

ESERCIZI DI SYSTEM DYNAMICS 1

0. **(Esempio base: diagramma causa-effetto e rete flussi-livello)** Rappresentare il diagramma causa-effetto per la dinamica di una popolazione, tradurlo in una corrispondente rete flussi-livelli e simulare.
1. **(Dinamiche di base)** Costruire delle reti flussi-livello dei modelli base di comportamento per la simulazione delle dinamiche base.
2. **(Un modello di diffusione di Bass)** Si vuole modellare la diffusione dell'utilizzo di un nuovo prodotto commerciale (modello di diffusione di Bass semplificato). Viene individuato un bacino di un milione di potenziali clienti che sono influenzati dal passaparola a partire da un nucleo iniziale di 10 clienti: i clienti effettivi, entrando in contatto con i clienti potenziali, possono spingere questi ultimi all'acquisto, facendoli diventare, a loro volta, clienti effettivi. Si vuole studiare la dinamica dei clienti potenziali ed effettivi, considerando che, mediamente il 50% dei clienti potenziali entrano in contatto con quelli effettivi e che, in questi contatti, il passaparola avviene in misura proporzionale alla percentuale dei clienti effettivi rispetto al numero totale dei clienti. Inoltre, solo il 10% delle occasioni di passaparola si trasformano in effettive vendite.
 - Si produca un diagramma causa-effetto del sistema e si individuino le retroazioni e le relative polarizzazioni.
 - Si implementi una rete flussi-livelli del sistema, si tracci la corrispondenza tra le retroazioni sul diagramma del punto precedente e le retroazioni sulla rete flussi livelli e se ne simuli la dinamica.
 - Si analizzi la dinamica nel caso in cui il prodotto in esame abbia un ciclo di vita di tre anni, al termine del quale i clienti effettivi tornano ad essere clienti potenziali.
3. **(Riempimento e svuotamento: un esempio introduttivo)** Simulare il riempimento di una vasca che riceve acqua da un rubinetto aperto per 20 secondi a partire dal tempo 10, con portata di 0,75 litri al secondo. Simulare quindi lo svuotamento in seguito all'apertura, dopo ulteriori 10 secondi, dello scolo di portata 1,25 litri al secondo.

Suggerimenti per la simulazione con AnyLogic

0. Si possono utilizzare i blocchi della palette *System Dynamics: Dynamic Variable, Parameter e Link* (per le relazioni causa-effetto). I *link* possono essere arricchiti con il verso della relazione causa-effetto e con, eventualmente, il simbolo del ritardo (spunta *delay*). Possono essere anche indicate le retroazioni, introducendo manualmente e caratterizzando gli appositi simboli *Loop* (in altri software di simulazione più orientati alla System Dynamics, l'individuazione delle retroazioni e del loro verso è automatica).
Notare che, in AnyLogic (che è fortemente orientato alla simulazione numerica) la presenza di un *link* obbliga all'utilizzo della variabile causa nella formula di determinazione della variabile effetto, anche se questo non sarà in grado, per l'assenza della differenziazione di blocchi "flusso" e di blocchi "livello", di innescare la dinamica. Si procede quindi a individuare flussi e livelli (oltre che parametri e variabili ausiliarie). Sempre utilizzando la palette *System Dynamics*, i flussi saranno rappresentati tramite i blocchi *Flow*, i livelli tramite *Stock*, i parametri tramite *Parameter* e solo le eventuali variabili ausiliarie (in questo caso non ce ne sono) tramite *Dynamic Variable*.
1. Per la crescita e decadimento esponenziale modelliamo la dinamica di una popolazione governata da un tasso di nascite e di decessi. Ai soli fini della leggibilità, evidenziamo con gli appositi oggetti le retroazioni. Con dei disegni rossi abbiamo anche sottolineato le relazioni di causa-effetto implicite nei flussi (e che pertanto non devono essere indicate nei modelli). Introduciamo esplicitamente dei parametri per i tassi di nascite e decessi, controllati attraverso delle slider. Notare che se, ad esempio, il tasso delle nascite supera quello dei decessi si osserva, come atteso, una crescita esponenziale della popolazione (e delle nascite, coinvolte nella stessa retroazione di rinforzo); viceversa, si osserva, come atteso, una decrescita esponenziale della popolazione (e dei decessi, coinvolti nella stessa retroazione di bilanciamento).
Per il goal seeking e le oscillazioni, usiamo l'esempio della regolazione della temperatura dell'acqua nella doccia (senza e con ritardo, controllato da apposito parametro). Notare che possiamo ottenere un grafico della dinamica delle varie grandezze aprendo una sonda grafica sulle stesse.
2. Si usano gli oggetti introdotti negli esercizi precedenti per implementare sia una versione base del modello, sia una versione arricchita con diverse variabili ausiliarie, per aumentarne il potere esplicativo (vedi slide mostrate a lezione). Si fa notare che da un punto vista quantitativo le dinamiche ottenute sono qualitativamente le stesse e, utilizzando parametri e formule dei flussi coerenti per i due modelli, si ottiene esattamente la stessa dinamica (le curve nei grafici si sovrappongono esattamente).
Per simulare un ciclo di vita limitato del prodotto, possiamo usare un co-flowing con ritardo (nei prossimi esercizi si vedranno modi alternativi per la simulazione di flussi con ritardi di diverso tipo).
3. Usiamo la palette *System Dynamics* per inserire un blocco *Stock*. Quindi inseriamo un flusso verso lo stesso stock, indicando come valore una funzione porta o impulso di altezza 0,75 e larghezza 20 a partire da 10 con $0.75 * \text{pulse}(10, 20)$. Per lo svuotamento, introdurre un ulteriore flusso in uscita dallo stock, valorizzata da una funzione a gradino di altezza 1,25 a partire da 40 secondi con $\text{step}(1.25, 40)$.
Per una panoramica sulle funzioni disponibili si veda *AnyLogic Help > System Dynamics > System dynamics functions* (ad esempio, la funzione `pulseTrain`).
Per evitare che dopo il tempo 50 secondi lo scolo continui a svuotare lo stock, portandolo a valori negativi, correggiamo con l'espressione condizionale $\text{Acqua} > 0 ? \text{step}(1.25, 40) : 0$. Per poter usare in valore di uno stock per valorizzare un flusso è necessario esplicitare la relazione di causa-effetto attraverso un connettore, da inserire utilizzando l'oggetto *Link* nella palette *System Dynamics*. Si suggerisce, ai soli fini estetici di leggibilità del modello, di indicare la polarità (in questo caso "+" oppure "s").