

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO - BICOCCA
Dipartimento di Informatica Sistemistica e Comunicazione
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Informatica



Sviluppo e analisi di scenari what-if per dinamiche di deflusso in ambienti strutturati

Relatore: Prof.ssa Stefania BANDINI

Correlatore: Dott.ssa Lorenza MANENTI

Relazione della prova
finale di:
Fabio Valsecchi
Matricola: 717186

Anno Accademico 2010-2011

Indice

1	Introduzione	1
2	Software di Pedestrian Dynamics	4
2.1	Software di Simulazione	4
2.2	Selezione Software	8
2.3	STEPs	9
2.4	MAKKSim	12
3	Osservazione e Caso di Studio	15
3.1	Strumenti di Osservazione	15
3.1.1	Teoria di Canetti	15
3.1.2	Framework Ontologico	20
3.2	Osservazione	22
3.2.1	Caratteristiche Struttura	23
3.2.2	Osservazione	24
3.2.3	Livello Macroscopico	26
3.2.4	Livello Mesoscopico	28
3.2.5	Livello Microscopico	32
3.2.6	Applicazione Framework Ontologico	32
4	Realizzazione Scenario con STEPs	35
4.1	Analisi Strumenti	36
4.2	Fasi di Modellazione	39
4.3	Calibrazione	44
4.4	Risultati	45
5	Realizzazione Scenario con MAKKSim	46
5.1	Analisi Strumenti	46
5.2	Fasi di Modellazione	48
6	Comparazione Risultati	51

Indice	II
---------------	-----------

7 Conclusioni	56
----------------------	-----------

Bibliografia	I
---------------------	----------

Elenco delle figure

2.1	Simulazione d'uscita da un centro commerciale.	11
2.2	Simulazione d'uscita da uno stadio.	12
2.3	Situazione reale del movimento dei pellegrini dalle waiting box verso l'entrata della stazione di Arafat I.	14
2.4	Simulazione della situazione descritta in Figura 2.3.	14
3.1	Teoria di Canetti: formazione e caratteristiche della massa. . .	17
3.2	Schema della metodologia per lo studio della folla.	20
3.3	Logo e posizione del Tortona Design Week.	22
3.4	Vista panoramica della rappresentazione 3D del Ponte di Porta Genova.	23
3.5	Vista panoramica del ponte con postazioni fisse di osservazione.	26
3.6	Lanes Formation: creazione di corsie distinte di pedoni con direzione di moto opposta.	27
3.7	Freezing by heating.	28
3.8	Nella parte sinsitra della rampa sono presenti due gruppi line-abreast mentre nella destra un gruppo V-like.	30
3.9	Gruppo V-like: da notare come la configurazione del gruppo agevola la comunicazione.	30
3.10	Foto sequenza di un'emergenza di una leadership di gruppo. .	31
3.11	Angolo retto.	32
4.1	Vista panoramica del ponte di Porta Genova durante la simulazione in STEPs.	42
4.2	Vista della rampa di scala posta in Stazione Porta Genova durante la simulazione in STEPs.	43
4.3	Vista della rampa di scala posta in Via Tortona durante la simulazione in STEPs.	43
5.1	Vista dall'alto del modello del ponte di Porta Genova realizzato in MAKKSIM.	49

5.2 Vista panoramica del ponte durante una simulazione.	50
6.1 Schema delle fasi di realizzazione scenario.	51

Elenco delle tabelle

2.1	Tabella riassuntiva delle funzionalità disponibili nei software analizzati.	9
2.2	Tabella riassuntiva delle funzionalità disponibili in MAKKSim.	13
4.1	Tabella riassuntiva dei people event creati per popolare il modello.	42

CAPITOLO 1

Introduzione

Il presente lavoro di tesi si contestualizza nell'ambito della Pedestrian Dynamics ovvero nel contesto di ricerca che ha come obiettivo lo studio delle dinamiche generate dal movimento di pedoni e lo sviluppo di strumenti di modellazione e simulazione di supporto a tali attività. Il lavoro di stage è stato svolto presso il Laboratorio di Intelligenza Artificiale¹ del dipartimento di informatica, Sistemistica e Comunicazione (DISCo) dell'Università di Milano-Bicocca e in collaborazione con il Centro di Ricerca Complex Systems and Artificial Intelligence². Il progetto svolto durante il periodo di stage ha riguardato in particolare:

- la partecipazione ad un'osservazione diretta in occasione del 50esimo Salone del Mobile (Milano, 12-17 Aprile 2011);
- la classificazione e studio dello scenario osservato secondo la metodologia in adozione presso il centro di ricerca CSAI (ELIAS38) con particolare riferimento ai fenomeni emergenti tipici di situazioni di affollamento;
- la realizzazione di scenari what-if per la sperimentazione comparativa di due software di simulazione di Pedestrian Dynamics: STEPS (recente strumento all'avanguardia nel settore della Pedestrian Dynamics) e MAKKSim (strumento sviluppato presso il centro di ricerca CSAI all'interno di un progetto di ricerca orientato allo sviluppo di strumenti modellistici e di simulazione innovativi rispetto allo stato dell'arte).

¹Sito web LINTAR: www.lintar.disco.unimib.it

²Sito web CSAI: www.csai.disco.unimib.it

La Pedestrian Dynamics (in particolare la branca che piu' direttamente è legata alla Computer Science) ha come obiettivo la realizzazione di innovativi strumenti di modellazione e simulazione che possono supportare la progettazione e modifica di ambienti destinati ad ospitare masse di individui in occasione di eventi pubblici, il posizionamento di segnaletica, uscite di sicurezza e percorsi all'interno di edifici come stazioni ferroviarie e metropolitane o stadi, palazzetti. Tale disciplina sta recentemente riscontrando un forte e crescente interesse per la riconosciuta importanza del considerare, nella progettazione di tali spazi, anche le esigenze dei loro fruitori (visitatori, pubblico di un evento sportivo o musicale, partecipanti a manifestazione, passanti, viaggiatori, pellegrini).

Grazie agli strumenti informatici disponibili oggi, è possibile realizzare programmi eseguibili su un calcolatore, per realizzare scenari what-if per lo studio di situazioni tipiche attraverso simulazioni in un ambiente virtuale. L'analisi che consentono tipicamente tali strumenti è l'osservazione di fenomeni (simulati) in condizioni controllate e replicabili, generando comportamenti desiderati tramite la manipolazione di variabili e condizioni che hanno qualche influenza sui fenomeni.

Nel Capitolo 2 viene fornita una prima panoramica dell'ambito di ricerca affrontato, introducendo i principali software di simulazione di Pedestrian Dynamics oggi in commercio. L'indagine svolta su questi applicativi ha individuato STEPS (sviluppato da Mott MacDonald – <http://www.mottmac.com>) come software piu' adatto per la comparazione del software MAKKSIM (MAKKa pedestrian and crowd Simulator) in sviluppo presso il Centro di Ricerca CSAI per valutarne le attuali funzionalità e fornire adeguati requisiti di sviluppo futuro.

