


**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

---

## Sistemi dinamici discreti

Simulazione – Lezione n. 4  
Corso di Laurea in Informatica Applicata  
Università di Pisa, sede di La Spezia

---

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 1/26 


**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

---

## Contenuti

- Sistemi e modellazione discreta
- Metodi, tecniche e linguaggi di modellazione
- Stato e operazioni (una terminologia da rivedere)
- Diagrammi di cicli di attività
- Un esempio e uno schema tipico

---

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 2/26 


**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

---

## Modellazione discreta

- Next event
  - Il tempo avanza per passi discreti non uniformi
  - Definiti di volta in volta, parte di modellazione e simulazione
- Sistemi discreti
  - In realtà discreto è il modello (e il simulatore)
  - Per estensione, i sistemi che conviene modellare così
- Caratteristiche
  - Eventi evidenti, calcolabili o predicibili
  - La modellazione “fisica” è spesso possibile
  - Logica del sistema e distribuzioni dei dati bene identificabili

---

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 3/26 

## Separazione dei modelli

- Sistema e componenti (fisici), dati
  - La logica del comportamento (dichiarativa o procedurale)
  - I valori che caratterizzano i componenti come individui
  - Prospettiva informatica (tipi di dato astratto)
- Fasi interessanti del processo di simulazione
  - Modello concettuale, già “discreto”
  - Specifica e implementazione del modello logico
  - Analisi e modellazione dei dati
- Esempio: i clienti di un servizio
  - Arrivano, aspettano, chiedono un servizio, se ne vanno
  - Orario di arrivo, tipo di servizio, pazienza, chiarezza ...

## Come modellare?

- Obiettivi, del cosa e del come
  - Specificare un sistema, al livello di dettaglio necessario allo scopo della simulazione
  - Procedendo per gradi, analizzando il problema e aggiungendo/togliendo dettagli
  - Utilizzando una notazione, comprensibile a tutti gli attori e adeguata a tutto il processo
  - Arrivando all’implementazione, nel modo più efficace ed efficiente possibile
- Ci vuole un metodo


## Tecniche alla base dei metodi

- Caratteristiche generali
- Decomposizione
  - Analizzare il problema per parti
  - Riducendo la complessità di cosa si affronta volta per volta
- Prospettive di analisi
  - Concetti e definizioni per individuare le parti del problema
  - Suggestiscono percorsi per affrontarne la decomposizione
- Uso di una notazione
  - Sintassi (grafica) e semantica per trattare i concetti
  - Elemento spesso caratteristico di un metodo di modellazione

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Notazioni e linguaggi


- Utili per l'analisi e il ragionamento
  - Devono essere usabili per produrre "schizzi e bozze"
- Utili per la comunicazione
  - Al livello d'uso di "schizzi e bozze", devono essere intuitivi
  - A livelli più tecnici devono avere un'utenza diffusa
- Utili per la documentazione
  - Mantenere tutti i dati necessari a tramandare i risultati
- Utili per l'implementazione
  - Utilizzabili per interpretazione diretta o generazione di codice

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 7/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Linguaggi, in pratica


- Linguaggi standard generali
  - Linguaggi costruiti, per convergenza e assimilazione
  - Promossi e aggiornati
  - Estesi, abbondanti, usati in parte (sottoinsiemi utili)
  - Esempi: UML, SysML
- Linguaggi con una forte tradizione
  - "Vecchi", ma diffusi e condivisi, spesso in settori specifici
  - Conoscenza e familiarità sopperiscono ai difetti
- Linguaggi associati a strumenti
  - Proprietari, diffusi in base al successo dello strumento
  - Derivati (a volte) da linguaggi standard o tradizionali

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 8/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Modellazione discreta classica


- Analisi per identificare le parti del modello
- Decomposizione basata su stato e operazioni
  - Catturare cosa cambia nel sistema
  - Catturare i momenti di cambiamento
- Stato
  - Le componenti del sistema
  - Per comprendere l'architettura del sistema
- Operazioni
  - Transazioni nel tempo
  - Per comprendere la dinamica del sistema

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 9/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Stato: entità e insiemi


