



Diagnosi di reti di Petri mediante grafo di raggiungibilità di base

Andrès Rey

Relatore: Prof. Ing. Alessandro Giua

DIEE, Università degli Studi di Cagliari, Italia

- Introduzione alla diagnosi e definizione del problema
- Diagnosi di reti di Petri
- Simulatore per la diagnosi
- Analisi sperimentale
- Conclusioni e sviluppi futuri

Linea guida

- **Introduzione alla diagnosi e definizione del problema**
- Diagnosi di reti di Petri
- Simulatore per la diagnosi
- Analisi sperimentale
- Conclusioni e sviluppi futuri

Diagnosi di guasto

Guasto: scostamento del sistema dal suo comportamento nominale.

Diagnosi: processo che individua anomalità nel comportamento del sistema e isola la causa di questa anomalità.

I guasti possono essere dovuti a:

- Errori di progetto
- Mal funzionamento dei dispositivi
- Errore dell'operatore

Motivazioni del lavoro

Ci sono tre principali fattori che spingono lo studio del problema:

- I guasti sono inevitabili
- La diagnosi dei guasti è importante (se non cruciale).
- La diagnosi dei guasti è difficile.

Motivazioni del lavoro

Ci sono tre principali fattori che spingono lo studio del problema:

- I guasti sono inevitabili
- La diagnosi dei guasti è importante (se non cruciale).
- La diagnosi dei guasti è difficile.

Motivazioni del lavoro

Ci sono tre principali fattori che spingono lo studio del problema:

- I guasti sono inevitabili
- La diagnosi dei guasti è importante (se non cruciale).
- La diagnosi dei guasti è difficile.

Motivazioni del lavoro

Ci sono tre principali fattori che spingono lo studio del problema:

- I guasti sono inevitabili
- La diagnosi dei guasti è importante (se non cruciale).
- La diagnosi dei guasti è difficile.

Tipi di diagnosi

Il problema della diagnosi dei guasti ha ricevuto larga attenzione nella letteratura e un'ampia gamma di approcci sono stati esplorati:

- Sistemi esperti.
- Diagnosi basata sul modello.
- Reti neurali.
- Diagnosi mediante sistemi ad eventi discreti.

Tipi di diagnosi

Il problema della diagnosi dei guasti ha ricevuto larga attenzione nella letteratura e un'ampia gamma di approcci sono stati esplorati:

- Sistemi esperti.
- Diagnosi basata sul modello.
- Reti neurali.
- Diagnosi mediante sistemi ad eventi discreti.

Tipi di diagnosi

Il problema della diagnosi dei guasti ha ricevuto larga attenzione nella letteratura e un'ampia gamma di approcci sono stati esplorati:

- Sistemi esperti.
- Diagnosi basata sul modello.
- Reti neurali.
- Diagnosi mediante sistemi ad eventi discreti.

Tipi di diagnosi

Il problema della diagnosi dei guasti ha ricevuto larga attenzione nella letteratura e un'ampia gamma di approcci sono stati esplorati:

- Sistemi esperti.
- Diagnosi basata sul modello.
- Reti neurali.
- Diagnosi mediante sistemi ad eventi discreti.

Diagnosi SED

Vantaggi del modello **SED**:

- applicabile sia ai sistemi che ricadono naturalmente nella classe dei SED, sia ai sistemi dinamici a variabili continue
- non richiede dettagli approfonditi per costruire il modello del sistema che deve essere diagnosticato

Diagnosi SED

Vantaggi del modello **SED**:

- applicabile sia ai sistemi che ricadono naturalmente nella classe dei SED, sia ai sistemi dinamici a variabili continue
- non richiede dettagli approfonditi per costruire il modello del sistema che deve essere diagnosticato

Diagnosi SED

Vantaggi del modello SED:

- applicabile sia ai sistemi che ricadono naturalmente nella classe dei SED, sia ai sistemi dinamici a variabili continue
- non richiede dettagli approfonditi per costruire il modello del sistema che deve essere diagnosticato

Approccio mediante automi

Approccio mediante automi affrontato da Stephane Lafortune (University of Michigan).

Limiti di tale approccio:

- Col crescere della complessità del modello da rappresentare cresce il numero degli stati dell'automata.
- Tecniche computazionali non troppo efficienti.
- Esplosione dello spazio di stato e dei tempi di calcolo per diagnosticare il sistema.

Approccio mediante automi

Approccio mediante automi affrontato da Stephane Lafortune (University of Michigan).

Limiti di tale approccio:

- Col crescere della complessità del modello da rappresentare cresce il numero degli stati dell'automata.
- Tecniche computazionali non troppo efficienti.
- Esplosione dello spazio di stato e dei tempi di calcolo per diagnosticare il sistema.

Approccio mediante automi

Approccio mediante automi affrontato da Stephane Lafortune (University of Michigan).

Limiti di tale approccio:

- Col crescere della complessità del modello da rappresentare cresce il numero degli stati dell'automata.
- Tecniche computazionali non troppo efficienti.
- Esplosione dello spazio di stato e dei tempi di calcolo per diagnosticare il sistema.

Approccio mediante Reti di Petri

Potenziati vantaggi delle **reti di Petri**:

- no enumerazione spazio di stato,
- tecniche molto efficienti di analisi strutturale.

