

Scheda per la realizzazione di un progetto di costruzione di un modello di un sistema dinamico



Questo testo è distribuito con Licenza Creative Commons Attribuzione
Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale

Luca Mari, versione 23.3.17
lmari@liuc.it
<http://research.liuc.it/luca.mari>
Università Cattaneo – LIUC

[documento liberamente scaricabile dal sito <http://research.liuc.it/luca.mari/tds>]

Sommario

Aspetti formali.....	1
Suggerimenti per lo sviluppo del progetto.....	1
Preliminari (fase 1).....	2
Analisi del sistema e costruzione della componente qualitativa del modello (fase 2).....	3
Costruzione della componente quantitativa strutturale del modello (fase 3).....	4
Costruzione della componente quantitativa parametrica del modello (fase 4).....	4
Simulazione e validazione (fase 5).....	4
Sviluppo del progetto e STGraph.....	4

Aspetti formali

Il progetto è realizzato in gruppo (due o tre studenti, a meno di accordi con il docente), e consiste in un simulatore software che implementa il modello di un sistema dinamico e in una presentazione delle principali caratteristiche di tale modello e della sua implementazione.

Il progetto dovrà essere presentato mediante:

- *delle slide*, da produrre come file in formato odp (o ppt), e strutturate come segue:
 1. introduzione all'ambito applicativo oggetto della simulazione;
 2. obiettivi dichiarati per il modello, ipotesi modellistiche adottate, e modello black box;
 3. struttura generale del modello (nel caso di strutturazione in sottomodelli), con eventuali diagrammi di presentazione del modello (fortemente consigliati alcuni diagrammi causali con le variabili più significative), analisi degli elementi più interessanti del modello (in particolare cicli di retroazione), e settupla di almeno un modello nel caso di più sottomodelli (si veda al proposito in particolare la scheda: "La settupla come strumento di controllo e documentazione di un modello");
 4. principali risultati quantitativi ottenuti nella simulazione e (opzionale ma assai auspicata) almeno generale analisi di sensitività; indicazioni sulla validazione del modello, possibilmente in termini del suo realismo attraverso analisi di scenari;
 5. possibili estensioni, cambiamenti, miglioramenti futuri;
- *un simulatore*, consistente nel modello software di un sistema dinamico (dunque sequenziale: modelli combinatori non sono accettati); non sono posti vincoli di principio circa l'ambiente software per lo sviluppo di tale simulatore (Excel, Java, Matlab, ...), ma è consigliato l'uso di STGraph.

Il progetto dovrà essere presentato verbalmente e in presenza dall'intero gruppo al docente (a meno di accordi con il docente stesso). Alla fine della presentazione tutto il materiale prodotto (slide e simulatore) dovrà essere inviato al docente in formato zip via email (lmari@liuc.it).

Suggerimenti per lo sviluppo del progetto

Lo sviluppo del modello di un sistema dinamico è un processo che richiede competenze tecniche ma anche comprensione del sistema da modellizzare e intuizione ed esperienza. Quelli che seguono sono dunque solo suggerimenti: anche senza seguirli si possono certamente produrre eccellenti modelli, ma soprattutto fintanto che non si è sufficientemente esperti può essere una buona idea lasciarsi almeno accompagnare da

essi.

Una volta ipotizzato un possibile ambito applicativo oggetto della simulazione, è opportuno operare nello sviluppo del modello *con una strategia top-down*, cioè partendo dalle scelte generali e affinandole progressivamente con dettagli sempre più specifici. Benché concettualmente successive l'una all'altra, le fasi che sono presentate qui possono essere realizzate iterativamente, in un processo di chiarimenti e raffinamenti successivi (e almeno in qualche momento di questo processo di sviluppo può essere opportuno proporre le proprie idee al docente in modo da ricevere qualche consiglio).

