

Macchinetta per caffè macchiato

Moreno Bragaglio

April 27, 2019

Instructors:

Professor Tiziano Villa

Assistant Professor Luca Geretti

Contents

1	Definizione del sistema	4
1.1	Funzionamento generale	4
1.2	Funzionamento nel dettaglio	5
1.3	Tanica T1	5
1.4	Tanica T2	6
1.5	Tanica T3	6
1.6	Tanica T4	7
1.7	Valvola v_in_T1	7
1.8	Valvola v_out_T1	7
1.9	Valvola v_out_T2	7
1.10	Valvola v_in_T3	8
1.11	Valvola v_out_T3	8
1.12	Valvola v_out_T4	8
2	Automi per la descrizione del sistema	9
3	Problematiche riscontrate	14
4	Risultati e Conclusioni	16
5	Punto di rottura del sistema	19

Abstract

Il sistema analizzato si riferisce a una macchina da caffè. In particolare si vuole riempire una tanica con 6 cl di caffè e successivamente 4 cl di schiuma derivante da latte. Saranno descritti gli automi, usati per rappresentare tutto il sistema. La composizione degli automi utilizza la formula controllore/attuatore nella quale le valvole fungono da attuatori e vengono gestite da un controllore. I risultati sono rappresentati da grafici che descrivono l'andamento del livello dei liquidi nelle varie taniche durante l'evoluzione del sistema.

Particolare importanza è anche data all'analisi delle difficoltà riscontrate. A tal fine, verrà scritta una sezione speciale. Per ogni difficoltà verrà esposta la soluzione raggiunta.

Per sviluppare il tutto si ha utilizzato la libreria Ariadne scritta in C++ [vedere link in bibliografia].

1 Definizione del sistema

Il sistema rappresentato consiste in 4 taniche e 6 valvole ed è descritto come segue:

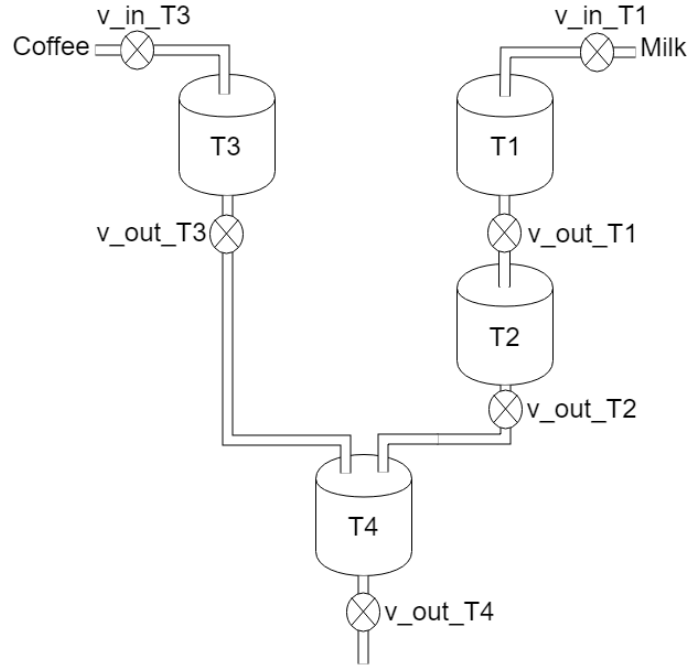


Figure 1: Sistema della macchina del caffè

1.1 Funzionamento generale

Il funzionamento generale prevede che nella tanica T1 entri del latte freddo il quale viene scaldato nella tanica T1 stessa. Successivamente tale latte passa nella tanica T2 nella quale si simula la conversione del latte in schiuma. Nel frattempo la tanica T3 contiene un livello sempre costante di caffè. Nella tanica T4 quindi viene inserito prima di tutto il caffè della tanica T3 e successivamente, una volta che il livello di caffè in T4 è sufficiente, viene aggiunta la schiuma derivante dalla tanica T2.

1.2 Funzionamento nel dettaglio

Andando più nel dettaglio si espone di seguito il funzionamento del sistema analizzando interconnessione tra valvole e taniche.

Inizialmente le valvole del sistema si trovano nella seguente configurazione:

- *valvola v_in_t1*: aperta
- *valvola v_out_t1*: chiusa
- *valvola v_out_t2*: chiusa
- *valvola v_in_t3*: chiusa
- *valvola v_out_t3*: chiusa
- *valvola v_out_t4*: chiusa

Tutte le valvole implementano un comportamento ad isteresi. Esse quindi si aprono e chiudono con una variazione di apertura pari ad $1/T$ dove T è una costante.

1.3 Tanica T1

La tanica T1 è inizializzata con 2 (si suppone ad esempio che l'unità di misura siano cl) già presenti al suo interno. La si riempirà fino ad un totale di 4cl. A tal punto la valvola *v_in_t1* comincia a chiudersi fino a raggiungere la chiusura totale.