Principali contributi:

- Jiroveanu e Boel (2004)
- Cabasino, Giua e Seatzu (2005,2007)

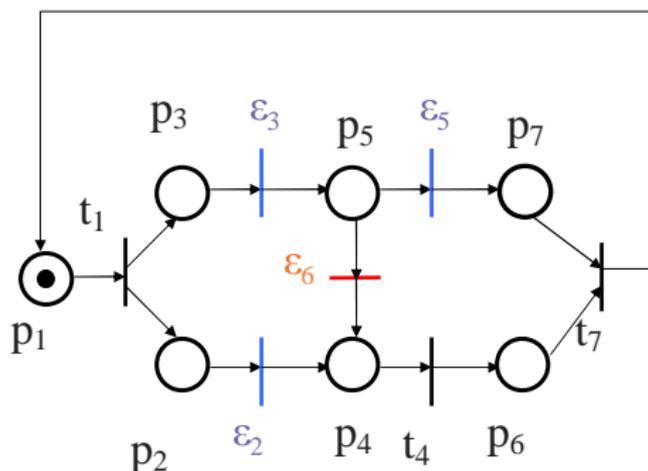
Obiettivi della tesi

- Progetto e implementazione di un simulatore per la diagnosi utilizzando l'osservatore BRG
- Validazione sperimentale tramite il simulatore costruito delle teorie e confronto con approcci Lafortune
- Studio computazionale dei punti critici della procedura

- Introduzione alla diagnosi e definizione del problema
- Diagnosi mediante reti di Petri
- Simulatore per la diagnosi
- Analisi sperimentale
- Conclusioni e sviluppi futuri

Approccio mediante Reti di Petri

Data una RdP assumiamo che i guasti siano modellati da transizioni non osservabili, ma che possano anche esistere altre transizioni N.O. che rappresentano un comportamento legale.



$$T = T_o \cup T_u \quad T_f \subseteq T_u$$

Alla base della costruzione del Grafo Base di Raggiungibilità (BRG) ci sono tre concetti fondamentali:

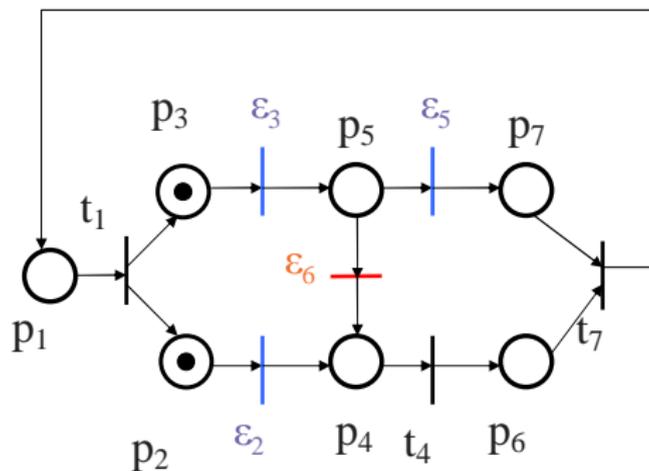
- Spiegazione minime
- Marcature di base
- Stati di diagnosi

Spiegazioni minime

Le transizioni non osservabili non possono essere osservate, ma è possibile accorgersi del loro scatto.

$\Sigma_{min}(M, t)$ è l'insieme delle sequenze più piccole di transizioni non osservabili il cui scatto, partendo dalla marcatura M , è necessario ad abilitare la transizione t .

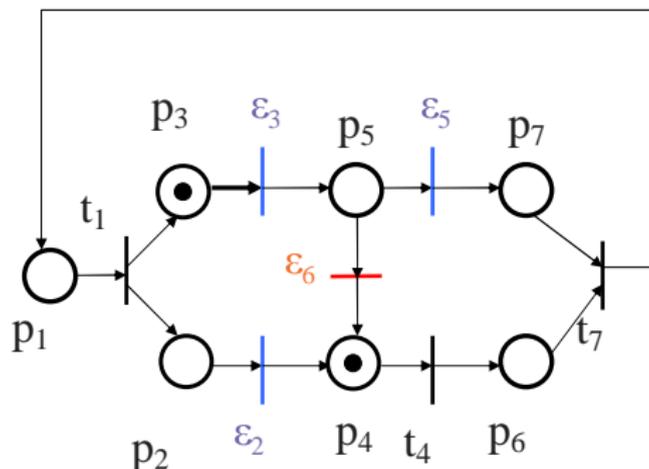
Spiegazioni minime



$$M_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\Sigma_{min}(M_1, t_4) = \{\epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_6\}$$

