

---

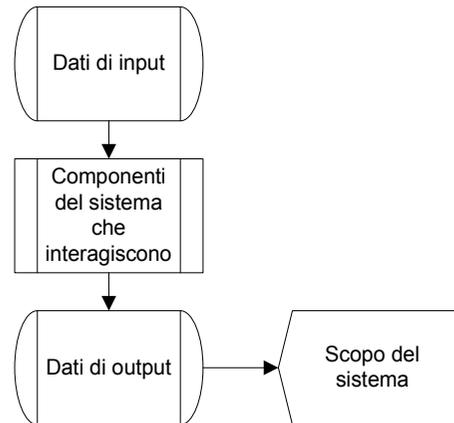
# **Modelli di simulazione**

---

Ing. Andrea Govoni

I modelli di simulazione sono uno strumento per creare ed effettuare esperimenti attraverso un modello matematico (solitamente computerizzato) di un sistema fisico (reale).

Un sistema fisico è definito attraverso l'integrazione di componenti che interagiscono, ricevendo dati di input e fornendo un output per ottenere uno scopo definito.



Gli elementi che si modellano sono:

- persone
- macchine
- mezzi di trasporto
- attrezzature fisse con funzioni di trasporto: nastri trasportatori, scale mobili, gru, carroponti...

La maggior parte dei sistemi può essere simulata, ciò di cui noi ci occupiamo è di simulare sistemi di produzione, di servizi e di trasporto.

Esempi di sistemi di produzione:

- **Lavorazioni:** possono includere processi che interessano sia operazioni manuali che operazioni controllate in modo automatico;
- **Operazioni di assemblaggio**
- **Movimentazione dei materiali:** sistemi con carroponete, nastri trasportatori, carrelli elevatori, AGV (automatically guided vehicles);
- **Stoccaggio e magazzino**

Esempi di sistemi di servizio:

- **Applicazioni sanitarie:** gestioni di ospedali e cliniche mediche, la simulazione viene usata per dimensionare numero di stanze, personale di servizio, turni, ecc.
- **Negozi di vendita al dettaglio**
- **Ristoranti, locali di intrattenimento e simili:** vengono simulate le grandi strutture come i cinema multisala per definire il numero di sportelli per i biglietti, la dimensione delle sale, dei bar e dei negozi;
- **Information technology:** la simulazione permette di valutare quali siano le risorse necessarie ad un progetto, quali reti, architetture hardware, database;
- **Sistemi di gestione ordini, gestione clienti, rete commerciale**

Esempi di sistemi di trasporto:

- **Areoporti e porti:** la simulazione è spesso usata per l'analisi dei flussi (sia di merci che di persone), dimensionamento delle strutture;
- **Trasporti pubblici, treni, metropolitane, autobus:** nelle grandi metropoli si valutano i possibili percorsi per gli autobus, la distanza tra le fermate, il numero di mezzi su ogni linea e la dimensione di ogni mezzo;
- **Distribuzione e logistica:** con la simulazione si valutano la dimensione e la localizzazione dei centri di smistamento, si studiano i percorsi da far percorrere ai mezzi anche in base alle diverse condizioni del traffico.

Tutti questi sistemi presentano una serie di parametri che hanno interazioni e influiscono in modo difficilmente prevedibile sul risultato finale.

**Esempio:** se consideriamo l'esempio di dover strutturare il servizio di autobus in una grande metropoli. Ho alcuni dati di input, cartografia, densità di popolazione nelle varie zone della città, densità di attività commerciali, posizione dei parcheggi, luoghi molto frequentati, luoghi di interscambio (stazioni dei treni, aeroporti).

Lo scopo che voglio ottenere è di creare un sistema efficiente, per questo considero alcune variabili di output che tengono conto del tempo massimo percorso da un mezzo, riempimento del mezzo.

Posso creare un modello e variare i parametri su cui posso agire per dare una struttura al sistema: capacità dei mezzi (minibus, autobus, autobus doppio), frequenza dei mezzi nelle varie ore del giorno, distanza tra le fermate, lunghezza massima dei percorsi (ad esempio in relazione anche all'autonomia dei mezzi).

La simulazione permette di fare previsioni sull'interazione dei vari parametri: ad esempio posso usare pochi mezzi di grande capacità piuttosto che un numero maggiore di mezzi con minore capacità, considerando di mantenere costanti i costi operativi.