In definitiva, dopo i suddetti passaggi, 4 cl di latte si trovano nella tanica T1 e son pronti per passare nella tanica T2. Le valvole *v_in_t1* e *v_out_t1* sono chiuse.

Si noti che il riscaldamento del latte viene idealizzato supponendolo immediato una volta completato il riempimento della tanica T1.

La formula che calcola la variazione di livello di latte nella tanica 1 è:

$$\dot{height_T1} = aperture_v_in_t1 * rate - aperture_v_out_t1 * rate$$

Se la derivata è positiva significa che il livello di latte aumenta, se è negativa allora diminuisce, se è nulla allora rimane invariato.

Il parametro *rate* serve per simulare la pressione nel tubo in cui passa il latte.

1.4 Tanica T2

Inizialmente la tanica T2 è vuota. Una volta che la valvola v_in_t1 si è chiusa del tutto, può cominciare ad aprirsi la valvola v_out_t1 dando inizio allo svuotamento della tanica T1 e al riempimento della tanica T2. Successivamente, quando tutti i cl della tanica T1 son passati nella tanica T2, la valvola v_out_t1 viene chiusa.

In definitiva, dopo i suddetti passaggi, i 4 cl di latte caldo si trovano nella tanica T2 e vengon convertiti in schiuma. La schiuma è quindi pronta per passare nella tanica T4 quando sarà possibile.

Si noti che la conversione da latte caldo a schiuma è idealizzata supponendola immediata una volta completato il riempimento della tanica T2. Inoltre la conversione in schiuma si suppone non generi un aumento ne di volume ne di cl.

La formula che calcola la variazione di livello di latte nella tanica 2 è:

$$height_T2 = aperture_v_out_t1 * rate - aperture_v_out_t2 * rate$$

Per simulare la viscosità della schiuma confronto a quella del latte si è usata la seguente strategia: l'incremento di livello, della tanica T4, con schiuma, viene incrementato più lentamente. Per far ciò si è passati ad un valore della costante T più alto per la valvola v_out_t2 . Tale valore infatti influenza la velocità di apertura della valvola che quindi farà passare la schiuma in un tempo maggiore confronto ad un passaggio di latte.

1.5 Tanica T3

La tanica T3 ha un funzionamento molto semplice. Inizialmente è vuota. Il livello di caffè in essa contenuto vien sempre mantenuto costante. Per fare ciò si è implementato un comportamento che consiste nell'apertura e chiusura contemporanea delle valvole v_in_t3 e v_out_t3 , in tal modo il caffè uscente da T3 è compensato da quello entrante. La formula che calcola la variazione di livello di caffè nella tanica 3 è:

$$height_T3 = aperture_v_in_t3 * rate - aperture_v_out_t3 * rate$$

1.6 Tanica T4

La tanica T4 viene inizializzata vuota. Prima di tutto vengono versati 6 cl di caffè tramite l'apertura della valvola v_{out_T3} . Una volta raggiunto tale livello la valvola v_{out_T3} vien chiusa. Quando nella tanica T2 saranno disponibili 4 cl di schiuma essi verranno versati nella tanica T4 attraverso l'apertura della valvola v_{out_T2} . Si noti che si possono versare i 4 cl di schiuma se e solo se nella tanica T4 son già stati versati i 6 cl di caffè.

Una volta quindi che in T4 sono presenti $6 + 4 = 10cl$ di liquidi, T4 viene svuotata completamente. Si suppone che lo svuotamento sia immediato come se avvenisse un cambio di T4 con un'altra tanica.

1.7 Valvola v_{in_T1}

- *Apertura*: si apre quando la tanica T1 è vuota e la valvola v_{out_T1} è completamente chiusa. Si noti che durante lo svuotamento di T1 il livello di latte al suo interno cala ma ciò non deve causare apertura della valvola v_{in_T1} al fine di ristabilire i 4 cl in T1. Questo è dovuto al fatto che altrimenti non avrei più la gestione totale di 4 cl di latte ma di una quantità maggiore andando quindi contro le specifiche.
- *Chiusura*: resta chiusa quando nella tanica T1 son già presenti i 4 cl di latte.

1.8 Valvola v_{out_T1}

- *Apertura*: si apre solo quando nella tanica T1 sono presenti i 4 cl di latte e le valvole v_{in_T1} e v_{out_T2} sono chiuse del tutto.
- *Chiusura*: si chiude solo quando nella tanica T2 vengon versati tutti i 4 cl della tanica T1

1.9 Valvola v_{out_T2}

- *Apertura*: si apre solo quando nella tanica T2 sono presenti i 4 cl di schiuma e nella tanica T4 son già presenti i 6 cl di caffè derivanti dalla tanica T3.
- *Chiusura*: si chiude quando il livello di T4 supera i 10 cl.

