavora
- P4 [P8]** : pezzo da **M1 [M2]** a **S3 [S4]**
- P9 [P10]** : **R1 [R2]** disponibile
- P11** : **R3** disponibile

Il significato delle transizioni consegue in modo intuitivo e si omette per brevità.

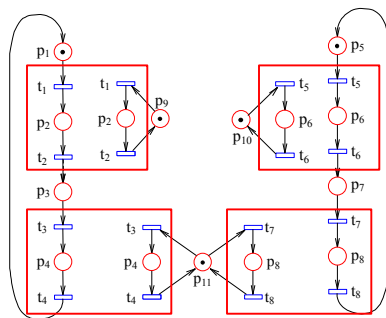
27

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi bottom-up -

Operazioni di fusione.

Tutte le fusioni riguardano sequenze di 3 elementi (transizione-posto-transizione):

- **T1-P2-T2** : il carico del pezzo richiede sia **R1** che **M1**
- **T5-P6-T6** : il carico del pezzo richiede sia **R2** che **M2**
- **T3-P4-T4** : lo scarico del pezzo richiede sia **R3** che **M1**
- **T7-P8-T8** : lo scarico del pezzo richiede sia **R3** che **M2**



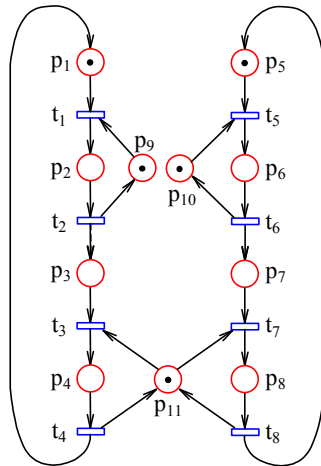
NOTA:

si può fondere ciò che nei due sottomodelli interessati dalla fusione rappresenta la stessa cosa.

28

Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi top-down -

Modello complessivo:



La rete ottenuta descrive la sola risorsa condivisa esistente (**R3**), è viva e binaria.

Osservazione importante.

In generale non c'è garanzia che la rete ottenuta dopo la fusione sia viva, anche se lo sono i singoli moduli che si fondono.

Ad esempio, se al posto di **R1** e **R2** ci fosse una seconda risorsa condivisa, ovvero un singolo manipolatore **R12**, se i due "flussi" produttivi fossero in senso opposto (uno utilizza prima **R12** e poi **R3**, l'altro prima **R3** e poi **R12**) e se le sequenze **T2-P3-T3** e **T7-P7-T6** (in verso opposto alla figura) fossero condensate in un'unica transizione, la rete (che avrebbe allora in luogo di **P9** e **P10** un solo posto dato dalla loro fusione) potrebbe bloccarsi.

29

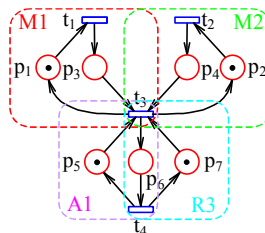
Controllo dei DES con l'approccio diretto - metodi ibridi (cenno) -

Idea fondamentale.

Usare in modo combinato tecniche top-down e bottom-up per avere i vantaggi di entrambe, combinando la flessibilità di utilizzo e riuso dei moduli proprie delle seconde con la garanzia del mantenimento delle proprietà strutturali offerta dalle prime.

Esempio.

la rete di primo livello usata nell'esempio di progetto top-down avrebbe potuto essa stessa essere il risultato dell'applicazione di un metodo bottom-up, ovvero provenire dall'aggregazione di 4 moduli rappresentanti **M1**, **M2**, **R3** e **A1**.



30

Reti di Petri gerarchiche

31

Reti di Petri gerarchiche - premessa -

Nella modellizzazione di sistemi complessi è utile scomporre il modello in **sottomodelli**, il che equivale a introdurre nel modello medesimo una qualche forma di **gerarchia**.

Naturalmente, anche nell'introdurre una gerarchia occorrerà un **metodo** che garantisca, lungo le conseguenti manipolazioni del modello, la conservazione delle proprietà d'interesse (il che, del resto, è un discorso già visto).

Un metodo (ibrido) di questo genere è basato sul metodo di affinamento di posti di Valette, ma opera non su posti ma su reti.