## *Scopi della simulazione*

- **Poter analizzare sistemi complessi difficilmente investigabili:** solitamente se un problema è complesso lo si suddivide in varie parti e si analizza singolarmente ognuna di queste, vi sono però dei problemi che riguardano sistemi molto interconnessi in cui il metodo di separazione non funziona. Ad esempio se cerchiamo i “colli di bottiglia” durante la movimentazione merci in azienda, non si può studiare il problema se non considero la velocità delle macchine, il flusso del materiale, le fermate delle macchine per inceppamenti, manutenzione, cambi utensili, ecc., le interazioni coi fornitori, con il piano di produzione, con le spedizioni o la disponibilità del magazzino. Difficilmente alcuni di questi aspetti possono essere esclusi, per questo un modello dinamico viene usato per avere una visione d’insieme.
- **Sviluppare nuove politiche operative e di gestione:** si può anche aver trovato i punti critici di un sistema ma come ne miglioro l’efficienza? La simulazione permette di valutare le possibili scelte per dare all’azienda suggerimenti sulla direzione da prendere.
- **Testare sistemi non ancora realizzati:** se un sistema non esiste, un modello di simulazione può dare una idea di come funzionerà. Il costo di modellare un nuovo sistema è molto limitato rispetto al costo del sistema reale. La simulazione può generare modelli a diversi livelli di dettaglio, ad esempio una nuova linea produttiva quanto impatterà sul magazzino attuale che non posso ampliare?
- **Poter analizzare un sistema senza disturbarlo:** la maggior parte dei metodi sperimentali sfrutta il sistema che si sta investigando per fare delle prove. La simulazione sfrutta un sistema “gemello” di quello reale facendo delle prove senza disturbare il sistema reale.

## ***Vantaggi della simulazione***

- **Tempi ridotti per effettuare le prove:** il tempo della simulazione può essere accelerato per studiare fenomeni che nella realtà avvengono più lentamente. Se voglio analizzare varie possibilità di piani di manutenzione (che si concludono ad esempio in 5 anni) posso valutarli in pochi giorni.
- **Bassa richiesta di capacità di analisi:** in passato solo una grande esperienza e capacità di analisi permettevano di studiare correttamente sistemi complessi. Un buon esperto di simulazione, può sfruttare le capacità di calcolo dei computer per realizzare uno strumento di analisi preciso nonostante la sua esperienza nel settore modellato non sia elevata.
- **Modelli facilmente presentabili:** la maggior parte dei software di simulazione genera dei risultati visivi: grafici, sistemi animati, rappresentazioni virtuali di sistemi reali. Questi risultati sono utili sia al modellatore sia per presentare il lavoro al pubblico.

## *Svantaggi della simulazione*

- **La simulazione non dà risultati accurati se i dati di input non sono accurati:** la fase di raccolta dati è la fase più critica nella realizzazione di un modello. Il modello può essere stato sviluppato in modo perfetto, ma se i dati di partenza sono sbagliati, lo saranno anche i risultati.
- **La simulazione non dà risposte semplici a problemi complessi:** se un problema è molto complesso è molto difficile trovare poche variabili di output che il modello possa produrre per ottenere una risposta semplice al problema. Più vengono fatte ipotesi semplificative per fissare alcuni parametri più aumenta l'errore sui risultati.
- **La simulazione, da sola, non risolve i problemi:** la simulazione permette di guardare un problema da un diverso angolo di visione. E' compito di chi realizza il modello trovare il modo di ottenere risultati che possano essere poi sviluppati nella realtà ad un costo conveniente.

## *Altre considerazioni*

La costruzione di un modello di simulazione può prevedere una specifica preparazione sul sistema che si vuole analizzare, in alcuni casi la simulazione può essere molto costosa, i risultati della simulazione sono spesso risultati statistici, ciò fornisce dei risultati non sicuri ma probabili.