1.10 Valvola v_in_T3

- *Apertura*: si apre nello stesso istante in cui si apre la valvola v_out_T3
- *Chiusura*: si chiude nello stesso istante in cui si chiude la valvola v_out_T3

1.11 Valvola v_out_T3

- *Apertura*: si apre quando la tanica T4 è vuota.
- *Chiusura*: si chiude quando la tanica T4 raggiunge un livello di caffè pari a 6 cl.

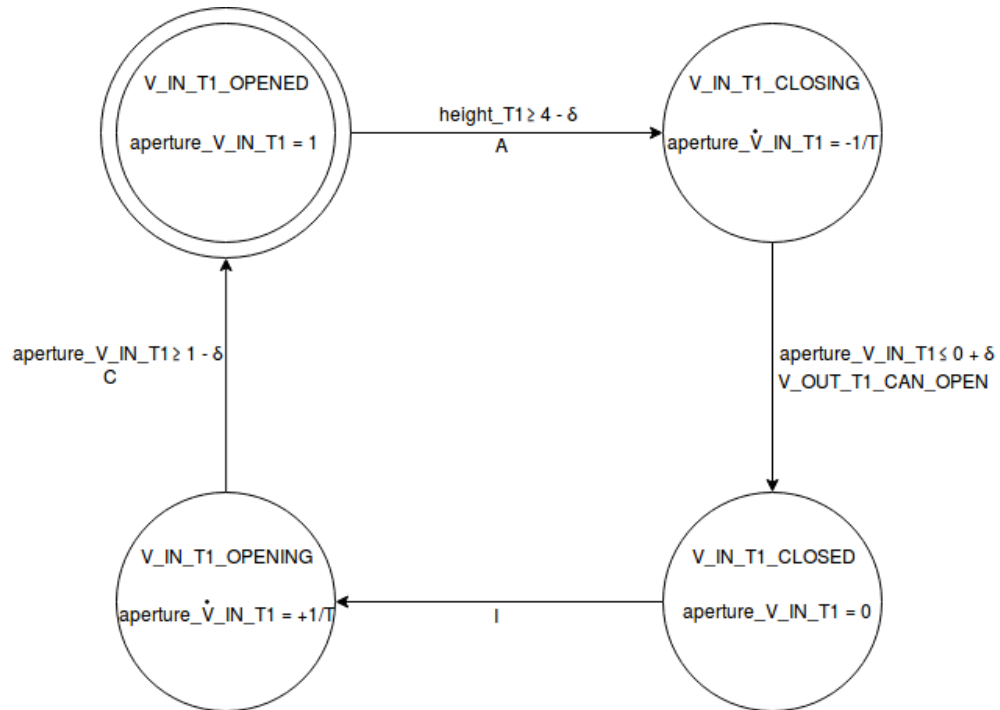
1.12 Valvola v_out_T4

- *Apertura*: si apre se e solo se nella tanica T4 si hanno almeno 10 cl di liquido. Questa è l'unica valvola che non segue il comportamento ad isteresi. L'apertura è quindi immediata facendo svuotare istantaneamente la tanica T4.
- *Chiusura*: rimane chiusa se e solo se nella tanica T4 si hanno meno di 10 cl di liquido.

