

ESERCIZI DI SYSTEM DYNAMICS 2

1. **(Ritardi)** Si modellino con delle reti flussi-livello ritardi di tipo materiale, ritardi del primo ordine e del terzo ordine.
2. Simulare le seguenti dinamiche:
 - una vasca viene riempita da un rubinetto che si apre al tempo 10 secondi per 20 secondi e ha una portata di 0,75 litri/secondo. Dopo 20 ulteriori secondi, viene aperto lo scolo, che ha una capacità di 1,5 litri al secondo;
 - un impianto viene alimentato con un flusso costante di 10 litri al minuto che si raccoglie in una prima vasca. Tale vasca viene utilizzata dal processo di distillazione: gli impianti per la distillazione hanno una capacità di 5 litri/minuto e, mediamente, il processo dura 10 minuti. Il liquido distillato viene raccolto in una seconda vasca.
3. **(Processo di lavorazione)** Una ditta per la decorazione artistica di piatti acquisisce i piatti grezzi da un fornitore. All'arrivo, i piatti vengono passati agli artisti che si occupano della decorazione e, quindi, disposti negli appositi forni. È stato stimato che, in base al numero di artisti e forni a disposizione, tutti i piatti grezzi in arrivo sono smaltiti e il tempo medio tra l'arrivo dei piatti e la fine della decorazione è di due giorni. Successivamente, i piatti decorati vengono disposti in un magazzino intermedio, in attesa del confezionamento. Il processo di confezionamento dura un giorno (i piatti sono disponibili per la vendita il giorno dopo il loro confezionamento) e le macchine per il confezionamento hanno una capacità massima di 1000 piatti al giorno. I piatti confezionati sono stoccati nel magazzino vendite. Le vendite giornaliere sono distribuite secondo un'esponenziale di media 670 piatti al giorno. Riguardo gli approvvigionamenti di piatti grezzi, gli ordini vengono emessi ogni volta che il magazzino vendite scende sotto la soglia di 1000 piatti. Ciascun ordine comporta l'arrivo di 2000 piatti grezzi dopo 2 giorni dall'ordine.
 - Si simuli la dinamica dei magazzini intermedio e di vendita.
 - Si determini mediante simulazione una possibile soglia minima delle scorte del magazzino vendite per evitare lo stock-out.
4. **(Conto corrente)** Un conto-corrente bancario è alimentato da uno stipendio mensile di 1500 euro e da una tredicesima una volta l'anno a dicembre di 1300 euro. Le uscite sono dovute a spese varie per 500 euro al mese, un mutuo e le bollette delle utenze luce, gas e telefono. Per quanto riguarda il mutuo, la rata obbligatoria è molto bassa, pertanto si decide di restituire sempre una rata pari a una quota fissa (inizialmente un terzo) dello stipendio mensile. Il mutuo era stato stipulato per un importo di 100 000 euro a un tasso fisso del 9%. Il conto corrente ha inoltre un rendimento mensile dello 0.1%. Le bollette della luce arrivano con cadenza bimestrale (a partire da febbraio) e sono di 60 euro l'inverno e di 40 euro l'estate. Le bollette del gas sono trimestrali (la prima a aprile) e l'importo è di 300 euro l'inverno e 200 euro l'estate. Le bollette del telefono sono bimestrali e l'importo è distribuito secondo una normale di media 50 euro e varianza 10 euro. Si simuli la dinamica del conto-corrente al variare della quota di stipendio mensilmente dedicata all'estinzione del mutuo.

Suggerimenti per la simulazione con AnyLogic

1. I ritardi sono modellati come indicato nelle slide (co-flowing per il ritardo pipeline e blocchi di ritardi del primo ordine per gli altri). Si noti che, per il ritardo del terzo ordine, `delay` è stato diviso per tre in ciascuno dei tre blocchi del primo ordine, per ottenere un ritardo medio complessivo pari a `delay` stesso. In realtà, tra le varie funzioni messe a disposizione da AnyLogic, `delay1` e `delay3` sono equivalenti ai blocchi implementati e restituiscono un ritardo del primo e del terzo ordine, rispettivamente (vedi l'help di AnyLogic per altre funzioni di tipo *delay*).