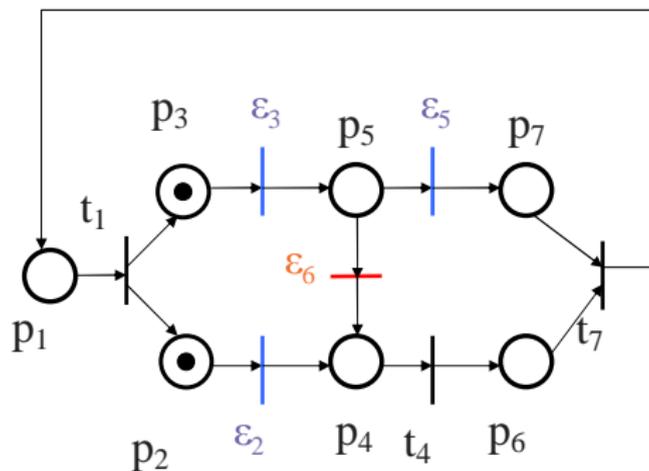
Spiegazioni minime



$$M_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\Sigma_{min}(M_1, t_4) = \{\varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_6\}$$

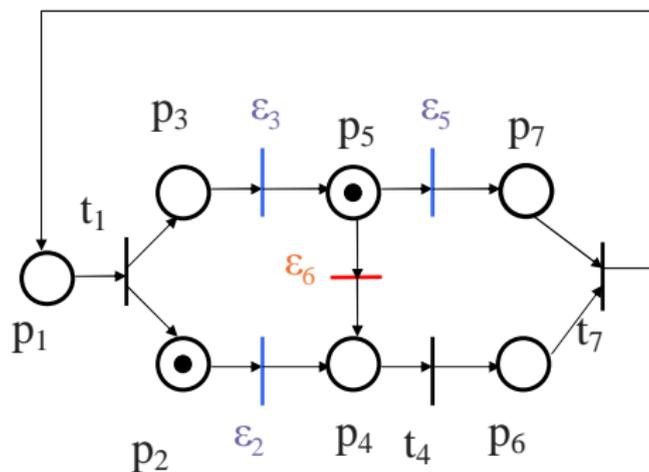
Spiegazioni minime



$$M_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\Sigma_{min}(M_1, t_4) = \{\epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_6\}$$

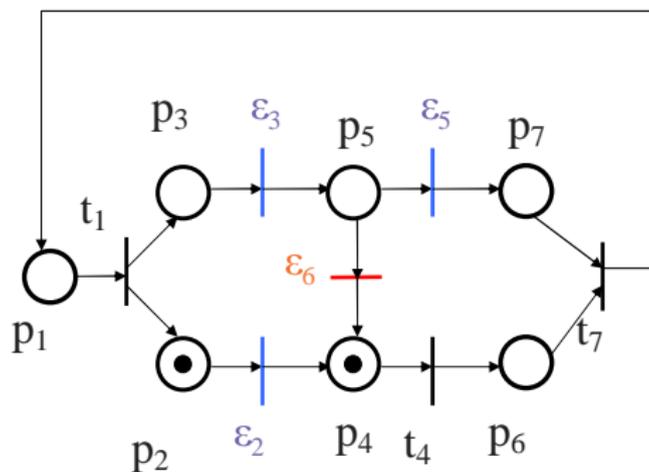
Spiegazioni minime



$$M_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\Sigma_{min}(M_1, t_4) = \{\epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_6\}$$

Spiegazioni minime



$$M_1 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

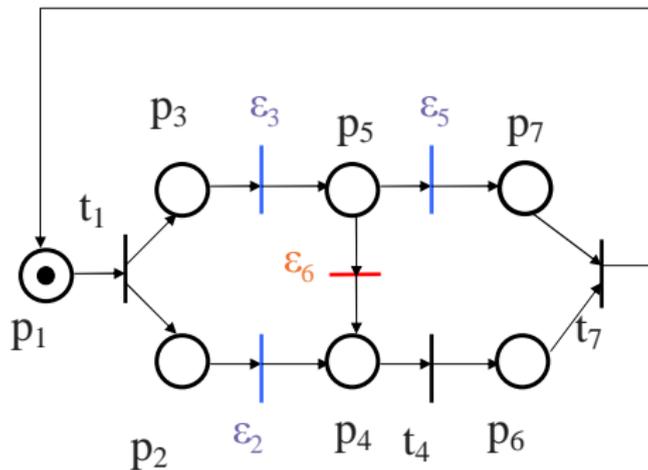
$$\Sigma_{\min}(M_1, t_4) = \{\epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_6\}$$

Marcature di base

La **marcatura di base** è la marcatura raggiunta da M_0 con lo scatto di w e di tutte quelle transizioni non osservabili che sono strettamente necessarie ad abilitare w .

È cioè la marcatura raggiunta con lo scatto di w intervallato da una sequenza di transizioni non osservabili σ_u chiamata la sua **giustificazione**.