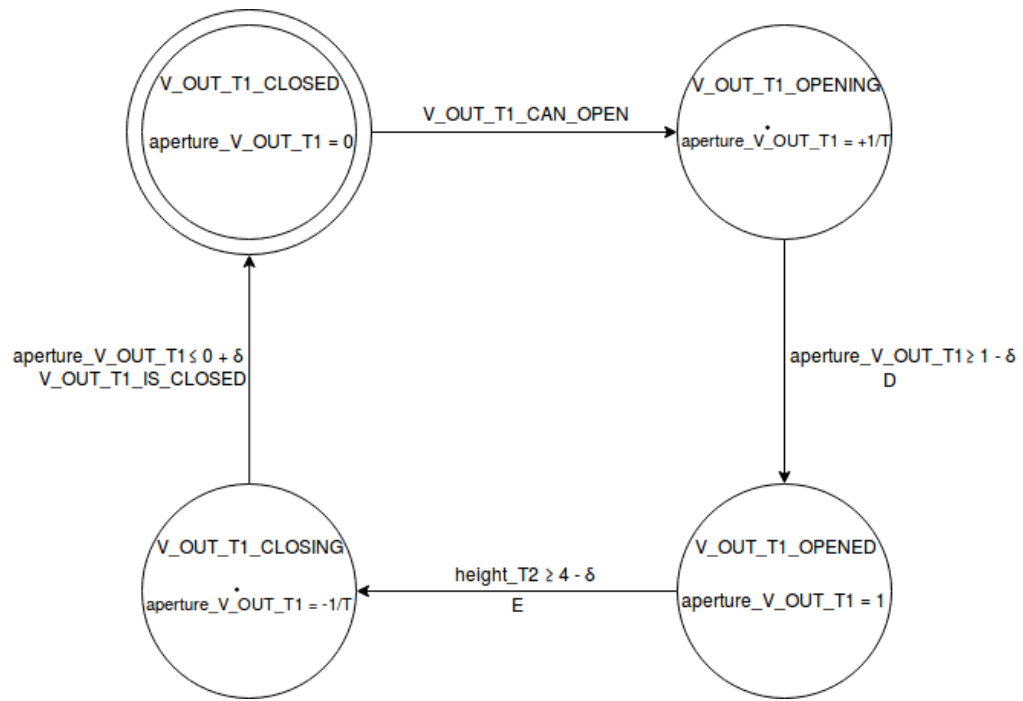
2 Automi per la descrizione del sistema

Vengono di seguito riportati gli automi necessari per il funzionamento del sistema. Si noti che l'implementazione utilizza una costante δ in modo tale da simulare la gestione di rumore che potrebbe affliggere il sistema.

