

A Simulation Model for Building Occupancy Prediction

Davide Simeone^{a*}, Stefano Corsi^a, Ilaria Toldo^b, Davide Schaumann^c

^a Sapienza Università di Roma, Via Eudossiana 18, Roma, 00184, Italia

^b University of Southern California, Los Angeles, 90089-0291, USA

^c Technion Israel Institute of Technology, Haifa, 3200003, Israel

Highlights

The core of this paper is the development of an innovative simulation model to virtually predict building occupancy. The presented model is based on the introduction of a new modelling entity, called *Event*, used to decompose, formalize and control the simulation of specific parts of the building use process. Both the conceptual framework of the model and its computational implementation rely on similar simulation approaches from the field of Videogames development.

Abstract

At present, few computational methods exist that support architect in predicting how their design will be used and experience after its construction. The research described here aims at establishing a new approach for the computational simulation of building occupancy, focused on a clear definition of use scenarios as specific structures of active entities called *Events*. They allow the formalization of parts of building use process in terms of Actors involved, Activities performed and Space where these events takes place. This modeling framework is functional to simulation environment, where scripted building use process is effectively computed and simulated.

Keywords

Human behaviour simulation, Occupancy Prediction and Evaluation, Event-Based Simulation, Agent-Based Modelling, Building Performances

1. INTRODUZIONE

Nel processo di prefigurazione dell'edificio e delle sue performance che è parte fondamentale del processo progettuale, ogni architetto è costretto a cercare di immaginare, in modo più o meno esplicito, come l'edificio apparirà una volta realizzato, occupato e finalmente in funzione. Nonostante tale sforzo, una volta realizzati e occupati, gli edifici molto spesso non funzionano come era stato previsto durante il processo progettuale: alcune volte la loro risposta all'effettivo uso è peggiore di quanto preventivato, altre volte semplicemente differente. Ad oggi il progettista è lasciato solo nel prevedere come l'edificio verrà utilizzato e vissuto dai suoi utenti: se nel passato norme, manuali, regole di buona pratica supportavano le scelte progettuali orientate agli utenti e alle loro attività, oggi la crescente complessità del prodotto architettonico, della sua funzionalità e delle modalità di fruizione hanno di fatto messo in crisi i cosiddetti approcci normativi, costringendo l'architetto a contare solo sulla propria esperienza pregressa (sia come progettista che come utente) e immaginazione per prevedere come l'edificio funzionerà una volta realizzato e occupato [1].

Con l'aumento esponenziale della potenza dei calcolatori, i modelli e gli strumenti simulativi, costruiti al fine di prevedere fenomeni caratterizzati da un alto grado di complessità e da un elevato numero di variabili, hanno pervaso il mondo della progettazione edilizia. Oggi siamo infatti in grado di prevedere con accuratezza molte delle performance del futuro organismo edilizio (quali ad esempio il comportamento energetico, la resistenza

* Corresponding author. Tel.: +39-347-722-8255; fax: +39-06-44585186; e-mail: davide.simeone@uniroma1.it

della sua struttura, il flusso di denaro e di materiali durante il processo di costruzione, il percorso d'uscita delle persone in caso di incendio, etc.). Paradossalmente uno dei suoi aspetti più importanti, ovvero la capacità dell'edificio (o più in generale dell'ambiente costruito) di ospitare e supportare le attività dei suoi futuri utenti, è però ancora lasciato scoperto da tale innovazione e affidato a metodologie e strumenti di tipo tradizionale ormai limitati e inadeguati. In questo quadro generale, il lavoro di ricerca qui presentato si pone l'obiettivo di colmare questo gap significativo nella progettazione architettonica e con un alto grado di incidenza sulla qualità del suo prodotto finale (sia esso un edificio o uno spazio pubblico), introducendo e descrivendo la costruzione di un modello computazionale in grado di simulare, seppur in un campo di approssimazione accettabile, il comportamento dei futuri utenti dell'edificio già durante la fase progettuale, ovvero ben prima che esso sia effettivamente realizzato e occupato.