2. L'esercizio presenta la modellazione di dinamiche di svuotamento con capacità.

Lo svuotamento della vasca, come visto nell'esercizio SD.01.04, presenta delle criticità dovute al fatto che la capacità dello scarico indica una portata massima di uscita, mentre la portata in uscita effettiva dipende anche dal livello dell'acqua. Pertanto poniamo la portata in uscita pari a $\min(\text{CapacitaScolo}, \text{Acqua})$. Per un'implementazione più in linea rispetto ai principi teorici e più robusta rispetto agli errori numerici, preferiamo modellare lo scarico come caso particolare di uno svuotamento con ritardo (del primo ordine), usando un ritardo nullo. Impostiamo quindi il flusso di uscita a

$\min(\text{CapacitaScolo}, \text{Acqua} / \text{ritardoNullo})$: il primo termine indica la capacità massima, il secondo i limiti imposti alla capacità per ottenere un ritardo del primo ordine (se la capacità non impone limiti più stringenti). Chiaramente, un ritardo pari esattamente a zero non è modellabile, quindi approssimiamo il ritardo nullo con un parametro molto piccolo. Notiamo che, in simulazione, se il parametro è *troppo piccolo* (ad esempio 10^{-5}) abbiamo delle oscillazioni inaspettate: queste sono dovute ad errori numerici nell'integrazione, visto che il passo di integrazione di default (parametro Δt dell'integrazione numerica) è più alto (nel nostro caso *Numerical methods > Fixed Time Step* = 10^{-3}) e non consente un tale livello di precisione: aumentando il ritardo (ad esempio 10^{-2}) gli errori numerici, e quindi le oscillazioni, scompaiono, permettendo comunque un livello di approssimazione sufficiente (vedi quanto visto a lezione per la scelta della costante Δt di integrazione).

In modo analogo implementiamo il modello per l'impianto di distillazione. In questo caso il ritardo è richiesto in modo esplicito e lo implementiamo come ritardo del primo ordine. Notare che usiamo una slider per simulare cambiamenti nel tempo di lavorazione: siccome la slider potrebbe indicare un valore di ritardo pari a zero (per indicare un tempo trascurabile), utilizziamo una variabile di passaggio per trasformare tale zero (che non può entrare nella formula del ritardo) in `ritardoNullo`.

3. Il processo di lavorazione è descritto a un livello di dettaglio che suggerisce l'utilizzo del paradigma della System Dynamics, in modo da descrivere l'andamento dei livelli dei diversi magazzini. In effetti, lo stesso sistema potrebbe essere modellato a eventi discreti, immaginando ad esempio entità passanti che rappresentano i piatti, serventi che simulano i processi di lavorazione, e le rispettive code che rappresentano i magazzini: questo paradigma sarebbe stato più appropriato per seguire i singoli piatti, mentre ci è richiesto di analizzare, come già evidenziato, i livelli dei magazzini. Notiamo peraltro che i livelli saranno disponibili come variabili continue, anche se il numero dei piatti è effettivamente intero, ma si tratta di una semplificazione accettabile in questo caso.

Per quanto riguarda il modello, i processi di lavorazione sono assimilati a flussi che svuotano dei livelli (magazzini) per riempirne altri. La dinamica di svuotamento tiene conto dei ritardi (durata della lavorazione media, modellata come ritardo del primo ordine) e delle capacità massime delle lavorazioni nell'unità di tempo (se non è indicata una capacità, si assume che questa sia, ai fini del modello, illimitata, e pertanto modelliamo un ritardo –del primo ordine– senza capacità). Notare che la dinamica delle vendite è nota in termini di distribuzione di probabilità (modello dinamico, continuo e stocastico).

Attenzione: per una corretta visualizzazione dei *Time chart*, controllare che le unità di misura siano coerenti con quelle scelte per la simulazione (in questo caso *days*).

4. In questo esercizio si sottolinea l'utilizzo della funzione `pulseTrain` (vedi l'*Help* di AnyLogic) per l'implementazione di dinamiche periodiche (di periodo maggiore del tempo di simulazione scelto, del tipo *una certa quantità ogni n mesi*, con *n* maggiore di uno: se il periodo è 1 il treno di impulsi diventa una linea continua, e quindi un flusso costante rispetto all'unità di tempo scelta).

Si noti il ciclo di rinforzo che autoalimenta il cc con gli interessi (calcolati sul saldo al mese precedente, come modellato dall'introduzione del ritardo di un mese), e il ciclo di bilanciamento che coinvolge il mutuo estinto (in effetti un goal seeking che tende a riportare il livello del mutuo estinto all'importo del mutuo maggiorato degli interessi passivi, corrispondente all'obiettivo).