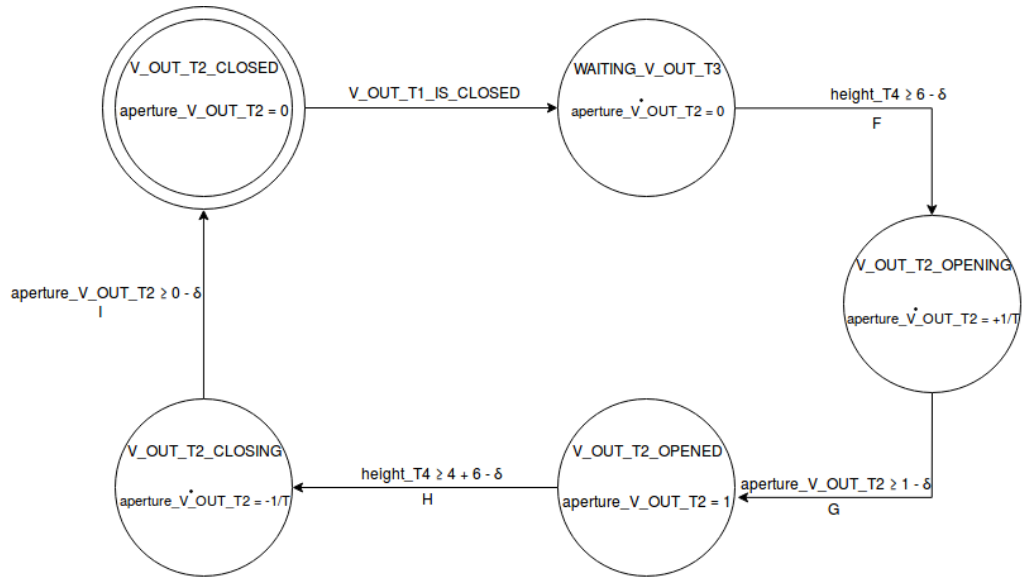
- **Controller 1**



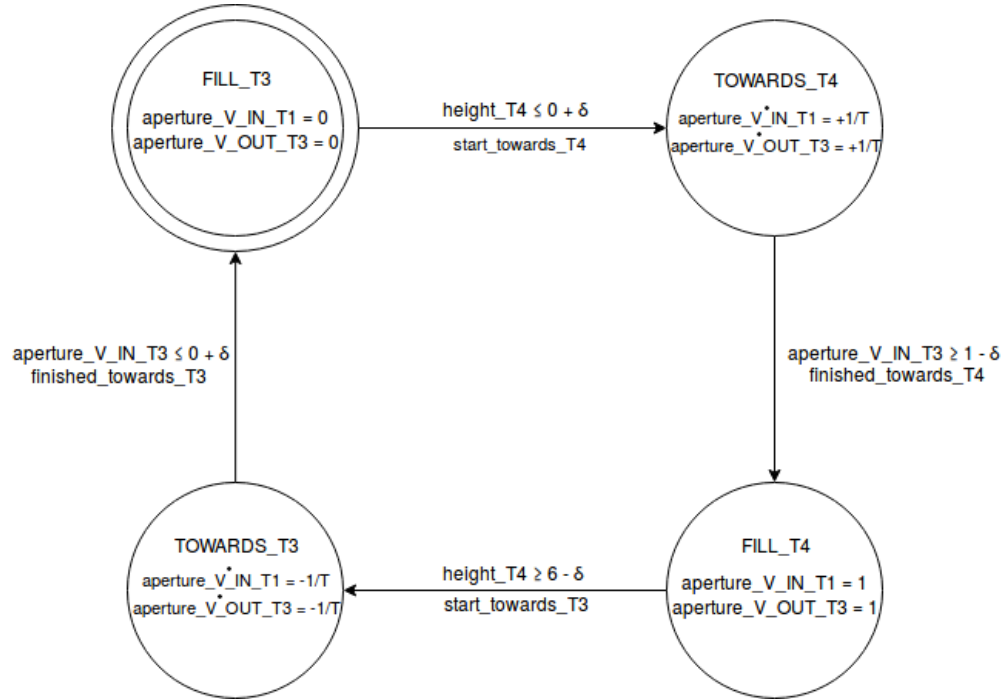
- Controller 2



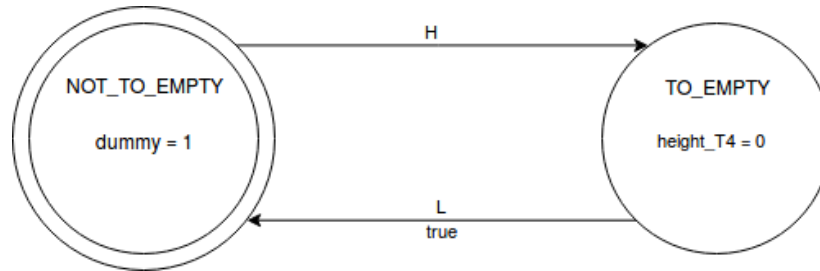
- Controller 3



- Controller 4



- Controller 5



- Tank 1

$$\begin{array}{c} \text{DRAINING} \\ \dot{\text{height_T1}} = \text{rate} \cdot \text{aperture_V_IN_T1} - \text{rate} \cdot \text{aperture_V_OUT_T1} \end{array}$$

- Tank 2

$$\begin{array}{c} \text{DRAINING} \\ \dot{\text{height_T2}} = \text{rate_T2} \cdot \text{aperture_V_OUT_T1} - \text{rate} \cdot \text{aperture_V_OUT_T2} \end{array}$$

- Tank 3

$$\begin{array}{c} \text{DRAINING} \\ \dot{\text{height_T3}} = \text{rate} \cdot \text{aperture_V_IN_T3} - \text{rate} \cdot \text{aperture_V_OUT_T3} \end{array}$$

- Tank 4

$$\begin{array}{c} \text{DRAINING} \\ \dot{\text{height_T4}} = \text{rate} \cdot \text{aperture_V_OUT_T2} + \text{rate} \cdot \text{aperture_V_OUT_T3} \end{array}$$

3 Problematiche riscontrate

Si riporta di seguito un elenco delle maggiori difficoltà riscontrate durante lo sviluppo del progetto.

- *Problematica 1*

Si supponga di avere uno stato B all'interno del quale si ha un'equazione differenziale.

La difficoltà è stata nel comprendere che quando si effettua una transazione da uno A a tale stato B, la transazione deve contenere il comando *next* in modo da specificare il nuovo stato iniziale della variabile derivata nell'equazione differenziale.

Si è capito infatti che ad ogni iterazione bisogna sempre definire il valore delle variabili altrimenti queste è come se non fossero gestite. In particolare non bisogna quindi pensare che se una variabile non viene utilizzata in un certo stato allora essa mantiene l'ultimo valore che le è stato assegnato; Se una variabile viene creata, bisogna poi, ad ogni iterazione, gestirla dicendo quale è il suo valore futuro utilizzando appunto il comando *next*.

- *Problematica 2*

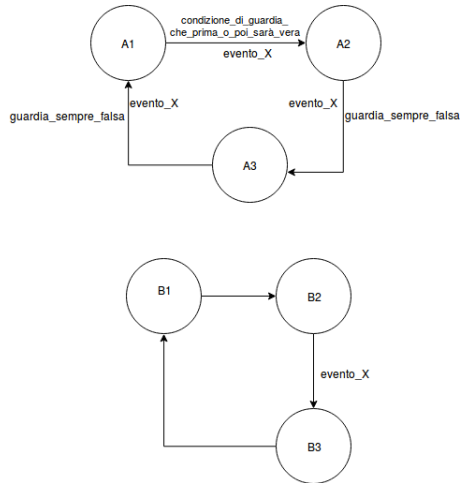
Si supponga di avere due automi A1 e A2 che comunicano tra loro. In particolare si supponga che l'automa A generi un messaggio X su una sua guardia e l'automa A2 abbia una transizione che scatta nel momento in cui viene generato il messaggio X. In pratica si ha un classico comportamento "*Event Driven*" per sincronizzare tra loro A1 e A2.

Può capitare che Ariadne dia errore malgrado la sincronizzazione logicamente sia corretta. Questo perchè il sistema può evolvere in modo tale che il messaggio X venga generato ma A2 non sappia chi ha generato tale messaggio.

Di conseguenza si è obbligati a specificare per ogni stato dell'automa A1 la transazione con messaggio X, ma con una guardia falsa, in modo che tale transazione non possa mai capitare. In tal modo l'automa A2 sa che potrà ricevere il messaggio X solamente dallo stato desiderato dell'automa A1 e mai da altri.

Tutto ciò serve a far sì che il sistema sia un "*sistema chiuso*" cioè si vuole cercare di avere sempre sottocontrollo l'evoluzione in modo da limitare al massimo la possibilità di errore.