Preliminari (fase 1)

La fase preliminare dell'attività di modellistica consiste nel costruire uno o più modelli informali, cioè descritti in italiano (ancora senza equazioni, dunque) e rappresentati graficamente come diagrammi black box ed eventualmente anche già mediante qualche bozza di diagramma causale contenente le variabili più significative (tra queste generalmente non ci sono i parametri del modello). Nonostante questi modelli informali siano ancora molto incompleti e possano contenere ambiguità, questa fase è fondamentale perché fornisce gli elementi su cui potrà essere successivamente sviluppata la formalizzazione. In particolare, nella costruzione di un modello informale è già opportuno chiarire:

- le *finalità* per cui il modello viene costruito e quindi in riferimento alle quali la sua adeguatezza potrà essere valutata; al proposito una distinzione importante è tra modelli con finalità solo di descrizione e previsione e modelli con finalità anche di decisione, rendendo così controllabile il modello: in questo secondo caso, occorre chiarire:
 - su quali variabili (“di input”) è possibile intervenire;
 - se è specificata, e in tal caso qual è, la funzione obiettivo a cui il decisore / controllore dovrebbe tendere e quindi come calcolare in ogni istante la distanza tra il comportamento del sistema e l'obiettivo indicato;
- la *scala temporale* per il sistema modellato, dunque se si intende sviluppare un modello la cui dinamica sia descritta in un arco di tempo ridotto e con istanti di osservazione frequenti (per esempio un giorno, con intervalli di un'ora) o in un arco di tempo ampio e con istanti di osservazione distanti (per esempio un anno, con intervalli di un mese);
- i *confini* intesi per il sistema modellato, sia *in ampiezza* (cosa si considera parte dell'ambiente invece che del sistema perché non abbastanza “vicino” al sistema stesso) sia *in profondità* (cosa si sceglie di tralasciare del sistema perché considerato eccessivamente specifico e di dettaglio);
- il *livello di granularità* adottato per il modello, chiarendo se si intende sviluppare un unico modello, interpretando quindi il sistema come un tutt'uno, oppure più modelli, uno per ogni sottosistema identificato; in questo secondo caso, occorre specificare in termini almeno generali le caratteristiche di ogni sottosistema e le relazioni di dipendenza previste tra i sottosistemi, per esempio mediante uno o più diagrammi che illustrino le relazioni tra i vari sottosistemi.

Nel loro complesso, le finalità del modello e i confini intesi per il sistema costituiscono le *ipotesi modellistiche*, che è dunque necessario specificare prima di operare per creare una versione più analitica e formale del modello costruito. In questa fase è in genere appropriato mantenere una descrizione solo qualitativa del sistema, senza preoccuparsi ancora della componente quantitativa (intervalli di variabilità, valori dei parametri, ...: per ora niente numeri, insomma).

Questa fase preliminare ha lo scopo non solo di consentire di identificare le principali caratteristiche del modello ma anche e prima di tutto di accertare se l'idea stessa del modello è interessante e si presenta come concretamente fattibile, in particolare perché non troppo semplice (così da non giustificare un lavoro di gruppo) ma nemmeno troppo complessa (così da non consentire la realizzazione del modello).

In conclusione di questa fase preliminare, il modello è interpretato come una *black box*, scegliendo:

- la *base dei tempi* per la simulazione, e quindi in particolare il valore di Δt , che in genere condiziona in modo determinante la dinamica del sistema;
- le variabili la cui dinamica si ritiene interessante osservare; tali *variabili di output* $y(t)$ formalizzano gli obiettivi di costruzione del modello;
- le eventuali variabili esogene da cui le variabili di output dipendono; rispetto a tali *variabili di input* $u(t)$ si danno le seguenti alternative:
 - il modello non prevede variabili di input, e dunque è *chiuso*, cioè a *dinamica autonoma*;
 - il modello prevede variabili di input, e dunque è *aperto*:
 - le variabili di input descrivono solo aspetti dell'interazione del sistema modellato con l'ambiente: il sistema è modellato come *non controllabile*;
 - una o più variabili di input descrivono le scelte che un agente esterno al sistema può compiere al fine di controllare il sistema stesso in funzione di obiettivi, e quindi il modello è *controllabile*.