2. STATO DELL'ARTE: AGENT-BASED MODELLING AND ACTIVITY-BASED MODELLING

La modellazione Agent-Based è senza dubbio il sistema attualmente più utilizzato per simulare il comportamento umano negli spazi di un edificio: l'idea centrale è quella di popolare l'edificio con questi agenti facenti le veci degli utenti e, una volta avviata la simulazione, osservare e valutare come il loro comportamento e la nascita di macro-fenomeni. Questo tipo di modellazione può essere affidabile per rappresentare comportamenti in cui le tipologie di interazione sono limitate e un alto grado di autonomia e singolarità del comportamento ne caratterizza i risultati. Nel corso del tempo però, le iniziali ricerche orientate alla costruzione di un modello universale di utente e del suo comportamento hanno progressivamente lasciato spazio a modelli riferiti a specifici domini applicativi e a limitati scenari di utilizzo. Da un lato l'eccessiva complessità del comportamento umano ed il fatto che ampie aree di tale fenomeno siano inesplorati o non adeguatamente rappresentati da modelli, e dall'altro la maggiore gestibilità di modelli in cui il comportamento umano sia ricondotto solo a pochi parametri salienti, sono da considerarsi come due fattori principali di questo graduale spostamento degli obiettivi della ricerca. Si può affermare senza dubbio che la modellazione Agent-Based svolga un ruolo predominante in tali modelli a causa della sua ottima risposta nel modellare sistemi di controllo intelligente e già molte ricerche hanno mostrato come il funzionamento di un edificio possa essere previsto dal mapping del comportamento di molteplici agenti [2, 3]. Tra le applicazioni più rilevanti dell'Agent-Based alla simulazione del comportamento umano in spazi costruiti si evidenziano il modello sviluppato da Wei Yan e Kalay [4] per la simulazione del comportamento degli utenti della Sproul Plaza nel campus di Berkeley. Tale modello, sebbene estremamente potente dal punto di vista teorico, mostra ad oggi alcuni limiti da ricondursi soprattutto nella scelta di un approccio modellativo basato su un Agent-Based puro. Esso è accettabile quando il fenomeno comportamentale preso come riferimento risulta limitato (in questo caso il movimento e qualche semplice azione) ma risulta pressoché inapplicabile quando esteso alla simulazione di attività strutturate e complesse quali quelle che si svolgono normalmente in un edificio.

Nel 2006 un progetto di ricerca condotto dall'università di Eindhoven [5] ha introdotto un modello di simulazione del utilizzo degli spazi da parte degli utenti (USSU). Il modello USSU, applicato in via

sperimentale all'edilizia per uffici, si distingue da molti altri tentativi in funzione dell'utilizzo di un modello di organizzazione, in cui sono esplicitate le attività caratterizzanti la tipologia e la loro strutturazione nel tempo (scheduling). Il modello di organizzazione è in questo sistema il centro della simulazione in quanto rappresenta una sorta di workflow su cui si vanno ad innestare successivamente i pattern di movimento degli utenti dell'edificio. I task riferiti a questo workflow sono associati ad i singoli utenti e costituiscono un sistema di attività che l'utente deve svolgere nel tempo (definite nel modello come *skeleton activities*) e ad esse sono sovrapposte le *intermediate activities*, ovvero delle attività riferite a bisogni fisici e psicologici degli utenti, non precisamente strutturate nel tempo (e nel workflow) ma attivabili casualmente negli spazi temporali lasciati liberi dalle *skeleton activities*. Un approccio di questo tipo mostra alcuni elementi molto rilevanti ma anche alcune criticità; la scelta di articolare un sistema di simulazione del movimento degli utenti in funzione delle attività caratterizzanti una determinata tipologia di edificio è assolutamente degno di nota; si rivede in questo sistema la necessità di allontanarsi dall'arbitrarietà di una modellazione ad agenti autonomi per un sistema forse più rigido ma più coerente vicino alla realtà. Allo stesso tempo uno scheduling, una volta generato, rimane fisso e non adattabile allo stato del modello di edificio: tutto è coordinato come una sceneggiatura scritta, nessun imprevisto può avvenire né gli utenti possono adattare il loro comportamento durante la simulazione. Un'ulteriore criticità è dovuta alla totale assenza della rappresentazione dell'edificio nella fase di calcolo della sequenza di attività da svolgersi, che di fatto non considera l'influenza del layout dell'edificio sullo svolgimento delle singole attività e del loro sistema.

3. METODOLOGIA: LA MODELLAZIONE TRAMITE EVENTI E SCENARI D'USO

Il lavoro di ricerca qui descritto è stato finalizzato allo sviluppo di un modello di simulazione del comportamento umano in un ambiente costruito, concentrandosi in particolare sulla predizione delle interazioni tra l'ambiente costruito e il processo d'uso legato alla futura utenza. Al fine di sopperire alle carenze dei sistemi Agent-Based e Activity-Based nell'applicazione alla complessità e alla dinamicità del processo d'uso di un edificio, la presente ricerca definisce un nuovo approccio di simulazione il cui centro è la definizione di una nuova entità di modellazione – l'evento – attraverso cui discretizzare, formalizzare e simulare porzioni del processo d'uso di un edificio [6].