- Entità
  - Distinte dai valori dei dati che le caratterizzano
  - Caratteristiche comuni a una popolazione
  - Caratteristiche proprie degli individui
- Insiemi
  - Collezioni di individui
  - Caratterizzano (parte de) lo stato di un sistema
- Esempi di insiemi di entità
  - I clienti di un servizio che attendono in coda
  - Le navi attraccate in un porto
  - Le auto che impegnano un tratto di strada

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 10/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Operazioni: eventi, attività e processi


- Eventi
  - Istanti a cui avvengono cambiamenti di stato (rilevanti)
- Attività, ciò che fa (o succede a) un'entità
  - Dopo un evento, o fra un evento e l'altro
  - Nello spostarsi da un insieme a un altro
- Processi
  - Sequenze e cicli identificati di eventi e attività
- Esempi di eventi, attività (e processi)
  - Arrivo, fine dell'attesa (o inizio del servizio), fine del servizio
  - Arrivare, aspettare, essere serviti, andarsene

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 11/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Una terminologia da rivedere

- Consolidata
  - Anni di uso (soddisfacente), tradizione affermata
  - Da informatici possiamo dire qualcosa
- Macchine a stati modellate ad oggetti
  - Entità: classi e oggetti (istanze di classi, *agenti*)
  - Eventi: fatti che cambiano lo stato degli agenti, collocati nel tempo, ma associati agli agenti e non al sistema
  - Condizioni (guardie) e azioni
- Vantaggi
  - Terminologia familiare (a noi informatici)
  - Modellazione più "fisica" e più utile per l'implementazione

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 12/26 

## Diagrammi di cicli di attività

- Proposta negli anni '70
- Notazione essenziale, associata a un metodo
  - Identificazione e specifica delle entità
  - Specifica dei sistemi per composizione (bottom-up)
- Tradizionale nella modellazione di sistemi discreti
- Uso frequente per sistemi dominati da code
- Legata a metodi di modellazione/implementazione
  - Per attività, principalmente
  - Ma anche per eventi o per processi

## Specifica di entità

- Nodi, rappresentano stati
- Stati attivi
  - Implicano svolgimento di un'attività
  - La durata è nota, calcolata o predetta
- Stati passivi
  - In genere comportano attesa
  - La durata non è definita (studiata dalla simulazione)
- Archi diretti (non etichettati)
  - Sono possibili più archi entranti/uscenti (alternative)
  - A un dato tempo (evento) la transizione avverrà



## Specifica di sistemi

- Razionale del metodo
  - Disegnare i diagrammi per le singole entità
  - Disegnare per composizione il diagramma del sistema
- Stati passivi
  - Sono in genere pertinenti a una sola entità
  - Spesso rappresentano l'appartenenza a insiemi (code)
- Stati attivi
  - Possono coinvolgere più entità per indicare interazione
  - L'interazione implica più archi entranti/uscenti
  - Grafiche diverse per tracciare le transizioni di oggetti diversi

## Suggerimenti (metodo) per l'analisi

- Individuare le entità e i valori che le distinguono
- Identificare gli eventi e le attività
- Identificare fra le entità quelle che sono risorse
- Identificare le relazioni fra attività, entità, insieme
- Identificare le relazioni fra le attività (processi)
- Procedere per cicli e raffinamenti successivi

## Uso per l'implementazione

- Notazione essenziale
  - Adatta per analisi e comunicazione
  - Uso "schizzi e bozze"
- Insufficiente per interpretazione o traduzione
  - Non è prevista la specifica di condizioni per le alternative
  - Scorrelata rispetto agli attuali linguaggi di programmazione
- Esistono estensioni e dialetti
  - Completano la notazione
  - Introducono nel metodo fasi di specifica dei dettagli
  - Finalizzate a strumenti e motori particolari


## Esempio: un servizio di sportello

- Esponente di un'ampia classe di problemi
  - Tutti gli sportelli del mondo, banche, poste, uffici, ...
  - Fase di un procedimento o di una lavorazione
  - Pacchetti in arrivo su un componente di rete
- Modello concettuale (generale)
  - I clienti arrivano con i loro tempi e le loro richieste
  - Il servizio esaudisce le richieste una alla volta
  - Se il servizio è occupato i clienti aspettano
  - Secondo politiche definite
- L'analisi stocastica è individuata e posposta