La comparazione dei due tool ha previsto la realizzazione e la modellazione parallela di un caso di studio con entrambi in modo tale da poter effettuare un'analisi dei due software. La descrizione dello stesso e la metodologia adottata per la sua analisi sono illustrate nel Capitolo 3. Il disegno dello scenario è stato condotto con il team che ha partecipato ad un attività di osservazione svolta nei pressi del ponte di Porta Genova a Milano, in occasione del Fuorisalone 2011, evento in concomitanza con il Salone Internazionale del Mobile. L'obiettivo principale di tale osservazione è stato quello di individuare indicatori comportamentali funzionali alla costruzione di una griglia di osservazione divisa in tre livelli di indagine:

- livello macroscopico (fenomeni legati alla generica folla: Lanes Forma-

tion, Freezing by heating);

- livello microscopico (comportamenti a livello di gruppo: emergenza di una leadership, morfologia gruppi);
- livello microscopico (eventi individuali: superamento di percorsi ad angolo retto).

Nel Capitolo 3 inoltre è descritta l'analisi condotta, che ha permesso di individuare fenomeni tipici che caratterizzano situazioni affollate.

Nel Capitolo 4 e nel Capitolo 5 sono illustrate le fasi del metodo seguito, rispettivamente tramite STEPs e tramite MAKKSim, per riprodurre il caso di studio a partire dalla realizzazione dell'ambiente all'esecuzione della simulazione. In entrambi i capitoli sono inoltre riportati i principali strumenti e funzionalità messi a disposizione dai due software per la realizzazione scenari what-if relativi al caso di studio disegnato e riprodurre i comportamenti e le dinamiche significative osservate durante l'osservazione (lane formation, group morphologies, ...). Durante tale fase si è svolta un'attività di calibrazione al fine di raggiungere un buon grado fedeltà con il fenomeno osservato variando i parametri messi a disposizione da STEPs e MAKKSim.

Infine, nel Capitolo 6 sono sintetizzati i possibili requisiti funzionali di MAKK-Sim, sviluppabili in futuro, che sono emersi da tale analisi comparativa.

CAPITOLO 2

Software di Pedestrian Dynamics

In questo capitolo si fornirà una prima panoramica dell'ambito di ricerca che si è affrontato, introducendo i software di simulazione di Pedestrian Dynamics. Inoltre verrà stilata una rassegna descrittiva di alcuni di questi software con lo scopo di individuare un'applicazione competitiva presente in commercio per poterla confrontare con MAKKSIm (MAKKa pedestrian and crowd Simulator), simulatore di folle realizzato all'interno del Centro di Ricerca CSAI. La comparazione dei due software ha previsto la realizzazione e la modellazione parallela di un caso di studio, descritto in dettaglio nel capitolo 3, con entrambi in modo tale da poter effettuare un'analisi qualitativa dei due software presi in esame focalizzandosi maggiormente sui possibili sviluppi futuri di MAKKSIm.

2.1 Software di Simulazione

Pedestrian Dynamics è un termine usato per definire il movimento e l'interazione di persone presenti all'interno di un ambiente. L'analisi di dinamiche pedonali è una tecnica molto efficace che aiuta professionisti come architetti, ingegneri, urbanisti, consulenti di sicurezza ad ottimizzare e gestire i propri progetti.

I software di Pedestrian Dynamics si occupano di effettuare simulazioni su scenari what-if chiamati anche casi di studio. Le simulazioni riproducono movimenti pedonali e comportamenti di persone all'interno di edifici o di qualsiasi ambiente. Le analisi dei movimenti delle persone, tramite queste simulazioni, stanno diventando un requisito per la progettazione e la gestione

di molte strutture; infatti attraverso lo studio delle simulazioni è possibile ottimizzare il comportamento dei pedoni. Di conseguenza i relativi software diventano molto importanti in molti ambiti di applicazione. Tali applicativi sono utilizzati per valutare progetti di edifici e di spazi urbani, pianificare eventi speciali come concerti o eventi sportivi, chiudere strade per parate o feste ma anche per pianificare evacuazioni di edifici o spazi urbani, prevenire incidenti stradali e garantire la sicurezza dei pedoni.

I software in questione sono classificabili in tre tipologie di architettura. Ognuna di esse rappresenta i pedoni e i loro movimenti attraverso un modello diverso basato su:

- *Particelle*: questi modelli costituiscono un approccio fisico e analitico in cui i pedoni sono considerati come particelle soggette a forze derivanti dalle interazioni tra i pedoni e dall'ambiente;
- *Celle*: questi modelli prevedono una rappresentazione discreta dell'ambiente basata su automi cellulari, in cui i pedoni sono considerati come stati di ogni cella;
- *Agenti*: questo approccio basato su agenti considera i pedoni come agenti autonomi immersi nell'ambiente.

La maggior parte di questi software sono sviluppati basandosi su un'architettura multi-agente (Multi-Agent System, MAS). Un MAS è un sistema composto da un insieme di entità autonome ed eterogenee, distribuite in un ambiente, capaci di cooperare e coordinarsi insieme [2] [12]. Tale approccio viene utilizzato per descrivere e modellare le folle come sistemi di individui con caratteristiche e comportamenti propri che interagiscono con l'ambiente e con gli altri individui. Con agente si intende un'entità fisica o virtuale capace di agire all'interno di un ambiente, di comunicare direttamente con gli altri agenti, di percepire l'ambiente in misura limitata e il cui comportamento tende a soddisfare i propri obiettivi tenendo conto delle risorse e delle competenze disponibili a seconda delle sue percezioni e rappresentazioni e dalle comunicazioni che riceve [2].

Attraverso simulazioni multi-agente è possibile rappresentare il comportamento di entità autonome (agenti) in un modello (ambiente) che rappresenta la realtà. L'analisi di dinamiche pedonali è una tecnica molto efficace che aiuta professionisti come architetti, ingegneri, urbanisti, consulenti di sicurezza ad ottimizzare e gestire i propri progetti. La simulazione veste un ruolo importante; infatti permette la rappresentazione di problemi concreti attraverso modelli computerizzati del mondo reale. L'utilizzo di tali modelli fornisce molti vantaggi rispetto ai tradizionali metodi di sperimentazione:

- Minori costi di progettazione del test;
- Minori tempi di progettazione del test;
- Possibilità di affrontare problemi più complessi;
- Flessibilità nel testare scenari differenti;
- Nessun rischio nel simulare situazioni pericolose come evacuazioni;
- Strumenti di analisi delle simulazioni più potenti.