Dalla scelta delle variabili di input $u(t)$ e di output $y(t)$ segue la domanda di base per la costruzione del modello formale:

→ è possibile stabilire una funzione η in grado di calcolare $y(t)$ esclusivamente a partire da $u(t)$, cioè tale che, per ogni istante della simulazione t , $y(t)=\eta(u(t))$?

Se la risposta è positiva, il modello è algebrico (cioè combinatorio, senza stati), e quindi, data la condizione che un progetto debba sviluppare il modello di un sistema dinamico, le ipotesi formulate devono essere riviste.

Se invece la risposta è negativa, e quindi si ipotizza che il modello in costruzione sarà dinamico (cioè sequenziale, con stati), la fase preliminare dello sviluppo è completa e si può proseguire.

Analisi del sistema e costruzione della componente qualitativa del modello (fase 2)

La domanda da porsi a questo punto è:

→ è sufficiente costruire un solo modello, oppure è opportuno costruire più sottomodelli in interazione?

Benché non sia formalmente necessario organizzare il modello in più sottomodelli, ci sono varie ragioni che giustificano questa scelta, e in particolare:

- il modello descrive più entità (oggetti materiali, fenomeni, processi, ...) interagenti, ognuna con le sue variabili: in tal caso può essere appropriato definire ognuna di tali entità in un sottomodello, in modo da metterne in evidenza la natura di oggetto distinto nel supermodello;
- uno stesso insieme di variabili compare più volte nel modello: in tal caso può essere appropriato definire tali variabili in un sottomodello, da istanziare più volte nel supermodello;
- il modello contiene un numero elevato di variabili: in tal caso può essere appropriato separare le variabili in sottomodelli, in modo da facilitare lo sviluppo del modello stesso.

Per l'unico modello che si è deciso di costruire, oppure per ogni sottomodello, è opportuno a questo punto costruire un grafo delle dipendenze funzionali (a volte chiamato anche "diagramma causale"), in cui ogni nodo rappresenta una variabile del modello e ogni freccia dal nodo n_1 al nodo n_2 rappresenta l'informazione che la variabile n_2 è dipendente funzionalmente dalla variabile n_1 e quindi, concretamente, che il valore di n_2 sarà calcolato in funzione del valore di n_1 .

La costruzione di un grafo delle dipendenze, e dunque l'identificazione delle variabili del modello e delle loro dipendenze funzionali, è un'attività molto importante, che può essere realizzata per passi successivi, migliorando progressivamente il risultato. Soprattutto all'inizio conviene concentrarsi sulle variabili che si considerano più importanti, tralasciando in particolare di introdurre i parametri, e sulle relazioni di dipendenza tra esse. In ogni caso, nel suo complesso il modello – cioè l'unico modello oppure l'insieme dei vari sottomodelli organizzati gerarchicamente e tutti contenuti in un unico supermodello – dovrà essere rappresentato da un grafo connesso, dato che due o più grafi separati corrisponderebbero in effetti ad altrettanti modelli distinti.

A un certo punto di questo processo di sviluppo occorre anche stabilire il tipo di ognuna delle variabili introdotte, considerando che:

- se il modello ha un comportamento che dipende da fattori esogeni, tali fattori sono rappresentati da variabili in input (che sono algebriche);
- il modello deve essere osservabile, e quindi deve avere almeno una variabile di output (le variabili di output possono essere sia algebriche sia di stato);
- per ogni variabile che non è di input occorre decidere se è algebrica o di stato.

L'identificazione delle variabili di stato è un passo fondamentale e critico per la qualità del risultato che si otterrà, ricordando in particolare che:

- le variabili di stato possono avere funzioni molteplici, e non sono dunque solo accumulatori ma anche per esempio unità di memoria o unità di ritardo, tutte comunque riconducibili alla funzione di memorizzare un valore per un istante della simulazione;
- in ogni ciclo (loop) di relazioni di dipendenza tra variabili (a dipende da b che dipende da a , o analogamente nel caso di più variabili) deve essere presente almeno una variabile di stato, con funzione implicita o esplicita di unità di ritardo;
- una variabile di stato può avere una funzione di comportamento implicita, e in tal caso il valore della variabile in ogni istante è lo stato stesso, oppure può essere definita come di stato con output, e in tal caso il valore della variabile in ogni istante è definito esplicitamente da una funzione di comportamento η ;
- definire come di stato una variabile che in effetti è solo algebrica è un errore che dovrebbe essere evitato.