Volendo fare un esempio grafico, i seguenti automi espongono bene il concetto:



(a) Problema comunicazione ad eventi

Si nota che se l'automa $A = \{A1, A2, A3\}$ genera l'evento X in modo che l'automa $B = \{B1, B2, B3\}$ possa sincronizzarsi, allora l'automa A è meglio che non contenga ambiguità su quale stato genera tale evento X. Per far ciò appunto bisogna indicare, tramite transazioni con guardie false, che nessun'altro stato di A può generare l'evento X.

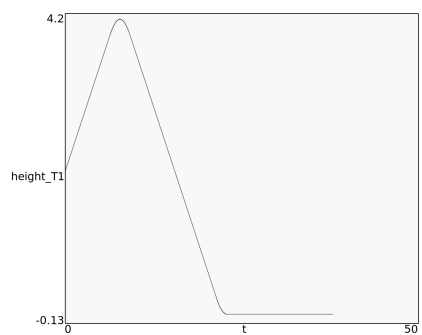
Non è un obbligo perchè magari non si incade mai nella situazione in cui B si mette in attesa dell'evento X e l'automa A si trova in stati diversi da A1, ma se questo accadesse bisogna procedere come detto. Perciò è consigliabile sempre, per prevenire errori, mettere tali transazioni false.

- *Problematica 3*

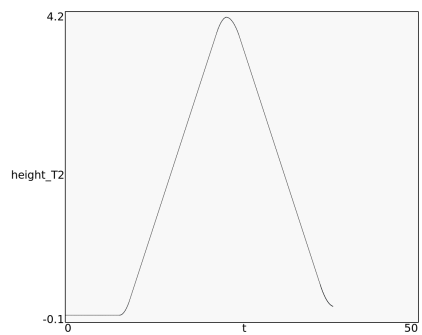
Alcune difficoltà sono sorte anche dalla non sempre semplice interpretazione dei messaggi d'errore restituiti da Ariadne. Non è sempre stato facile interpretarli al fine di capire quale effettivamente fosse l'errore. Spesso tali messaggi erano sottoforma di codice piuttosto che in linguaggio umano. Di fatto ciò ha reso poco comprensibile, a chi non ha scritto la libreria Ariadne, il motivo dell'errore in esame.

4 Risultati e Conclusioni

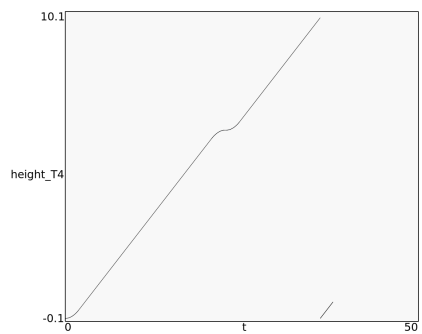
Il sistema è analizzabile attraverso l'esame dei seguenti grafici che rappresentano la variazione del livello nelle varie taniche nel corso del tempo.



(b) Tanica T1



(c) Tanica T2



(d) Tanica T4

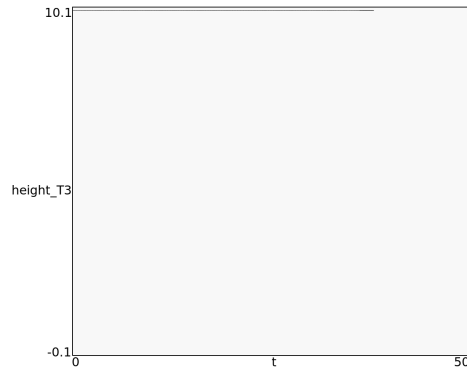
Figure 2: Livello nelle taniche durante l'evoluzione del sistema

Da tale grafico si nota che la tanica T1 inizialmente già contiene una certa quantità di latte (2 cl) e che quindi si riempie fino a 4 cl (valvola v_{in_T1} aperta). Nel momento in cui è piena la valvola v_{in_T1} comincia a chiudersi fino alla completa chiusura (punto di massimo globale nel grafico della tanica T1).

Successivamente comincia ad aprirsi la valvola v_{out_T1} e di conseguenza, nello stesso istante, comincia a riempirsi la tanica T2. Come si vede anche dai grafici, quando T1 si svuota del tutto T2 si riempie del tutto. Da qui in poi T1 rimarrà vuota finchè non verrà chiusa del tutto la valvola v_{out_T2} . Nel momento in cui la tanica T2 è piena, la valvola v_{out_T1} comincia a chiudersi fino a raggiungere la chiusura totale.