Di seguito verranno illustrati i più importanti software utilizzati con le relative funzionalità, con lo scopo di individuare il più adatto per effettuare simulazioni di dinamiche pedonali, in situazioni di normale deflusso.

Legion è sviluppato dalla Legion International Ltd.¹. Questo software è basato su anni di studi sui movimenti e comportamenti delle folle. Legion può simulare migliaia di pedoni su un singolo PC e può essere utilizzato sia per scenari di emergenza sia per normali scenari di non emergenza. Fornisce funzionalità per importare e modificare progetti di ambienti strutturati. È possibile specificare entrate, uscite e percorsi di movimento. I pedoni decidono autonomamente basandosi sui propri obiettivi e sulla base di diversi livelli di conoscenza e esperienza. Sono dotati di una percezione dell'ambiente in cui sono immersi. Sono disponibili template per diversi tipi di pedoni come pendolari o turisti. Inoltre Legion offre molte informazioni di output come livelli di densità locale, aree congestionate, tempi per raggiungere le destinazioni, video e immagini.

Myriad II è stato sviluppato da Keith Still alla Crowd Dynamics (UK) ². Il principale scopo di questo software è l'analisi di scenari what-if per rilevare come, quando e dove un sistema fallisce, dando l'opportunità a pianificatori di eventi di definire piani di emergenza per far fronte a potenziali problemi durante eventi di massa. Myriad II permette simulazioni di emergenza che hanno come scopo quello di capire e migliorare aspetti spaziali e temporali di un'evacuazione di un edificio. Fornisce informazioni per giudicare la capacità di un edificio che permetta un'evacuazione sicura, immagini e video per osservare il movimento degli agenti all'interno dell'edificio e dati come velocità, densità e utilizzo dello spazio nel tempo da parte degli agenti.

¹Sito web di Legion <http://www.legion.biz>

²Sito web di Myriad II <http://www.crowddynamics.com>

PedGo è un software di simulazione risultato di un progetto di ricerca, chiamato BYPASS, svolto da Tim Meyer-Konig and Hubert Klupfel ³. Questo software fornisce simulazioni in tempo reale di folle composte da più di 10000 persone su un computer Pentium 3 a 500 Mhz. E' stato usato per simulare uno scenario di evacuazione di 10000 pellegrini sul ponte Jamarat ⁴. L'editor di PedGo permette di creare e modificare progetti di ambienti; è possibile inoltre importare file CAD. Agli agenti vengono attribuiti parametri come velocità massima, pazienza e impulsi. Un modello basato su automi cellulari viene utilizzato per simulare movimenti microscopici e locali dei pedoni. Output visivi, tempo di evacuazione, densità aree, tempo di cammino, distanza percorsa dai singoli pedoni e raw data sono informazioni fornite da PedGo.

SimWalk è un software per simulazioni pedonali sviluppato da Savannah Simulations (Svizzera) ⁵. Questo software può essere utilizzato per simulazioni normali o di evacuazione di folle. E' possibile solamente definire aree di partenza, punti intermedi e punti d'uscita per le simulazioni normali. SimWalk può modellare folle relativamente grandi. Simwalk fornisce anche SimDraw, un'utility per importare progetti CAD, creare e modificare nuovi progetti di ambienti. Il software differenzia gli agenti soltanto con velocità e ritardo nei movimenti. Fornisce i percorsi dei movimenti, informazioni relative al flusso, livello del servizio, velocità e tempo dei singoli agenti per raggiungere la destinazione, registrazioni e riproduzioni.

Steps è un crowd simulation software sviluppato da Matt MacDonald (UK) ⁶. Questo software è stato convalidato dall'NFPA (National Fire Protection Association) per due casi di studio relativi a stazioni ferroviarie. In entrambi i casi STEPs è stato in grado di riprodurre i tempi di evacuazione comparabile all'NFPA. STEPs ha delle funzionalità aggiuntive per la simulazione di evacuazioni e anche per i normali movimenti dei pedoni in una situazione di non emergenza. Il software è in grado di simulare 10 mila pedoni in un computer di ultima generazione. STEPs permette di importare file CAD e progettare direttamente ambienti tramite il software. STEPs simula comportamenti e movimenti di singoli pedoni e di gruppi di pedoni come famiglie. E' possibile definire

³Sito web PedGo, <http://www.traffgo-ht.com/en/pedestrians/products/pedgo/index.html>

⁴Hubert Klupfel, The simulation of crowd dynamics at very large events, TraffGo HT GmbH, Duisburg Germania

⁵Sito web di Legion <http://www.simwalk.com>

⁶Sito web STEPs, <http://www.mottmac.com/skillsservices/software/stepssoftware/>

velocità, grandezza, livello di pazienza, percorsi per ogni agente. Rappresentazioni grafiche di densità locali, livello di utilizzo delle uscite, densità in regioni particolari, tempo totale di evacuazione, numero di pedoni per ogni regione, pedoni disabili e lenti, registrazioni tracce, immagini e video delle simulazioni sono alcune delle informazioni di output che STEPs fornisce.

2.2 Selezione Software

Dopo aver individuato e descritto i principali software per simulare dinamiche pedonali, si è cercato di individuare quello più adatto per effettuare simulazioni. Il software candidato dovrà possedere le seguenti caratteristiche e funzionalità:

- *Modalità simulazione*: il software deve permettere l'effettuazione di simulazioni di normale deflusso;
- *Design ambiente*: il software deve permettere di progettare un ambiente o di importare file CAD;
- *Rappresentazione agenti*: il software deve permettere la rappresentazione di singoli agenti e di gruppi di agenti;
- *Numero agenti rappresentabili*: il software deve permettere la rappresentazione di un numero di agenti pari al numero di persone partecipanti a un concerto di medie dimensioni;
- *Licenza*: il software deve essere rilasciato con una licenza educational;
- *Output*: il software deve fornire output significativi per una robusta analisi post-simulazione.

Una comparazione relativa a queste caratteristiche è presentata nella Tabella 2.1.

Sulla base delle nostre esigenze, STEPs è stato identificato come software candidato per la rappresentazione degli scenari a cui siamo interessati. Infatti STEPs permette di effettuare simulazioni in situazioni sia normali sia di emergenza, include uno strumento per progettare un ambiente, permette la rappresentazione di agenti come singoli individui e come gruppi di agenti, oltre che di un numero di agenti coerente con gli scenari che si andranno

Funzionalità	Legion	Myriad II	PedGo	SimWalk	STEPs
Modalità simulazione	normale e emergenza	normale e emergenza	emergenza	normale e emergenza	normale e emergenza
Progettazione ambiente	inclusa	inclusa	inclusa	inclusa	inclusa
Tipologia agenti	singoli e gruppi	singoli	singoli	singoli	singoli e gruppi
Agenti rappresentabili	migliaia	milioni	10000	migliaia	10000
Licenza	pagamento	pagamento	pagamento	pagamento	educational
Output	ottimo	buono	buono	buono	ottimo

Tabella 2.1: Tabella riassuntiva delle funzionalità disponibili nei software analizzati.

a costruire e fornisce degli ottimi strumenti di output per le analisi post-simulazione. Inoltre il motivo principale per cui la scelta è ricaduta su STEP^s è che offre una licenza educational che permette l'utilizzo del software per usi didattici.