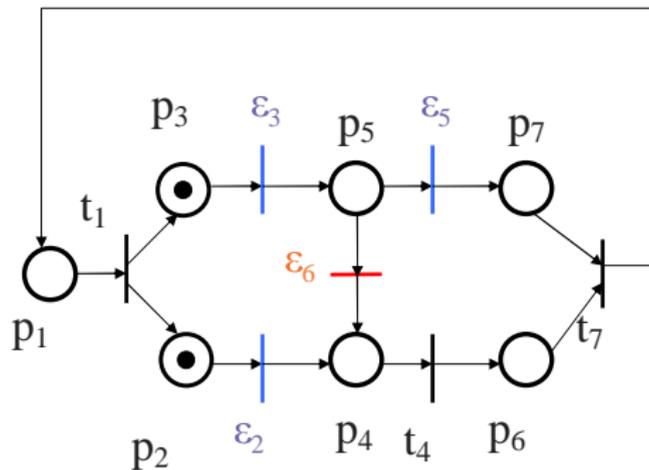
Marcature di base



$$\omega = t_1$$

$$M_1 = [0110000] \quad y_1 = \epsilon$$

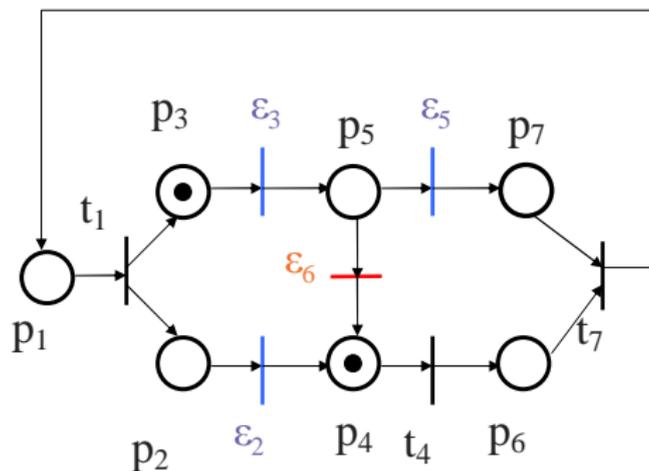
Marcature di base



$$\omega = t_1$$

$$M_1 = [0110000] \quad y_1 = \epsilon$$

Marcature di base

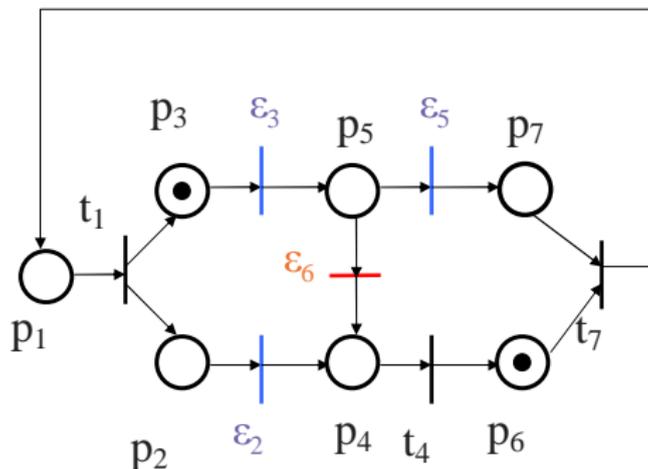


$$\omega = t_1 t_4$$

$$M_1 = [0010010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2)$$

$$M_2 = [0100010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2 \varepsilon_6)$$

Marcature di base

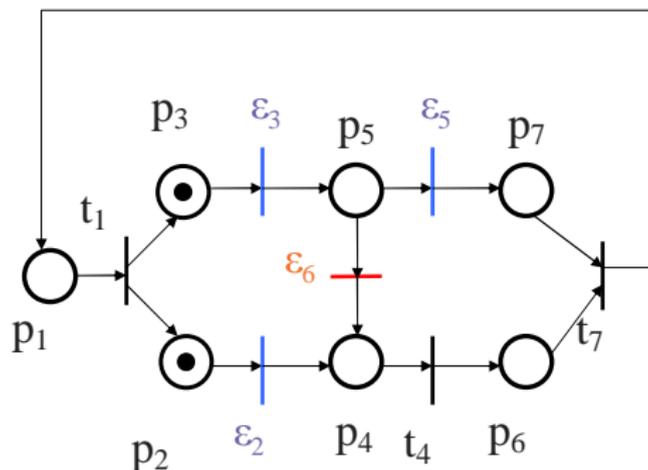


$$\omega = t_1 t_4$$

$$M_1 = [0010010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2)$$

$$M_2 = [0100010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2 \varepsilon_6)$$

Marcature di base

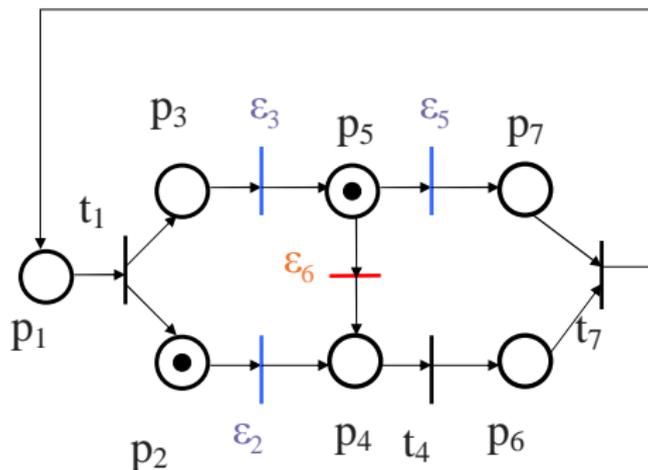


$$\omega = t_1 t_4$$

$$M_1 = [0010010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2)$$

$$M_2 = [0100010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2 \varepsilon_6)$$