Il processo d'uso si struttura attraverso una combinazione di tre aree correlate, quella degli spazi dell'edificio, quella degli utenti e quella delle attività che essi svolgono all'interno di tali spazi. L'entità evento nasce quindi proprio per combinare le informazioni legate a questi tre domini in un'unica entità che sia rappresentativa di un accadimento discreto indicativo di una porzione temporale e spaziale del processo d'uso e per rendere tali informazioni gestibili, editabili e utilizzabili come input (o base di conoscenza) per la successiva simulazione del fenomeno. A tal fine, una entità-evento si presenta come una caratterizzazione delle *Attività* che si svolgono nell'edificio (e che di fatto strutturano ciascun evento in termini di operazioni), gli *Attori* coinvolti (ovvero coloro che a vario titolo sono coinvolti in modo attivo o passivo nell'esecuzione dell'attività), e gli *Spazi* dove tale evento accade (ovvero dove questa porzione di processo d'uso è connessa all'edificio).

A differenza della modellazione basata su agenti, L'approccio di modellazione proposto supera questo problema scegliendo una entità di modellazione centralizzata, l'evento, piuttosto che la singola entità agente. Ogni entità-evento struttura e gestisce le entità che rappresentano gli attori, gli spazi, gli elementi dell'ambiente costruito (arredi, elementi tecnologici) attraverso uno schema procedurale dettato dalle attività rappresentative; in tal modo l'evento non è più definito a posteriori dal comportamento degli attori ma è una entità di modellazione, attiva e dotata di Intelligenza Artificiale, in grado di controllare e gestire autonomamente i comportamenti delle varie entità. La scelta di utilizzare una entità astratta come elemento centrale del modello si basa sui vantaggi legati all'utilizzo degli ambienti virtuali nella simulazione computazionale; invece di costruire una intelligenza artificiale altamente complessa per tutti gli agenti in modo che essi abbiano un comportamento indipendente e autonomo e aspettare successivamente che gli eventi emergano dalla somma delle loro azioni e interazioni (sia con gli elementi dell'ambiente che con altri agenti), l'approccio proposto si focalizza sulla costruzione di entità "intelligenti" definite eventi, che di fatto dirigono le entità coinvolte coordinandone gli stati e i comportamenti. Un approccio di questo tipo offre al contempo i vantaggi dell'aggregazione e della distribuzione di intelligenza artificiale. L'aggregazione risiede nella capacità di avere un livello di sistema più alto di quello degli agenti, in cui le entità evento possono fornire coerenza e affidabilità alla simulazione, concentrando di fatto il controllo delle interazioni e cooperazioni tra attori/agenti anziché lasciarle emergere dalla somma dei loro processi di decisione/azione. Il vantaggio della distribuzione risiede invece nella possibilità di allocare le risorse dell'intelligenza artificiale sia negli agenti che nelle entità evento; l'intelligenza artificiale negli agenti serve a controllare tutti quei comportamenti caratterizzati da un alto grado di autonomia o comunque dovuti ad azioni marginali e/o locali (il calcolo di un percorso, l'utilizzo di un oggetto) e, più in generale, quelle che non richiedono una coordinazione e messa a sistema con lo scenario d'uso. Una combinazione effettiva di un certo numero di tali entità permette di formalizzare una parte abbastanza estesa del fenomeno legato all'edificio durante il suo utilizzo, che in questo modello abbiamo definito come scenario d'uso. Esso si compone di una struttura articolata nel tempo di entità-evento che ne rappresentano l'evoluzione passo dopo passo, esplicitando gli attori coinvolti, le attività caratterizzanti e le porzioni d'edificio dove esse avvengono. In uno scenario d'uso semplice gli eventi sono articolati in sequenza, rappresentando di fatto una narrativa di processo: quando un evento è stato completamente eseguito il sistema attiva l'evento connesso successivo e così via, simulando passo dopo passo tutti gli eventi della sequenza. Quando lo scenario inizia ad essere più complesso e articolato, avendo possibili percorsi alternativi di simulazione o più eventi da attivare dopo il precedente, la struttura generale dello scenario diventa una rete orientata, dove ciascun vertice corrisponde ad un evento (in cui sono formalizzati attori, spazi e attività), e ciascun ramo "orientato" ad una transizione tra due eventi.

All'interno della network di eventi è possibile individuare pertanto dei percorsi di eventi attraverso cui si muove la simulazione; in caso di percorsi alternativi, la decisione viene presa all'interno dell'evento valutando le condizioni del modello, mentre se due transizioni devono avvenire contemporaneamente esse sono attivate entrambe alla fine dell'evento precedente.