2.3 STEP^s

Al fine di fornire un maggior grado di dettaglio all'applicazione, di seguito vengono descritte le caratteristiche e le funzionalità messe a disposizione dal software.

Modellazione di ambienti

- Un approccio 3D che permette una modellazione efficiente e intuitiva;
- Importazione diretta di CAD 2D e 3D;
- Modellazione di strutture complesse multilivello come scambi di trasporto, stadi e grattacieli.

Rappresentazione delle persone

- Persone individuali con attributi unici come velocità di cammino, pazienza e familiarità con l'ambiente;

- Parametri utente definibili come ritardo, tempo di risposta, rapporto velocità di cammino/densità e scelta del percorso.

Simulazioni in condizioni normali

- Cammini di movimento sulla base di obiettivi definibili dall'utente;
- Zone d'attesa per comportamenti ripetitivi alle biglietterie automatiche, punti d'informazione e punti vendita;
- Obiettivi e criteri d'attesa basati su scelte stocastiche o condizioni locali come lunghezza coda, treni in arrivo;
- Modellazione avanzata di ascensori.

Simulazioni in condizioni di emergenza

- Evacuazione o passaggio dalle normali operazioni al processo di evacuazione al fine di simulare gradualmente evacuazione di edifici;
- Importazione smoke data da CFD e modelli di zona;
- Tempo dipendente da ostacoli come un'uscita bloccata da fumo.

Output

- Animazioni 2D e 3D e immagini disponibili in numerosi formati;
- Dati numerici in uscita come il livello di servizio (LOS), portata, tempi di attesa, lunghezza della coda, tempo di percorrenza, utilizzo e tempo d'uscita;
- Calcolo del tempo di viaggio e costi sociali.

Esempi di applicazioni

- Heathrow Terminal 5 station and transit system, London, UK
- New Yankee Stadium, New York, USA
- Delhi Airport, India
- Grand Central Station, New York, USA
- North/South metro line, Amsterdam, The Netherlands
- MTR Sha Tin to Central Link, Hong Kong

- World Trade Center Transportation Hub, New York, USA
- City Line, Stockholm, Sweden
- New Wembley Stadium, London, UK
- Bahrain City Centre shopping mall, Kingdom of Bahrain
- Building Schools for the Future Programme, UK
- Adelaide Oval, Australia
- Maracaibo Metro, Venezuela

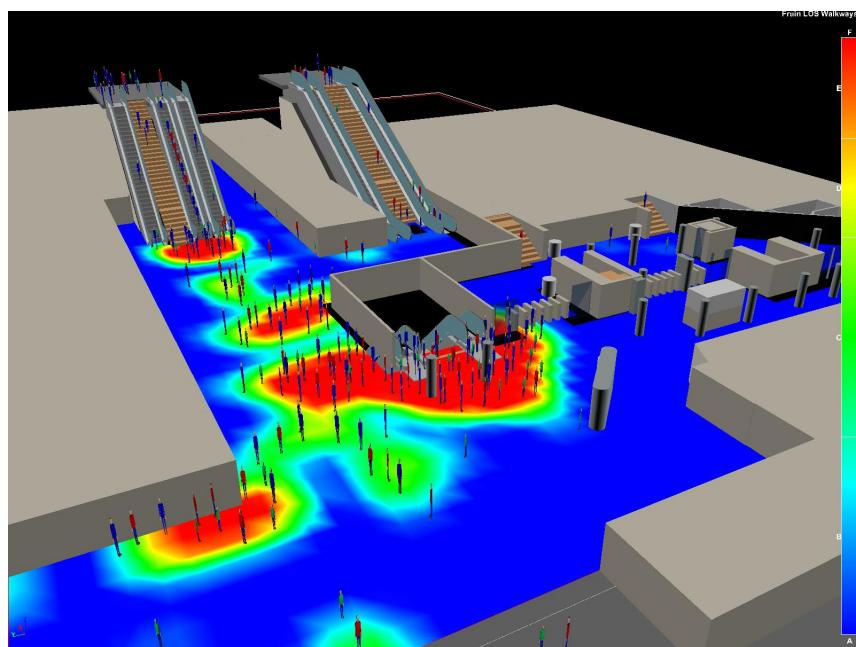


Figura 2.1: Simulazione d'uscita da un centro commerciale.



Figura 2.2: Simulazione d'uscita da uno stadio.

2.4 MAKKSim

MAKKSim (MAKKa pedestrian and crowd Simulator) è una piattaforma di seconda generazione per simulazioni di Pedestrian Dynamics costituita su un modello basato su agenti in cui sono esplicitamente considerati gruppi di pedoni e attitudini culturali. MAKKSim e il relativo modello sono il risultato del progetto CRYSTALS, una ricerca multidisciplinare tra il Center of Research Excellence in Hajj and Omrah (Arabia Saudita) e il centro di ricerca CSAI.

Tale applicazione, tramite l'adozione di un modello basato su agenti, si pone come obiettivo, la ricerca di rapporto tra i contributi antropologici e le caratteristiche culturali, e i risultati esistenti della ricerca nell'ambito della dinamica delle folle. Inoltre vuole indagare su come la presenza di gruppi eterogenei influenzino le dinamiche emergenti nel contesto di Hajj (il pellegrinaggio verso La Mecca).

Utilizzando i criteri di valutazione usati come requisiti di selezione del software di Pedestrian Dynamics (STEPs) nella Sezione 2.2 è possibile fornire un'analisi di MAKKSim attraverso tali criteri, come visibile in Tabella 2.2.

MAKKSim permette agli utenti di simulare e di visualizzare le dinamiche di una folla in ambienti chiusi e aperti fornendo le seguenti funzionalità:

Funzionalità	MAKKSim
Modalità simulazione	normale
Progettazione ambiente	inclusa
Tipologia agenti	singoli e gruppi
Agenti rappresentabili	centinaia
Output	limitato

Tabella 2.2: Tabella riassuntiva delle funzionalità disponibili in MAKKSim.

Modellazione di ambienti

- Progettazione diretta di scenari 3D e 2D con l'utilizzo di Blender⁷;
- Importazione di file CAD e file 3D.

Rappresentazione delle persone

- Agenti con dinamiche di comportamento basate su prossemica e obiettivi;
- Agenti caratterizzati da appartenenza ad un gruppo, obiettivi, grado e raggio di coesione e separazione.

Output

- Immagini rappresentanti densità dei flussi pedonali;
- Dati numerici come tempi di percorrenza per pedoni singoli e gruppi.