Marcature di base



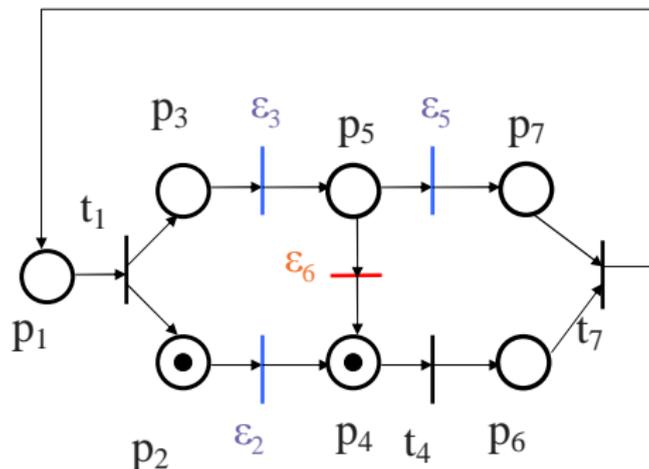
$$\omega = t_1 t_4$$

$$M_1 = [0010010] \quad y_1 = \pi(\epsilon_2)$$

$$M_2 = [0100010] \quad y_1 = \pi(\epsilon_2 \epsilon_6$$

)

Marcature di base

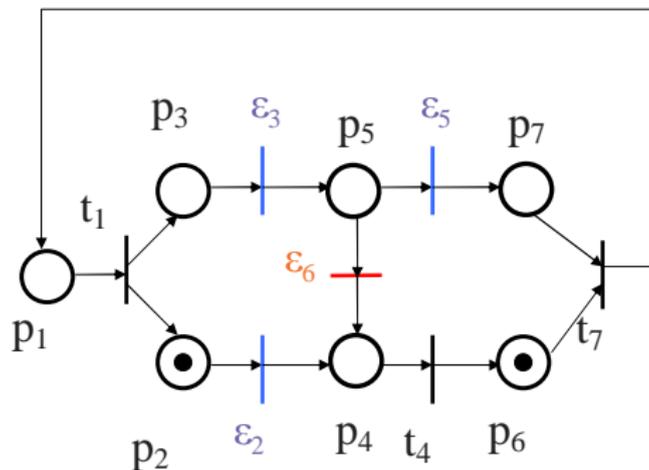


$$\omega = t_1 t_4$$

$$M_1 = [0010010] \quad y_1 = \pi(\epsilon_2)$$

$$M_2 = [0100010] \quad y_1 = \pi(\epsilon_2 \epsilon_6)$$

Marcature di base



$$\omega = t_1 t_4$$

$$M_1 = [0010010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2)$$

$$M_2 = [0100010] \quad y_1 = \pi(\varepsilon_2 \varepsilon_6)$$

Stati di diagnosi

Data una classe di guasto T_f , il diagnosticatore permette di associare ad ogni parola osservata w un corrispondente stato di diagnosi.

$\Delta(w, T_f) = 0$ se nessun guasto $t_f \in T_f$ può essersi verificato

$\Delta(w, T_f) = 1$ se un guasto $t_f \in T_f$ può essersi verificato ma non in una giustificazione di w .

$\Delta(w, T_f) = 2$ se un guasto $t_f \in T_f$ si è verificato in una giustificazione di w ma non in tutte.

$\Delta(w, T_f) = 3$ se un guasto $t_f \in T_f$ si è verificato in ogni giustificazione di w .

Distinzione stato 0 e 1

Qualora nessuna giustificazione di w contenga transizioni di guasto sarà necessaria una ulteriore analisi per distinguere tra lo stato di guasto 0 e 1.

- Lo stato di diagnosi è uguale a 0 se da nessuna marcatura di base associata ad w esiste una sequenza σ_u di transizioni non osservabili contenente il guasto.
- Lo stato di diagnosi è uguale a 1 se almeno da una marcatura di base associata ad w esiste una sequenza σ_u di transizioni non osservabili contenente il guasto.

Distinzione stato 0 e 1

Se ora ipotizziamo la rete aciclica si può presentare un risultato per la distinzione tra lo stato 0 e 1.

Per una rete di Petri la cui la sotto rete non osservabile è aciclica, consideriamo il sistema a variabili intere:

$$\begin{cases} M + C_u \cdot z \geq \vec{0} \\ \sum_{t_f \in T_f} z(t_f) > 0 \\ z \in \mathbb{N}^{n_u}. \end{cases} \quad (1)$$

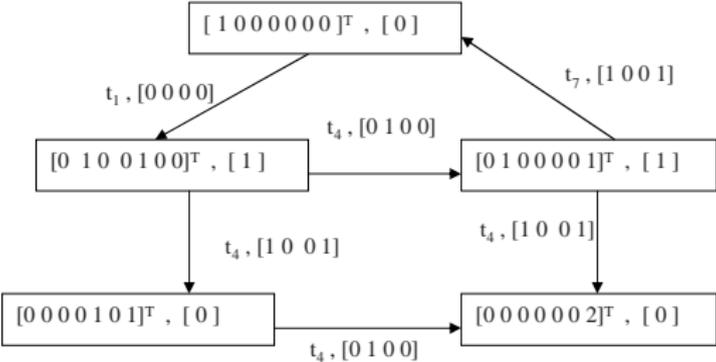
$\Delta(w, T_f) = 0$ se il sistema non ammette soluzione per nessuna marcatura di base M associata a w .