Due ulteriori suggerimenti:

- si dovrebbe mantenere il modello focalizzato sull'obiettivo che si è scelto, senza introdurre variabili inutili;
- si dovrebbero scegliere dei nomi significativi per le variabili, a partire dalla considerazione che i nomi dovrebbero fare riferimento a proprietà / grandezze di oggetti, non a oggetti (dunque un nome corretto potrebbe essere “giacenza_magazzino”, non “magazzino”).

Costruzione della componente quantitativa strutturale del modello (fase 3)

Questa fase consiste in pratica nella definizione delle funzioni (di comportamento e di transizione di stato) per ogni variabile non di input, ed è ben formalizzata attraverso la costruzione della settupla del modello (si veda al proposito l'analisi proposta in “La settupla come strumento di controllo e documentazione del modello di un sistema dinamico”). In pratica, la settupla stabilisce le specifiche formali della struttura del modello.

Costruzione della componente quantitativa parametrica del modello (fase 4)

Se la settupla definisce la struttura dinamica del modello, devono essere ancora specificato i parametri (stati iniziali, condizioni al contorno, ...) del modello stesso. La scelta dei valori per tali costanti corrisponde alla taratura (tuning) del modello, una fase cruciale per poter ottenere dei risultati realistici e dunque da svolgere con cura.

Implementazione, simulazione, validazione (fase 5)

Quando finalmente il modello formale è stato implementato mediante uno strumento software (si noti bene che l'implementazione potrebbe non essere perfettamente conforme alle specifiche), è possibile giungere per via numerica a dati quantitativi sulla dinamica del sistema, nella forma di serie storiche corrispondenti a una ricostruzione campionaria della dinamica globale del sistema stesso. Se si dispone di un'ipotesi a proposito di quella che dovrebbe essere la dinamica del sistema, il confronto tra questa ipotesi e i dati ottenuti nel corso della simulazione, magari attraverso un lavoro strutturato di analisi di sensibilità, può portare a concludere che sia necessario modificare il modello costruito, tornando così a una fase precedente del lavoro di sviluppo.

Sviluppo del progetto e STGraph

Nel caso in cui si scelga di usare STGraph per lo sviluppo del modello, la strategia top-down appena descritta può essere supportata dal software come segue:

- fase 1 (*preliminari*): eventuale costruzione delle prime, incomplete versioni del grafo delle dipendenze;
- fase 2 (*aspetti qualitativi del modello*): costruzione del grafo delle dipendenze, e dunque identificazione degli eventuali sotto-modelli e per ogni modello identificazione delle variabili, del loro tipo (algebriche o di stato; se di input; se di output), delle loro relazioni di dipendenza funzionale;
- fase 3 (*aspetti quantitativi strutturali del modello*): definizione delle funzioni (di comportamento e di transizione di stato) per ogni variabile non di input;
- fase 4 (*aspetti quantitativi parametrici del modello*): definizione dei valori delle costanti del modello (condizioni al contorno; stati iniziali; ...);
- fase 5 (simulazione e validazione): esecuzione del modello e analisi dei risultati ottenuti.

Queste attività possono essere realizzate iterativamente, per raffinamenti successivi: si comincia a costruire un grafo preliminare (fase 1), che poi si completa (fase 2); si definiscono le equazioni per i nodi introdotti (fase 3), e si introducono le costanti necessarie, cercando di tarare il modello (fase 4) in modo che in simulazione esso mostri un comportamento realistico (fase 5); se il comportamento ottenuto non è appropriato, per qualche ragione, si ricomincia da una fase precedente, e così via.