Applicazioni

- Haji, pellegrinaggio verso La Mecca, Arabia Saudita.

⁷Ambiente di modellazione 3D opensource: <http://www.blender.org>



Figura 2.3: Situazione reale del movimento dei pellegrini dalle waiting box verso l'entrata della stazione di Arafat I.

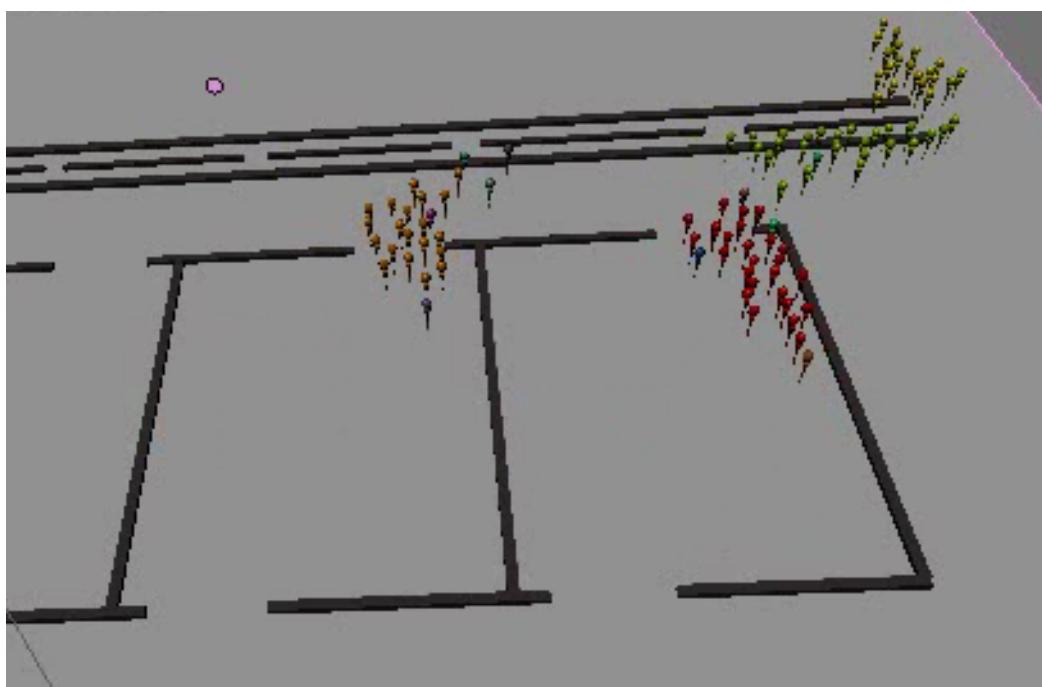


Figura 2.4: Simulazione della situazione descritta in Figura 2.3.

CAPITOLO 3

Osservazione e Caso di Studio

In questo capitolo verrano inizialmente descritti gli strumenti e la metodologia osservativa utilizzata per effettuare un'analisi della rilevazione diretta svolta. Nella seconda parte invece verrà descritta in dettaglio l'osservazione effettuata in occasione del Fuorisalone 2011.

3.1 Strumenti di Osservazione

3.1.1 Teoria di Canetti

Un importante contributo alla modellazione di scenari si basa sulla teoria di Elias Canetti¹, che nel saggio “Massa e potere”[1] del 1960 sviluppa un approccio originale alla studio della folla, elemento importante per la modellazione di scenari. Di seguito verranno illustrati gli aspetti più importanti del modello proposto da Canetti, descrivendo le dinamiche di formazione, le caratteristiche e la classificazione della massa, in modo tale da avere gli elementi necessari alla comprensione del framework ontologico descritto nella sezione successiva e dell'applicazione di esso al caso di studio descritto nella sezione 3.2. In Figura 3.1 è proposta una rappresentazione grafica della formazione e delle caratteristiche della massa proposta da Canetti.

¹Elias Canetti (Ruse, Bulgaria, 25 luglio 1905 – Zurigo, 14 agosto 1994), scrittore premio Nobel per la letteratura nel 1981, è considerato l'ultima grande figura della cultura mitteleuropea ed è stato uno dei più grandi sociologi del secolo.

Formazione della massa:

L'individuo singolo è caratterizzato dalla paura di essere toccato dagli altri individui, per cui cerca di mantenere una certa distanza da essi per evitare il contatto.

La massa composta da individui che singolarmente sono caratterizzati dalla paura di essere toccati, all'interno della massa perdono questa paura.

La scarica è l'elemento generatore della massa. Essa agisce sui singoli individui creando la massa in cui la paura di essere toccati scompare e gli individui si sentono tutti uguali. La scarica unisce i singoli individui con la paura di essere toccati formando la massa che può essere considerata un'unica entità.

Caratteristiche della massa:

Densità: all'interno della massa tutti gli individui si sentono un unico corpo compatto, sono addossati l'uno all'altro senza più avere alcuna paura.

Spontaneità: la massa si forma all'improvviso senza che ci siano eventi o fattori che ne preannuncino la comparsa, a parte la scarica. Canetti parla anche di una **meta**: questa si trasmette tra gli individui ed è un punto nello spazio dove essi si radunano.

Spinta a crescere: è la caratteristica più significativa della massa in quanto garantisce la sopravvivenza di essa. La spinta a crescere permette la crescita della massa in termini numerici e permette alla scarica di continuare anche sui nuovi individui.

Speranza nella ripetizione: è il fenomeno che fa sì che la massa accetti di disperdersi; il suo obiettivo principale infatti non è di crescita ma di durata nel tempo ed è tipico della massa chiusa.

Impulso di distruzione: è una caratteristica riscontrabile in tutte le culture e in tutti i paesi. Questo impulso è rivolto verso cose fragili che