$\Delta(w, T_f) = 1$ se il sistema ammette soluzione per almeno una marcatura di base M associata a w .

Per reti limitate il progetto del diagnosticatore può realizzarsi tramite la costruzione del **grafo di raggiungibilità di base** (BRG).

I maggiori vantaggi nella costruzione del BRG:

- sforzo computazionale off-line
- i nodi del grafo contengono tutte e solo le marcature di base possibili
- il numero delle marcature di base ammissibili può essere enormemente inferiore alla cardinalità dello spazio di stato



Linea guida

- Introduzione alla diagnosi e definizione del problema
- Diagnosi mediante reti di Petri
- **Simulatore per la diagnosi**
- Analisi sperimentale
- Conclusioni e sviluppi futuri

Perchè sviluppare un simulatore

Necessità per validazione teoria del BRG:

- Studio della crescita dello spazio di stato
- Studio della complessità computazionale del sistema per le distinzioni degli stati di diagnosi
- Strumento utile in fase progettuale

Il simulatore è stato sviluppato in MATLAB.

Funzionalità simulatore

Il simulatore permette di:

- Estrarre i parametri necessari per la diagnosi dal disegno grafico della rete
- Calcolo delle spiegazioni minime
- Calcolo delle marcature di base e giustificazioni
- Strumento per la diagnosi on line senza utilizzo BRG
- Determinazione dello stato di diagnosi 0 e 1 interfacciandosi con un tool di programmazione intera
- Costruzione del BRG
- Strumento per la diagnosi on line usando il BRG

Linea guida

- Introduzione alla diagnosi e definizione del problema
- Diagnosi mediante reti di Petri
- Simulatore per la diagnosi
- **Analisi sperimentale**
- Conclusioni e sviluppi futuri

Obiettivi delle simulazioni

Valutare la cardinalità dello spazio di stato e dell'insieme \mathcal{M}_{basis} di tutte le marcature di base al crescere della rete e compararla con la crescita dello spazio di stato.

Valutazione della complessità di computazione del grafo base di raggiungibilità al crescere delle variabili del sistema di programmazione intera.

Modello di studio

Rete di comunicazione

- Diagnosticabile
- Replicabile
- Estendibile orizzontalmente e verticalmente

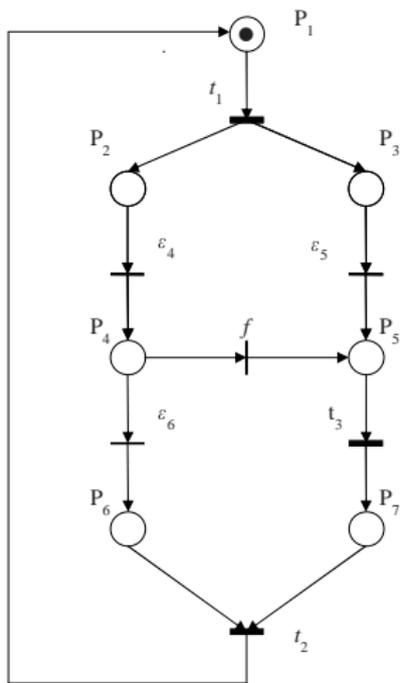
Simulazioni al variare di:

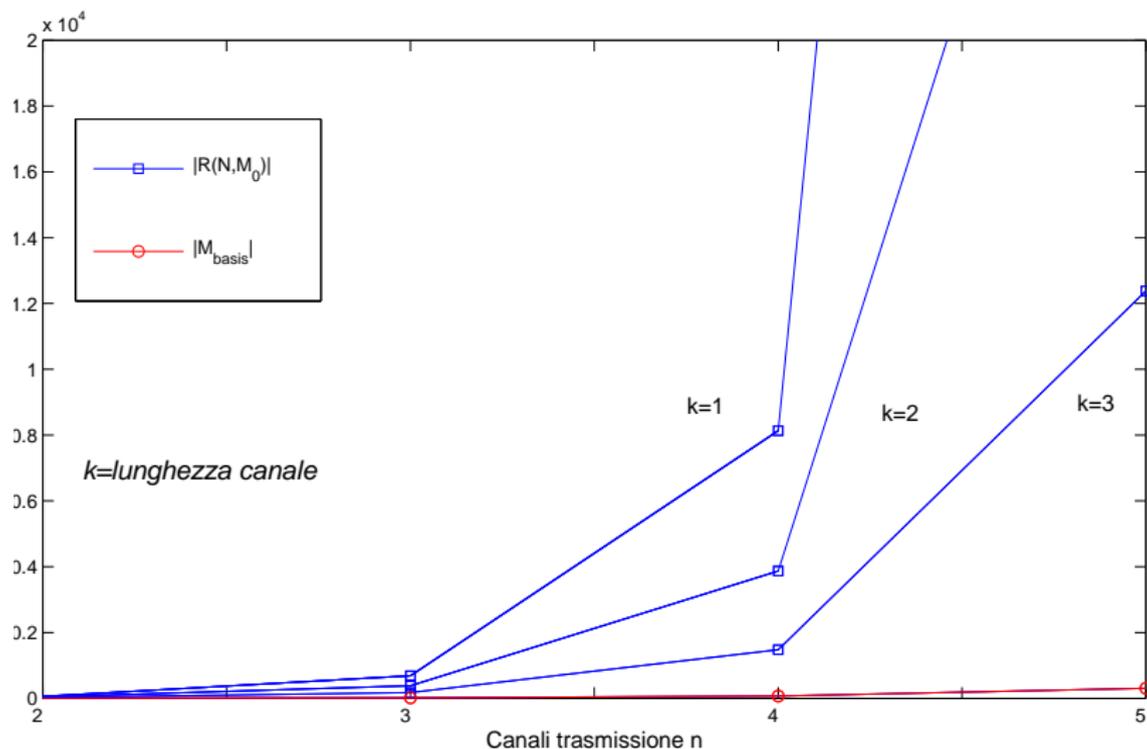
m numero di messaggi nella rete

n numero di canali di comunicazione

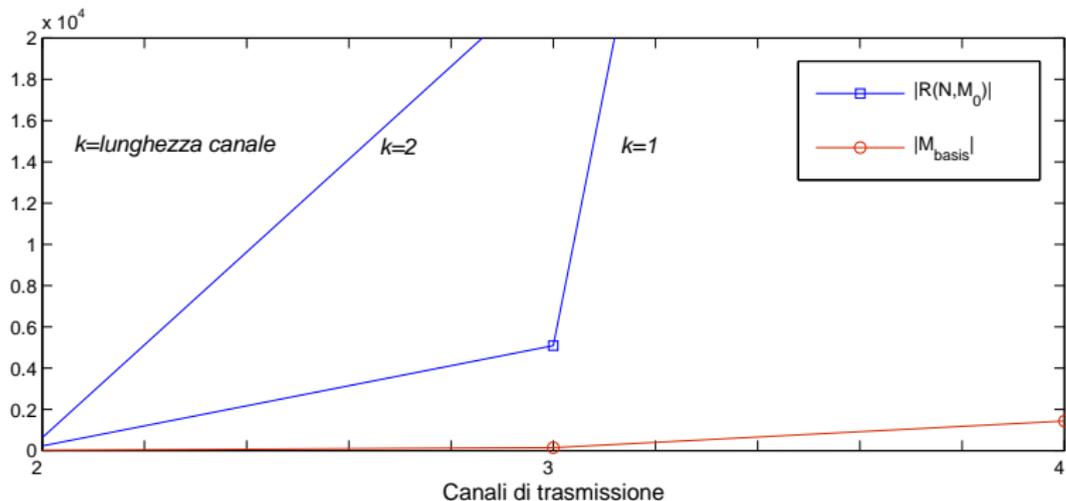
k lunghezza canale di comunicazione

Modello base

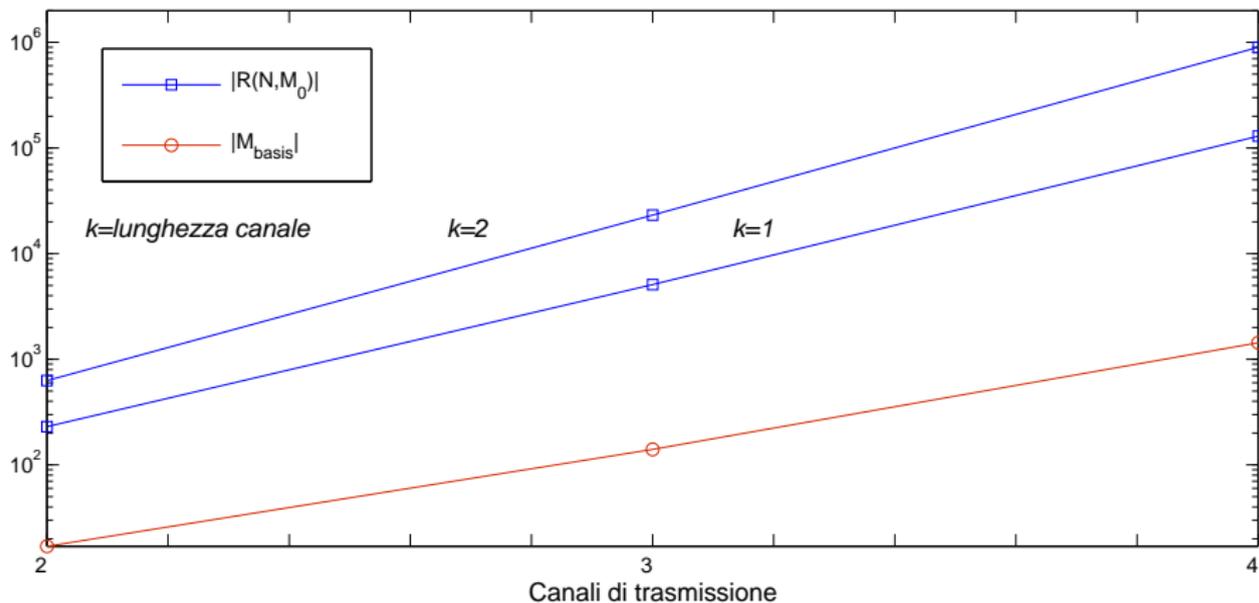


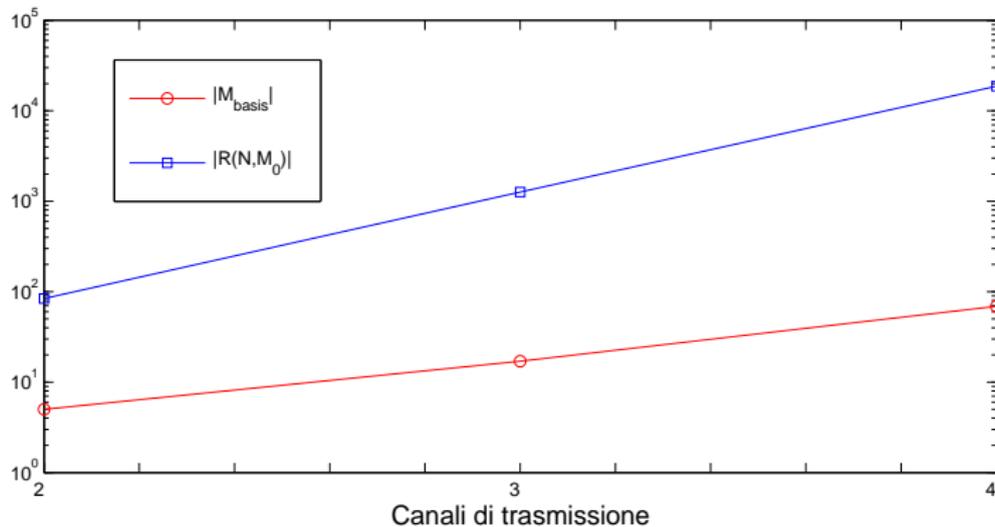
Crescita di $|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$ 

$|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$ con $m=1$

Crescita di $|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$ 

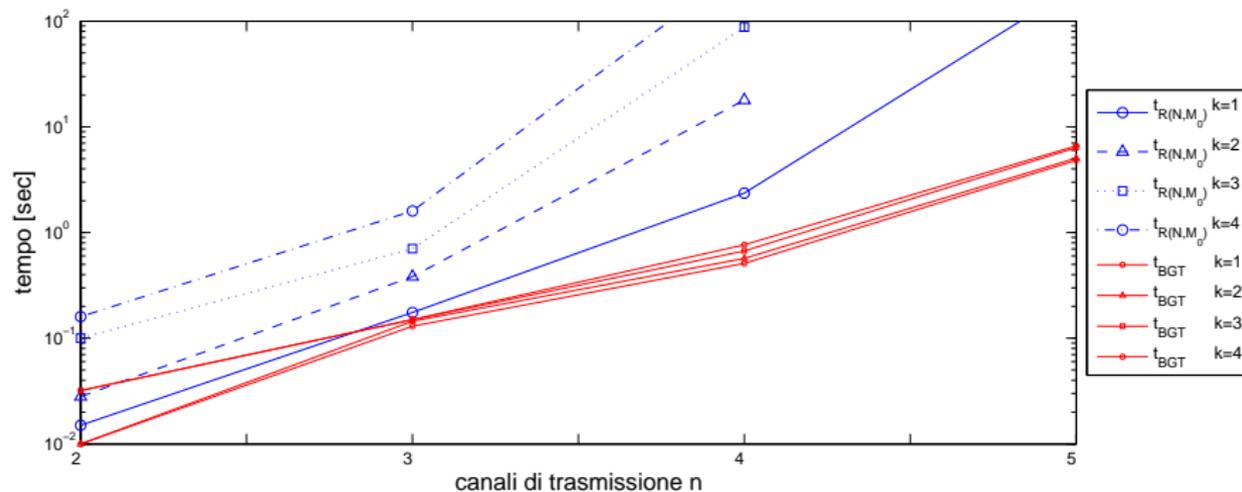
$|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$ per la rete in per il modello con $m=2$

Crescita di $|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$ Crescita in scala logaritmica di $|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$

Crescita di $|\mathcal{M}_{basis}|$ e $|R(N, M_0)|$ 

Differenza di velocità di crescita tra $|\mathcal{M}_{basis}|$ ed $|R(N, M_0)|$

Tempi i calcolo



Differenza di velocità di crescita di \bar{t}_{BGT} e t_R in funzione di n all'aumentare di k

Linea guida

- Introduzione alla diagnosi e definizione del problema
- Diagnosi mediante reti di Petri
- Simulatore per la diagnosi
- Analisi sperimentale
- Conclusioni e sviluppi futuri

Conclusioni

Attraverso l'analisi sperimentale resa possibile da un simulatore costruito ad hoc, è stato possibile:

- Valutare la cardinalità dello spazio di stato e dell'insieme \mathcal{M}_{basis} di tutte le marcature di base al crescere della rete e compararla con la crescita dello spazio di stato utilizzata dall'approccio di Lafortune.
- Valutazione della complessità di computazione del grafo base di raggiungibilità al crescere delle variabili del sistema di programmazione intera

Sviluppi futuri

- Estensione metodologie BRG a tipologie di reti non limitate
- Definizione di metodologia per studiare la diagnosticabilità tramite BRG

GRAZIE A TUTTI

Grazie per l'attenzione!