

**Programma dell'insegnamento di**  
**SIMULAZIONE**  
**Prof.ssa Amelia G. Nobile (a.a. 2023/2024)**

**OBIETTIVO** L'obiettivo dell'insegnamento di Simulazione è la formulazione e l'analisi di semplici modelli teorici e di simulazione, con particolare attenzione ai sistemi con file di attesa. Il corso di Simulazione è suddiviso in due parti. Nella prima parte si forniscono le conoscenze di base necessarie alla descrizione probabilistica dei più semplici sistemi di servizio con uno o più servitori, analizzando i loro principali indici di prestazione e di affidabilità. La seconda parte dell'insegnamento ha come obiettivo quello di introdurre i modelli di simulazione, affrontando la problematica della scelta del simulatore e della pianificazione di un esperimento di simulazione. Si forniscono metodi idonei alla costruzione di sequenze di numeri pseudo-casuali uniformi e non uniformi utilizzando il linguaggio di programmazione R (<http://www.r-project.org/>). Lo scopo finale è quello di rendere gli studenti capaci di analizzare e simulare semplici sistemi di servizio, ricavando i principali parametri prestazionali del sistema.

**PROGRAMMA**

1. **Sistemi di servizio.** Introduzione ai sistemi di servizio. Sorgente, centro di attesa, centro di servizio, destinazione. Disciplina di servizio. Meccanismo degli arrivi e meccanismo di servizio. Tempi di interarrivo e di servizio: deterministici, uniformi, esponenziali, di Erlang, iperesponenziali. Notazione di Kendall nella teoria delle file di attesa. Esempi di sistemi di servizio.
2. **Analisi del sistema** Alcune misure prestazionali. Stato del sistema. Tempo di permanenza nella fila di attesa. Tempo di attesa nel sistema. Intensità di traffico e fattore di utilizzazione del sistema. Leggi di Little. Periodi di occupazione e di ozio.
3. **Processi di nascita morte** Processo stocastico di Poisson. Processi stocastici di nascita morte. Equilibrio statistico. Principio di bilanciamento.
4. **Modelli con singolo servitore** Sistema di servizio M/M/1. Sistema di servizio con svendita. Sistema di servizio M/M/1/1. Sistema di servizio M/M/1/K. Sistema di servizio M/G/1.
5. **Modelli con più servitori** Sistema di servizio M/M/2. Confronti tra i sistemi M/M/1 e M/M/2. Sistemi di servizio M/M/s, M/M/s/s e M/M/∞. Sistemi con accelerazione del servizio e con scoraggiamento.
6. **Simulazione** Introduzione alla simulazione. Classificazione dei simulatori. Metodo di Monte Carlo e sue applicazioni. Calcolo dell'area sottesa ad una curva. Calcolo di  $\pi$ . Somma nel lancio di due dadi.
7. **Procedure di simulazione in sistemi di servizio.** Sistema di servizio con singolo servitore. Sistema di servizio con due servitori che lavorano in parallelo.
8. **Generatori uniformi.** Linguaggio R. Numeri casuali e pseudocasuali. Introduzione alla generazione di sequenze pseudocasuali. Metodo del centro del quadrato. Metodo congruenziale moltiplicativo. Scelta del modulo come potenza di 2 e come numero primo. Altri tipi di generatori congruenti. Generatori uniformi in (0,1). Metodo di Mersenne-Twister. Algoritmi per numeri pseudocasuali in R.
9. **Simulazione di variabili aleatorie discrete.** Variabili aleatorie discrete. Metodi per la generazione di variabili aleatorie discrete. Generazione di una sequenza distribuita in modo geometrico, binomiale, di Poisson.
10. **Simulazione di variabili aleatorie continue.** Metodi per la generazione di variabili aleatorie continue: metodo di inversione della funzione di distribuzione e metodo di reiezione. Generazione di una sequenza distribuita in modo uniforme, esponenziale,

normale, di Erlang. Metodo composto. Generazione di una sequenza distribuita in modo iperesponenziale.

11. **Simulazione di sistemi di servizio.** Simulazione del sistema M/M/1 in equilibrio statistico. Simulazione del sistema M/M/2 in equilibrio statistico. Simulazione del sistema M/M/1 nel transiente. Simulazione del numero cumulativo di arrivi. Simulazione dei tempi di arrivo e di partenza. Simulazione dei tempi di permanenza in fila di attesa e di attesa nel sistema. Simulazione del sistema M/G/1 nel transiente.

#### **TESTI DI RIFERIMENTO:**

- Appunti delle lezioni
- Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson, David M. Nicol (2014) Discrete-event system simulation. Pearson Educational International.
- Sheldon M. Ross (2013) Simulation. Academic Press.