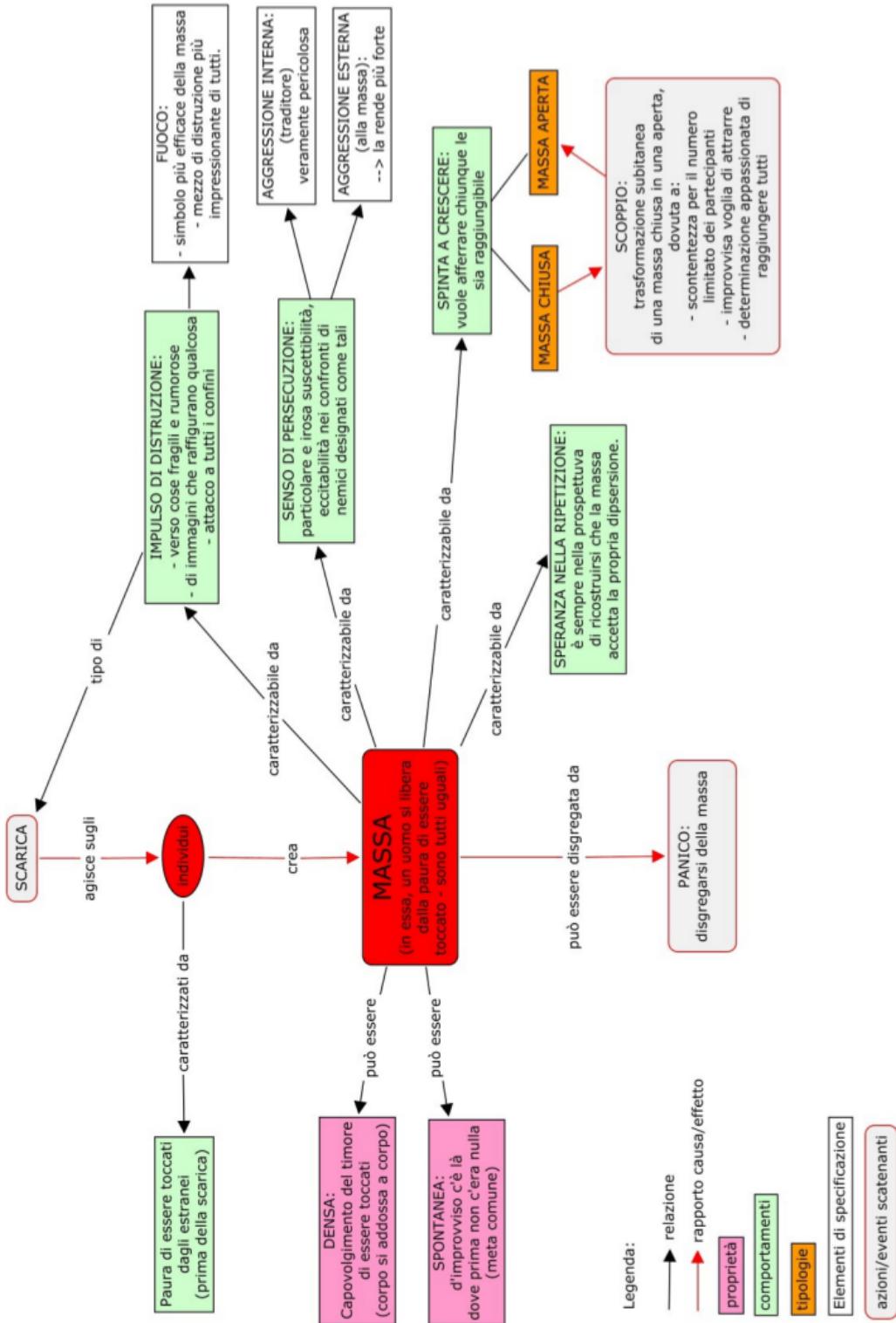


Figura 3.1: Teoria di Canetti: formazione e caratteristiche della massa.

provocano molto rumore, rappresentano qualcosa come la gerarchia di un ambiente sociale o di un sistema che non viene riconosciuto e di cui si vogliono infrangere i limiti e i confini. Questo fenomeno si verifica all'inizio quando la massa è composta da poche persone che sperano in un rinforzo da nuovi partecipanti. In questa prima fase non è ancora accaduto nessun evento significativo.

Senso di persecuzione: è un fenomeno che si esplica in un comportamento iroso con particolare suscettibilità e eccitabilità nei confronti dei nemici. I nemici sono tutti coloro che non fanno parte della massa, le loro azioni vengono sempre viste come intese a minare l'unità della massa in modo esplicito e non. L'aggressione può avvenire dall'interno della massa da parte di un traditore, il che può minare l'unità della massa, oppure dall'esterno.

Disgregazione della massa: è lo stadio finale all'interno delle dinamiche della formazione della massa. La massa si può disgregare perché cessa la crescita, perché accetta la dispersione in previsione della ripetizione o, infine, perché si verifica il **panico**. Quando quest'ultimo si verifica il singolo vuole staccarsi dalla massa e fuggire da essa in quanto come insieme la massa si trova in pericolo.

Classificazione della massa:

Massa aperta: è la massa nella sua forma più genuina e naturale, non ha alcun limite alla crescita ed esiste finché cresce.

Massa chiusa: si contrappone alla massa aperta per i suoi limiti ben definiti: si insedia in uno spazio definito e limitato, possono accedere un numero limitato di persone e può essere necessaria una cerimonia o una tassa d'ingresso per farne parte. Essendo limitata in termini spaziali e numerici, questo tipo di massa impiega le sue energie per durare nel tempo.

Massa ritmica: in questo tipo di massa l'uguaglianza e la concentrazione coincidono fin dall'inizio. Il ritmo esercita una forza di attrazione. All'interno della massa è importante che ognuno faccia la stessa cosa, le persone sono vicinissime e tutti agiscono come uguali. In questo modo

l'unità non è mai minacciata dall'interno.

Massa statica: questo tipo di massa vive nell'attesa della scarica. La sua genesi inizia con la concetratozione e l'uguaglianza della meta principale. La staticità è l'elemento caratterizzante, la massa attende le parole di un leader o assiste ad un evento.

Massa lenta: questo tipo di massa è caratterizzata dall'avere un obiettivo posto in lontananza. I suoi componenti sono una massa finchè sperano nella massa, appena si lamentano sono minacciati dalla disgragazione. La scarica è negata, collocata in remota lontananza insieme alla meta.

Massa rapida: in questo tipo di massa la meta è vicina, si raggiunge velocemente ed è tipico di tutte le masse moderne.

Massa festiva: tipico di questa massa è l'assenza di divieti e delle separazioni, anche se l'uguaglianza tra le persone è solo di circostanza. La meta è la festa stessa e la concentrazione delle persone nello spazio è alta.

Tipi di scarica:

Esistono due tipi diversi di scarica. Riguardo le masse aperte, deve esserci una scarica iniziale e successivamente questa deve continuare sulle nuove persone che si aggiungono, altrimenti la massa cessa di esistere. Riguardo le masse lente e ritmiche è necessario organizzare raduni a cadenza periodica e che all'interno di questi eventi si verifichi una scarica, con intensità crescente di volta in volta, per conservare l'attenzione e l'interesse delle persone che si è riusciti ad attrarre la prima volta. Canetti parla in questi termini delle masse religiose.

Altre classificazioni:

Massa doppia: è caratterizzata dalla presenza di due gruppi complementari, due sotto masse che contribuiscono a mantenersi reciprocamente in vita. Di fondamentale importanza è la percezione che queste due masse siano all'incirca di pari grandezza e abbiano quindi una forza tale da potersi contrastare senza determinare la disfatta di una delle

due. Le masse doppie possono essere tra uomini e donne, vivi e morti (visibili e invisibili), amici e nemici.