Durante il corso di tutto il procedimento descritto, la tanica T4 si è riempita di caffè tramite l'apertura della valvola v_{out_T3} fino al raggiungimento di un livello pari a 6 cl. Una volta raggiunto tale livello la valvola v_{out_T3} si chiude fino a completa chiusura. Dal grafico si vede che quando in T4 ci sono i 6 cl, si ha un momento di stallo in attesa che la tanica T2 sia piena. Infatti quando poi la tanica T2 si riempie completamente essa comincia a svuotarsi tramite l'apertura della valvola v_{out_T2} e conseguentemente si ha il proseguo di riempimento della tanica T4. Quando la tanica T4 raggiunge i 10 cl significa che la tanica T2 si è svuotata del tutto. Ciò è visibile dai grafici nei quali appunto l'istante di svuotamento totale di T2 e riempimento totale di T4 combaciano.

Si vede poi che T4 si svuota istantaneamente in accordo con l'automa *controller* 5. In seguito T4 riprenderebbe a riempirsi di caffè e il ciclo ricomincerebbe da capo.



(a) Tanica T3

Figure 3: Livello nella tanica T3 durante l'evoluzione del sistema

Infine si noti che, in accordo con l'automa *controller 4* la tanica T3 mantiene il suo livello di caffè costante. Infatti, durante l'evoluzione del sistema, se si apre la valvola `v_out_T3` per riempire la tanica T4, in contemporanea si apre anche la valvola `v_in_T3`. Stesso discorso per la fase di chiusura.

In conclusione si è riusciti a rappresentare il sistema desiderato tramite la libreria Ariadne. Una versione scaricabile di tale progetto è presente su GitHub nel link lasciato nella bibliografia.

5 Punto di rottura del sistema

Il sistema presenta ovviamente un limite dato dai valori delle costanti che possiede. In particolare alterando tali parametri il sistema cade in comportamenti non desiderati.

Un esempio è l'immagine seguente:

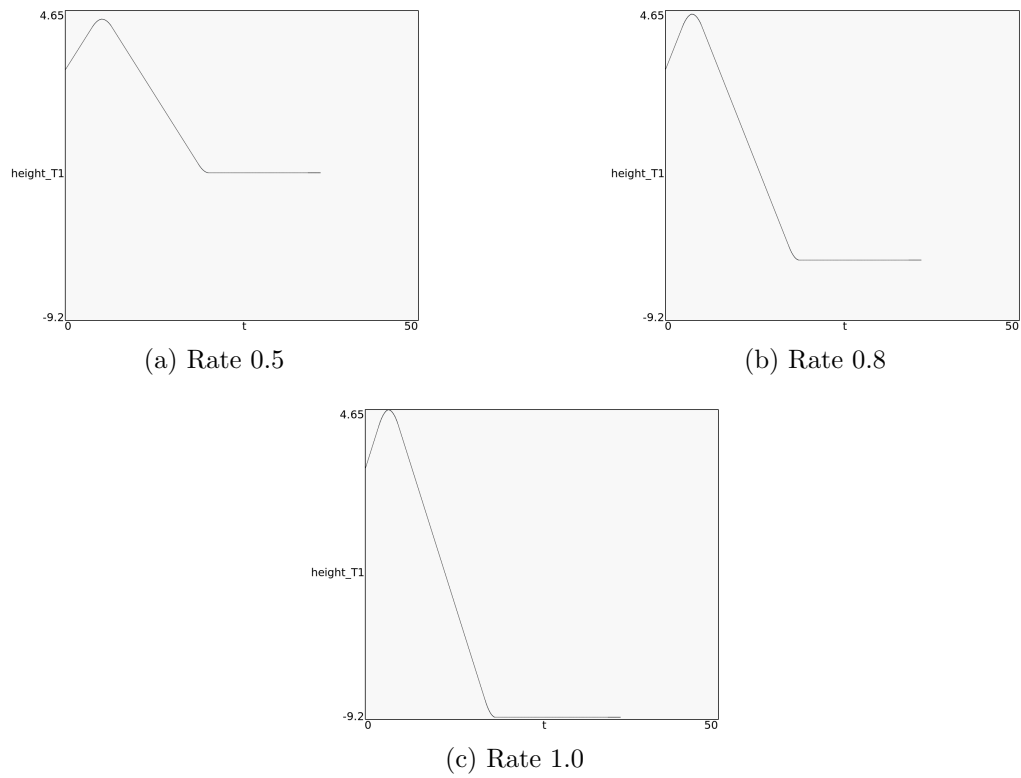


Figure 4: Comportamento non desiderato della tanica T1 all'aumentare della costante *rate*

Il comportamento atteso dalla tanica T1 è che il livello di latte in essa arriva ad un picco di 4 cl e successivamente si svuota fino ad un minimo di 0 cl. Tuttavia, come si nota dalle immagini sopra riportate, alterando il parametro *rate* si incorre in tali massimi e minimi:

- Per *rate* pari a 0.5 il livello di latte nella tanica T1 ha:
 - Massimo: 4.2646
 - Minimo: -2.6
- Per *rate* pari a 0.8 il livello di latte nella tanica T1 ha:
 - Massimo: 4.4513
 - Minimo: -6.5
- Per *rate* pari a 1.0 il livello di latte nella tanica T1 ha:
 - Massimo: 4.6425
 - Minimo: -9.1

Perché il sistema si rompe in tal modo?