## ***Possibili risultati***

La simulazione può permettere di raggiungere i seguenti risultati:

- **Incrementare la soddisfazione dei clienti:** si cerca di migliorare i flussi in modo da ridurre colli di bottiglia ed attese inutili, in campo manifatturiero si cerca di ridurre il tempo di completamento di un lotto per velocizzare le spedizioni, nel campo dei servizi, si cerca di ridurre i tempi di attesa, le code agli sportelli.
- **Aumentare il tasso di produzione**
- **Ridurre gli sprechi**
- **Ridurre i lavori non completati:** i work in progress, cioè i lavori iniziati ma non ancora completati, devono essere limitati in quanto sono un costo, sia perché il pagamento può avvenire solo a lavoro finito sia perché impegnano spazio di stoccaggio.

## ***Classificazione dei sistemi***

1. Sistemi ad eventi discreti
2. Sistemi ad eventi continui
3. Sistemi combinati

A Modena ci occupiamo prevalentemente di simulazione ad eventi discreti.

## ***Sviluppo di un modello***

Un modello si sviluppa seguendo fasi simili a quelle di realizzazione di un software:

1. Formulazione del problema
2. Pianificazione del progetto
  - Suddivisione dei compiti
  - Suddivisione delle verifiche e responsabilità
3. Definizione del sistema
  - Identificare i componenti del sistema da modellare
  - Identificare le variabili di input e di output
4. Raccolta dei dati di input
  - Raccolta dati
  - Analisi dei dati
5. Traduzione del modello (in un linguaggio informatico)
  - Scelta del linguaggio da usare
  - Diagramma di flusso di alto livello
  - Sviluppo del modello

## 6. Verifica

- Debug del modello
- Animazione del modello per ottenere un controllo visivo

## 7. Validazione

- Validazione visiva, (solitamente si controlla il modello animato insieme ai committenti per verificare che il comportamento non si discosti dalla realtà)
- Validazione statistica, (partendo da dati storici di cui si conoscono i risultati, si devono ottenere gli stessi risultati dal modello)

## 8. Progettazione degli esperimenti

- Selezioni delle configurazioni alternative da studiare
- Esecuzioni delle replicazioni per ogni configurazione

## 9. Analisi

- Esecuzioni di test per l'analisi statistica dei risultati: t-test, ANOVA, Duncan multiple-ranges test

## 10. Conclusioni e relazioni

Per effettuare una buona modellazione occorrono conoscenze di:

**Acquisizione dei dati:** conoscenza dei software gestionali, database, interfacce per acquisizione dati direttamente dalle macchine, riprese con videocamera;

**Informatica:** scrittura del codice, layout CAD e oggetti tridimensionali, animazioni e presentazione grafica;

**Statistica:** scelta dei campioni di dati di input, analisi dei risultati.

## ***Le variabili del modello***

In un modello di simulazione le variabili possono essere deterministiche o stocastiche. Una variabile deterministica assume sempre un valore che si può definire a priori quando si crea il modello, ad esempio una variabile booleana per un controllo effettuato da un computer, può valere 0 oppure 1. Le variabili stocastiche assumono valori diversi ogni volta che viene replicata l'operazione. Ad esempio il tempo impiegato da un operaio per serrare un bullone; per misurare questo tempo devo effettuare molte misurazioni fino ad ottenere una distribuzione di valori.

## ***Numero di repliche***

Nella pratica, i modelli contengono sempre almeno una variabile stocastica, questo significa che eseguendo il modello 100 volte posso ottenere fino a 100 risultati diversi per ogni variabile. Il modello viene eseguito n volte fornendo n valori per ogni variabile di output che vogliamo considerare nella nostra analisi, di queste variabili studiamo la distribuzione. Calcolare quante volte deve essere eseguito il modello non è semplice e dipende da caso a caso.

## ***Tempo di simulazione***

Il tempo di simulazione deve essere sufficientemente lungo da contenere il fenomeno che si vuole analizzare, meglio ancora se nel tempo di simulazione scelto il fenomeno si presenta varie volte. Ad esempio se analizziamo rotture e riparazioni in un sistema, dobbiamo usare un tempo sufficientemente lungo perché accadano alcune rotture per ognuna delle macchine. Come dati di input del modello dovrò prendere dati storici di un tempo sufficientemente lungo per avere un campione adattato su cui basare il modello.

Un modello parte solitamente da un sistema che all'inizio ha un transitorio in cui si comporta diversamente da quando è a regime. Si ha quindi una fase iniziale di riscaldamento (warm-up) della quale non si considerano i risultati perché "sporcheranno" i risultati ottenuti a regime.