Cristalli di massa: sono gruppi chiusi e statici composti da pochi uomini. Questi gruppi sono ben distinti e identificabili, la loro attività deve essere nota e contribuiscono in modo determinante alla formazione delle masse. All'interno del cristallo non è possibile uno scoppio che lo faccia aprire ad altre persone. Le caratteristiche peculiari dei cristalli di massa sono quindi: unità, durevolezza, chiarezza, isolamento e costanza.

3.1.2 Framework Ontologico

Il framework ontologico che verrà presentato di seguito è uno strumento metodologico usato come base per lo studio delle folle da diversi punti di vista. Come è possibile osservare in Figura 3.2, questa metodologia parte dall'os-

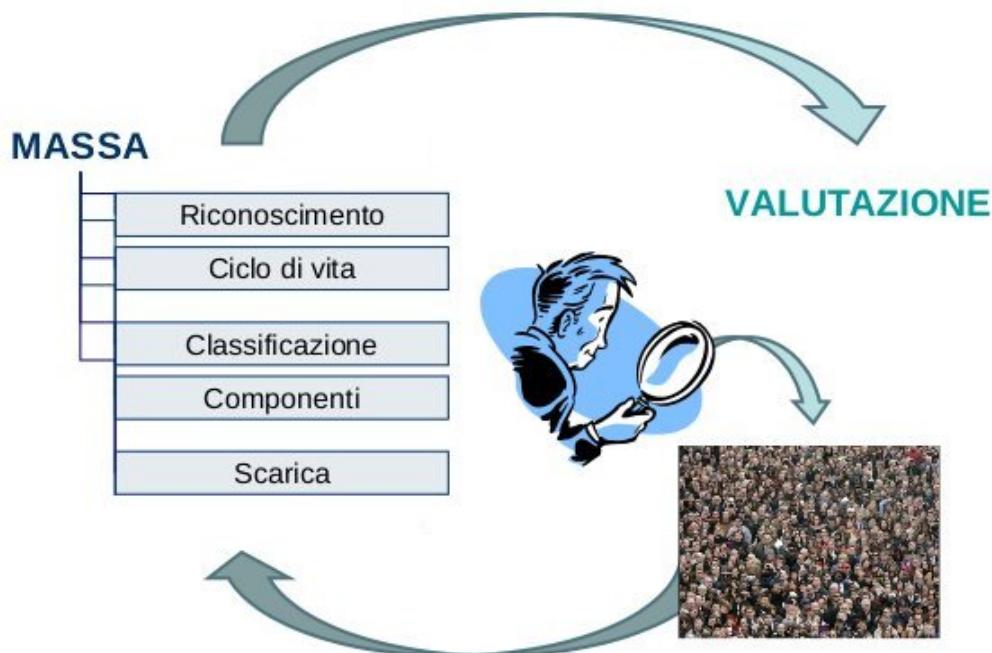


Figura 3.2: Schema della metodologia per lo studio della folla.

servazione diretta della massa e dei fenomeni che la caratterizzano. Successivamente attraverso precise fasi di analisi, il framework ontologico permette

di effettuare una valutazione completa e dettagliata della massa osservata. Di seguito si fornisce una descrizione delle fasi che compongono il framework.

- *Riconoscimento:*

Per studiare una folla, è innanzitutto necessario stabilire quando un insieme di persone può essere definito tale e quando invece non lo è. Il singolo che fa parte di una massa ha infatti caratteristiche diverse rispetto a quando si viene semplicemente a trovare in mezzo ad altra gente. L'insieme di più individui semplici e/o di uno o più gruppi che vengono valutati come “aggregati in una massa” dà luogo alla massa stessa. In questa fase quindi si fornisce una descrizione delle caratteristiche principali della massa, e si cerca di stabilire se essa può essere definita tale cercando un obiettivo comune per cui l'insieme di persone studiato possa essere considerato massa.

- *Ciclo di vita:*

La massa ha un ciclo di vita ben definito, costituito da diverse fasi, ognuna caratterizzata da una propria dinamica. La sua nascita è dovuta al verificarsi di una scarica, che colpisce i singoli individui, modificando il loro stato interno; l'esistenza vera e propria della massa è la fase in cui è possibile che si verifichino cambiamenti di tipologia della stessa; la disgregazione è la fase finale causata da diversi fattori. La definizione del ciclo di vita quindi definisce le diverse fasi che lo caratterizzano dalla nascita alla disgregazione.

- *Classificazione:*

Questa porzione di framework ha la funzione di supporto decisionale alla fase di catalogazione della folla, esplicitando i criteri che devono essere valutati ed il loro legame con le diverse tipologie di massa predefinite. I criteri base sui quali viene effettuata la classificazione di una folla sono: uguaglianza e concentrazione, crescita, meta ed emozioni. Mentre le prime sono qualità formali, che identificano coppie di tipologie mutuamente esclusive, le emozioni indagano invece sensazioni e contenuti di ciascuna massa e possono coesistere in una stessa folla, determinandone la contemporanea appartenenza a più categorie. Il compito di questa fase risulta essere molto complesso e consiste nello stabilire la tipologia di una folla.

- *Componenti:*

Una massa può essere costituita da semplici individui, ma anche da gruppi. Pertanto questa fase ha l'obiettivo di individuare questi gruppi e le rispettive caratteristiche. Inoltre, al suo interno, è possibile riscontrare la presenza di uno o più leader (individui particolari, in grado di manipolare la massa).

- *Scarica:*

Questa fase di analisi della folla è caratterizzata dallo studio del tipo di stimoli che agiscono su di essa, e che ne sono la causa della formazione. L'obiettivo quindi è quello di identificare il tipo di scarica che provoca la formazione della massa.

3.2 Osservazione

La seguente attività di ricerca ha avuto come obiettivo la raccolta di dati utili alla modellazione di uno scenario what-if, relativo al comportamento dei pedoni in situazioni di alta densità. A tal proposito, è stato scelto come caso studio il ponte di Porta Genova perché nella settimana del Salone Internazionale del Mobile [8] diventa un fondamentale punto di transito pedonale tra il piazzale della Stazione di Milano Porta Genova (interscambio di metropolitana linea M2, tram urbani, autobus e treni) e Via Tortona [11], uno dei più importanti circuiti del Fuori Salone [3], denso di eventi e appuntamenti che raccolgono pubblico da tutto il mondo. Il Fuori Salone è una serie di eventi che si svolgono, in concomitanza con la settimana del Salone Internazionale del Mobile dal 12 al 17 Aprile, sparsi in varie zone di Milano come Brera, Ventura Lambrate, Porta Romana e appunto Via Tortona, zona compresa fra Via Savona, Via Tortona e Via Stendhal.



Figura 3.3: Logo e posizione del Tortona Design Week.