Poniamo ad esempio che il valore di *rate* impostato faccia sì che il passo di riempimento della tanica sia 1.2. Ciò significa che la tanica si riempirà nel seguente modo:

- 1.2
- 2.4
- 3.6
- 4.8

Ma se lo scopo è riempire tale tanica fino a 4.0 e la guardia è "livelloTanica $\geq 4.0 - \delta$ " (con $\delta = 0.1$) significa che di sicuro la tanica verrà riempita fino a 4.8 con un errore quindi pari a 0.8 (errore troppo grande). Infatti quando il livello arriva a 3.6, la guardia è falsa quindi si va avanti a riempire la tanica con un altro passo arrivando ad un livello di 4.8.

Per risolvere il problema bisogna quindi scrivere una guardia diversa cambiando il valore di δ a 0.4. In definitiva, cambiando *rate* cambia anche il valore che deve assumere δ in modo da non sforare troppo andando oltre i

4 cl desiderati come livello nella tanica (e nemmeno andare troppo sotto zero).

A titolo di esempio si riporta l'evoluzione del sistema con i seguenti valori di rate:

- T controllore 1: 1.5
- T controllore 2: 1.5
- T controllore 3: 2.0
- T controllore 4: 2.0
- rate_in_T1: 0.1
- rate_out_T1: 1.0
- rate_out_T2: 0.05
- rate_in_T3: 0.3
- rate_out_T3: 0.3

I grafici risultanti dei livelli nelle taniche sono i seguenti:

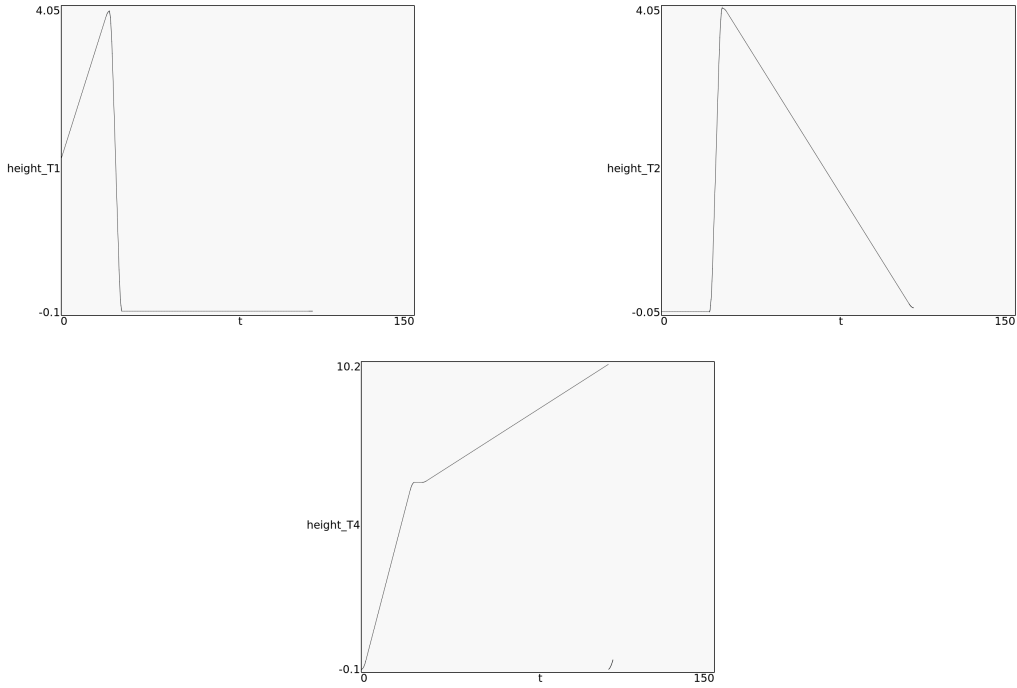


Figure 5: Risoluzione al comportamento non desiderato della tanica T1 all'aumentare della costante *rate*

Il grafico della tanica T3 non vien riportato perchè semplicemente rimane costante.

Come si vede, la tanica T1 non ha più valore che scende fino a -9 utilizzando rate 1.0.

A livello implementativo è bastato quindi modificare il valore di delta nella guardia del controllore 2 nel seguente modo:

```
controller2.new_transition(v_out_t1_opened,E,v_out_t1_closing,{
next(aperture_V_OUT_T1)=aperture_V_OUT_T1},
height_T1<=0+7*delta,EventKind::URGENT);
```

Concludendo, cambiamenti di valori di rate causano obbligo di cambio di valori di delta per far funzionare correttamente il sistema.

Sitografia

- Sito Ariadne:
<http://www.ariadne-cps.org/>
- Link download progetto:
<https://github.com/MorenoBragaglio/caffe>