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Analisi, stato


- Entità
  - Impiegato, uno
  - Cliente, distinto in  $n$  individui
- Valori che distinguono le entità
  - Tempo di arrivo, tipo di servizio
  - Altri, per ora, non sono rilevanti per la simulazione
- Insieme
  - Clienti in attesa
  - Clienti fuori del servizio (ancora da arrivare o già serviti)

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 19/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Analisi, operazioni

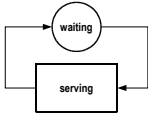
- Eventi
  - Arrivi degli individui cliente
  - Fine dei servizi
  - Istanti significativi nella vita del sistema
- Attività
  - Il cliente arriva
  - Il cliente, eventualmente, aspetta
  - L'impiegato serve
  - Il cliente se ne va
- Processi: niente di significativo

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 20/26 


**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Diagramma dell'impiegato

- Ciclo infinito
- Attende
  - Nessuna attività
  - Tempo da studiare
  - Stato passivo
- Serve un cliente
  - Interazione
  - Tempo calcolato o stimato
  - Stato attivo



```
graph TD; waiting((waiting)) --> serving[serving]; serving --> waiting;
```

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 21/26 

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Diagramma del cliente

- L'entità cliente
  - Arriva
  - Eventualmente attende
  - Viene servito
  - Se ne va (torna fuori dal sistema)
- Caratteristiche identificate
  - C'è uno stato di attesa (coda)
  - C'è uno stato attivo (interazione)
- Elementi di "tradizione"
  - La chiusura del ciclo
  - L'alternanza fra stati

```
graph LR; outside((outside)) --> arriving[arriving]; arriving --> waiting((waiting)); waiting --> being_served[being served]; being_served --> outside;
```

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 22/26

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Composizione: diagramma del sistema

```
graph LR; subgraph Client; outside1((outside)) --> arriving1[arriving]; arriving1 --> waiting1((waiting)); waiting1 --> being_served1[being served]; being_served1 --> outside1; end; subgraph Server; clerk_idle((clerk idle)) --> service[service]; service --> client_waiting((client waiting)); client_waiting --> arriving2[arriving]; arriving2 --> outside2((outside)); outside2 --> service; end;
```

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 23/26

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Note al diagramma del sistema

- L'interazione è esplicitata
- Semantica ambigua della notazione
  - Lo stato passivo dell'impiegato è uno stato di un'entità
  - Uno stato passivo del cliente è una coda
  - Uno stato passivo del cliente è un insieme di individui diversi
- Notazione mirata
  - Una certa confusione fra entità e individui
  - Cicli per forza
  - Modellazione per attività e motori per attività
  - Strutture dati fisse per le attività (e, di conseguenza, le entità)

Giovanni A. Cignoni – Simulazione – [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 24/26



**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Rappresentazione del tempo

- Successione di istanti (eventi)
  - Di due tipi
  - Arrivi,  $t_a$
  - Fine servizi,  $t_e$
- Note
  - Etichette aggiunte
  - Attese nulle: a volte (va bene)
  - Attività nulle: sempre (un po' strano)

```
graph TD; outside((outside)) -- t_a --> arriving[arriving]; arriving -- t_e --> service[service]; service -- t_e --> clerk_idle((clerk idle)); clerk_idle -- t_e --> outside; service -- t_e --> client_waiting((client waiting)); client_waiting -- t_e --> service;
```

Giovanni A. Cignoni - Simulazione - [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 25/26

**Sim**  
UniPisa  
LaSpezia

## Riferimenti

- G. Gallo, *Note di simulazione*, cap. 2
- M. Pidd, *Computer Simulation in Management Science*, cap. 4
- W.D.L.A. Filho, C.M. Hirata, *Translating Activity Cycle Diagrams to Java Simulation Programs*, 37<sup>th</sup> Annual Simulation Symposium, 2004

Giovanni A. Cignoni - Simulazione - [www.di.unipi.it/~giovanni](http://www.di.unipi.it/~giovanni) 26/26