Al fine di sviluppare un ambiente di simulazione adatto agli scopi del modello si è deciso di utilizzare il *Virtools*, un game engine sviluppato dalla casa software Dassault Systèmes' come piattaforma dedicata allo sviluppo di videogames, applicazioni e simulazioni in ambiente virtuale. La scelta di questo tipo di sistema deriva dalle analogie tra la simulazione del comportamento umano in campo ludico e quella che è al centro del modello proposto in questa ricerca. In aggiunta, si ritiene opportuno sottolineare come allo stato attuale tali piattaforme risultino essere tra le più avanzate in termini di simulazione in ambiente virtuale; la scelta di un game engine risulta inoltre utile al fine di poter accedere ad una notevole quantità di risorse già sviluppate, testate e solo da adattare agli scopi del modello e per controllare l'alto grado di complessità che un modello di simulazione del comportamento umano negli edifici può avere. In funzione del modello proposto, si è deciso di utilizzare le seguenti componenti:

1. un simulatore grafico in grado di rappresentare in 3D le entità che compongono il modello e dove, attraverso le animazioni, sono rappresentate le varie dinamiche legate alla simulazione (comportamenti, spostamenti e trasformazioni di oggetti, etc.);
2. uno scripting manager allo scopo di "programmare" il comportamento degli Virtual Users e le dinamiche di cambiamento dello stato del modello. Lo scripting level è solitamente articolato per blocchi o livelli data la complessità della programmazione di un videogame;
3. un level manager, in cui sono rappresentate tutte le entità presenti nell'ambiente virtuale, organizzate secondo le classi di appartenenza. In tale livello sono formalizzate le varie proprietà di ciascun oggetto, sulla base della loro articolazione in classi, ognuna con determinati valori in funzione dello stato del modello aggiornati in real time durante la simulazione;
4. una libreria di Intelligenza Artificiale, ovvero una serie di "blocchi di programmazione" costruiti esternamente al game engine e in grado di simulare alcune tipologie di comportamento intelligente.



Figura 1. Il modello simulativo basato su eventi applicato alla simulazione di un reparto ospedaliero. In questo esempio applicativo, gli eventi permettono la formalizzazione, simulazione e gestione di un processo d'uso complesso, in cui strutture complesse di attività e comportamenti dei singoli utenti si sovrappongono e interferiscono tra loro.

4. CONCLUSIONI

La ricerca descritta in questo articolo è stata finalizzata alla costruzione di un primo framework concettuale per la simulazione del comportamento umano negli edifici al fine di supportare la fase progettuale e migliorare di conseguenza la qualità funzionale dell'edificio (o più in generale dello spazio costruito) risultante [7]. Essa introduce un nuovo approccio di modellazione, derivato in parte dalle teorie di rappresentazione dei processi produttivi e in parte dalle simulazioni nell'ambito dei videogames, che vede strutturare attori, attività e spazi in una entità di modellazione definita Evento. Tale entità ha lo scopo di discretizzare, formalizzare e rendere computabile delle porzioni del processo d'uso che, strutturati secondo una opportuna logica temporale, possono rappresentare scenari d'uso simulabili in un opportuno ambiente di simulazione sviluppato mediante game engines. Mediante questo modello di simulazione è data per la prima volta la possibilità di valutare in anticipo la funzionalità dell'edificio al suo stadio finale ovvero al momento della sua occupazione e del suo utilizzo, senza però mettere in realtà piede nel processo di costruzione. I progettisti possono così valutare al meglio il prodotto edilizio durante il processo di definizione dello stesso, avendo la possibilità di intervenire per tempo in caso vengano rilevati errori, inconsistenze, punti critici o nodi non risolti. La conseguenza diretta di tale fenomeno è un miglioramento complessivo della qualità del prodotto edilizio finale almeno in termini di prestazioni legate alla funzionalità e all'uso da parte dei suoi futuri utenti.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A. Koutamanis, M. Van Leusen, V. Mitossi, Route analysis in complex buildings. Proceedings of the Ninth International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Eindhoven, 8-11 July (2001) 711-724.
- [2] G. Zimmermann, Modeling and Simulation of Individual User Behavior for Building Performance Predictions. Proceedings of the 2007 summer computer simulation conference, California, 2007.
- [3] D. Simeone, A. Fioravanti, An ontology-based system to support agent-based simulation of building use. ITcon (Journal of Information Technology in Construction), Vol. 17, Special Issue CAAD and innovation, <http://www.itcon.org/2012/16> (2012) 258-270.
- [4] W. Yan, Y. E. Kalay Simulating the Behavior of Users in Built Environments. Journal of Architectural and Planning Research (JAPR), 21: 4. Locke Science Publishing Company, Inc, 2004.
- [5] V. Tabak, User Simulation of Space Utilisation - System for Office Building Usage Simulation, PhD Thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2008.
- [6] D. Simeone, Y.E. Kalay, An Event-Based Model to Simulate Human Behaviour in Built Environments. Digital Physicality - Proceedings of the 30th eCAADe Conference - Volume 1, Czech Technical University in Prague, Faculty of Architecture (Czech Republic) 12-14 September 2012 (2012) 525-532.
- [7] D. Simeone, Simulare il Comportamento Umano negli Edifici: Un Modello Previsionale. Gangemi Editore, 2015.