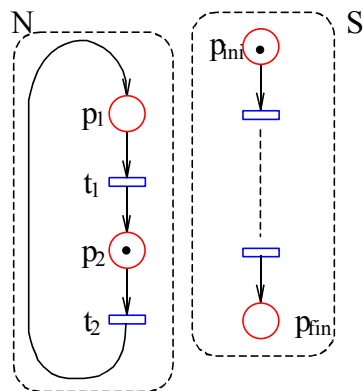
Non si sostituiscono elementi della rete, ma si **sincronizza** la rete contenente il posto da affinare (posto radice) con la sottorete che lo affina.

In tal modo il posto radice (cioè il modello di livello gerarchicamente superiore, ovvero più astratto) e la sottorete (cioè il modello di livello gerarchicamente inferiore, ovvero più dettagliato) **coesistono** e sono opportunamente **coordinati**.

Per introdurre il metodo è bene usare un esempio.

32

Reti di Petri gerarchiche - metodo di Valette -



Supponiamo che il modello più astratto sia la rete di primo livello **N**. In tale rete, il posto **P2** (che chiameremo **posto radice**) rappresenta l'esecuzione di un'attività **A**.

L'attività **A** sia poi rappresentata da una rete di secondo livello **S**.

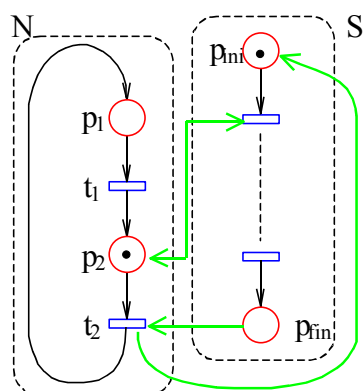
Dovendo affinare un posto, la rete **S** deve avere un unico **posto iniziale Pini** ($\bullet Pini = \emptyset$) e un unico **posto finale Pfin** ($Pfin \bullet = \emptyset$).

Una rete di questo tipo è detta **P-blocco**.

Il modello più dettagliato e mostrante la gerarchia è dunque l'insieme coordinato di **N** e **S**.

33

Reti di Petri gerarchiche - metodo di Valette -



Per costruire il modello complessivo, allora, occorre connettere opportunamente **N** ad **S**, in modo che

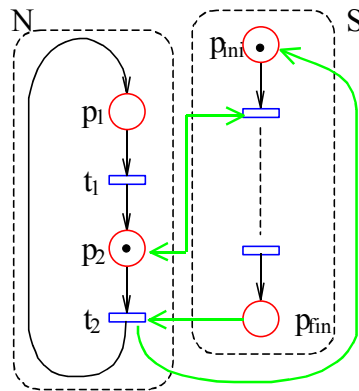
- l'attività **A** venga eseguita quando arriva un token in **P2**
- e tale token resti in **P2** finché **A** non sia terminata.

Questo collegamento è detto **P-connessione** e si ottiene inserendo

- un autoanello tra **P2** e ogni transizione in uscita da **Pini**,
- un arco da **Pfin** ad ogni transizione in uscita da **P2**,
- un arco da ogni transizione in uscita da **P2** a **Pini**.

34

Reti di Petri gerarchiche - metodo di Valette -



Il modello complessivo è **gerarchico**, nel senso che mostra il comportamento del sistema sia "con **A** riassunta in un posto" (guardando **N**) che "con **A** descritta in dettaglio" (guardando **S** mentre in **N** il posto **P2** è marcato).

L'evoluzione della rete **N** non è influenzata dalla P-connessione, ma solo "ritardata" nel senso che al termine si dà nei modelli logici, ossia sincronizzata all'evoluzione di **S**.

35

Reti di Petri gerarchiche - metodo di Valette -

Caratteristiche di un P-blocco.

In modo del tutto analogo alle considerazioni che hanno portato a definire il blocco ben formato, è facile comprendere che non tutte le reti possono giocare il ruolo del P-blocco conservando nel modello dettagliato le proprietà di quello astratto.

E' allora necessario introdurre il concetto di **P-blocco ben definito**.

A tal fine, si chiama **P-blocco aggiunto** la rete ottenuta aggiungendo al P-blocco una transizione che sia in postset a **Pfin** e in preset a **Pini**, marcata inizialmente con un gettone in **Pini**.

Il P-blocco si dice ben definito se e solo se il corrispondente P-blocco aggiunto è vivo e binario.

Detta **F** la rete ottenuta operando una P-connessione tra la rete **N** e il P-blocco ben definito **S**, valgono allora i seguenti risultati:

- **F** viva \Leftrightarrow **N** viva,
- **F** binaria \Leftrightarrow **N** binaria,
- **F** reversibile \Leftrightarrow **N** reversibile.

36