3.2.1 Caratteristiche Struttura

Il ponte di Porta Genova è un importante punto di attraversamento utilizzato dal pubblico del Fuori Salone per accedere al quartiere Tortona oltrepassando la linea ferroviaria. È possibile dividere la struttura in due parti fondamentali: un piano viabile, sopraelevato alla linea ferroviaria, e due rampe di scale d'accesso ad essa. Caratteristica molto importante è la disposizione delle rampe; infatti la rampa accessibile dal piazzale della stazione conduce al piano viabile sopraelevato in maniera lineare, la seconda invece compie un angolo retto e si immette in Via Tortona, come è possibile osservare dalla Figura 3.4.

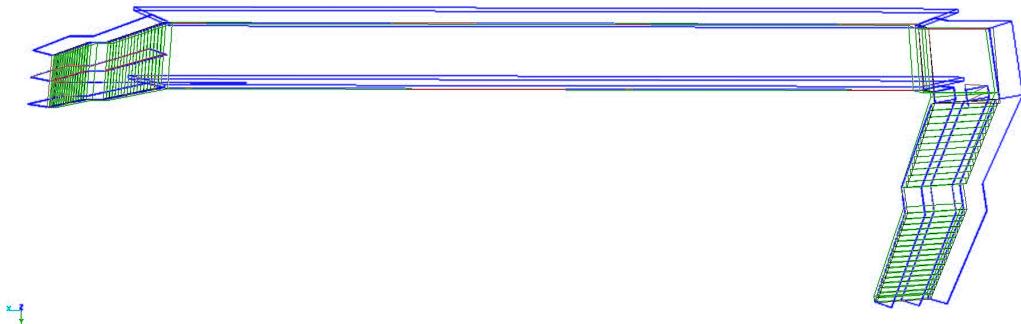


Figura 3.4: Vista panoramica della rappresentazione 3D del Ponte di Porta Genova.

Di seguito si analizza in dettaglio la struttura nelle sue parti:

- *Piano viabile*: questa parte del ponte è descrivibile come un ambiente non strutturato (corridor like) in quanto è caratterizzato dall'assenza di transenne o divisorii;
- *Rampe di accesso*: questa parte del ponte può essere considerata come strutturata in quanto entrambe le rampe sono caratterizzate alla presenza di un corrimano che le divide in due parti e che divide il traffico pedonale in due sensi di marcia.

Le dimensioni della struttura sono di 35m di lunghezza per il piano viabile, 10m di lunghezza per le rampe di scale, 1m per i tre scalini che collegano il piano viabile al pianerottolo ad angolo posto dalla parte di Via Tortona. Tutte le parti della struttura presentano una larghezza di 3m. Il pianerottolo ad angolo invece ha un area di 3m quadrati.

3.2.2 Osservazione

Metodologia di ricerca osservativa

Per l'attività di raccolta dati è stata scelta una metodologia di ricerca osservativa, in grado di evidenziare sequenze di azioni ripetute, indagandone il significato sulla base del contesto relazionale e ambientale osservato. La metodologia osservativa consiste, infatti, nell'osservazione sistematica di determinati comportamenti di singoli o di gruppi, e, a differenza del metodo sperimentale, non prevede alcuna manipolazione di variabili, o assegnazione di soggetti a gruppi.

Durante la fase di progettazione sono stati definiti i criteri di realizzazione dell'attività di osservazione:

- delimitazione dell'oggetto di ricerca;
- griglia di osservazione;
- grado di coinvolgimento degli osservatori;
- strumentazione utilizzata;
- calendario delle osservazioni.

Obiettivi ricerca

Gli obiettivi specifici dell'attività di osservazione sono stati rintracciati in alcuni comportamenti, individuali e di gruppo, legati alle modalità di orientamento spaziale e di regolazione della distanza inter-personale dei pedoni, in situazioni di alta densità. Sono stati individuati diversi indicatori comportamentali funzionali alla costruzione di una griglia di osservazione, suddivisa in tre livelli di indagine: livello macroscopico (folla), mesoscopico (gruppi) e microscopico (individui).

- Livello macro-scopico: sono stati osservati alcuni comportamenti legati alla formazione spontanea di corsie, una per ogni direzione di marcia (lanes formation), e alla rottura delle corsie stesse a causa di continue manovre di sorpasso, con una conseguente situazione di stallo (freezing by heating);
- Livello meso-scopico: sono state indagate le modalità di emergenza di una leadership di gruppo, funzionale all'attraversamento di uno spazio affollato (emergenza della leadership per maggiore spazio o per appropriazione dello spazio); i comportamenti di gruppo legati alla formazione spontanea di corsie di marcia (lane formation e gruppi naturali);

le caratteristiche morfologiche dei gruppi, in relazione alle modalità di regolazione dinamica delle distanze interpersonali in situazioni di alta densità (prossemica di gruppo);

- Livello micro-scopico: è stata indagata la modalità con cui i pedoni, in situazioni di alta densità, superano un percorso ad angolo retto (tendenza a rallentare e a ridurre la distanza inter-personale).

Grado di coinvolgimento degli osservatori

Le osservazioni si sono svolte nella settimana del Salone Internazionale del Mobile dal 12 al 17 aprile 2011. Oggetto di tali osservazione è stato appunto il Ponte di Porta Genova, collegamento pedonale tra l'interscambio dell'omonima stazione e Via Tortona. Per garantire una maggiore validità all'attività di ricerca, si è scelto di limitare il grado di coinvolgimento dei ricercatori nella fase di raccolta e analisi dei dati, attraverso l'utilizzo di strumenti finalizzati alla video-registrazione delle attività. Il team di ripresa era composto da quattro persone due per ogni lato del ponte.

Per la realizzazione delle riprese sono stati affrontati alcuni aspetti etici e deontologici, legati alla tutela della privacy delle persone coinvolte, attraverso la consultazione della legislazione vigente in materia. In comune accordo con le autorità di Polizia Locale, sono state inoltre individuate, attraverso un sopralluogo preliminare, delle postazioni video poco invadenti, cercando così di non intralciare il flusso dei pedoni, e di non influenzare ai fini della ricerca, il comportamento dei soggetti osservati.

L'incontro con la polizia ci ha permesso di posizionare telecamere a cavalletto fisso, di fronte alle rampe di salita e discesa, e l'utilizzo di telecamere senza cavalletti sul piano viabile sopraelevato in quanto avrebbe intralciato il flusso pedonale. Questa forte limitazione ci ha portato ad indirizzare le riprese verso le rampe di accesso tralasciando il comportamento dei pedoni sulla parte sovraelevata per la quale sarebbe stata necessaria una postazione più alta non disponibile. Le postazioni hanno comunque permesso di poter effettuare delle riprese più che soddisfacenti delle zone prese in oggetto, certamente adeguate a ricavare del materiale abbondante ai fini della ricerca.

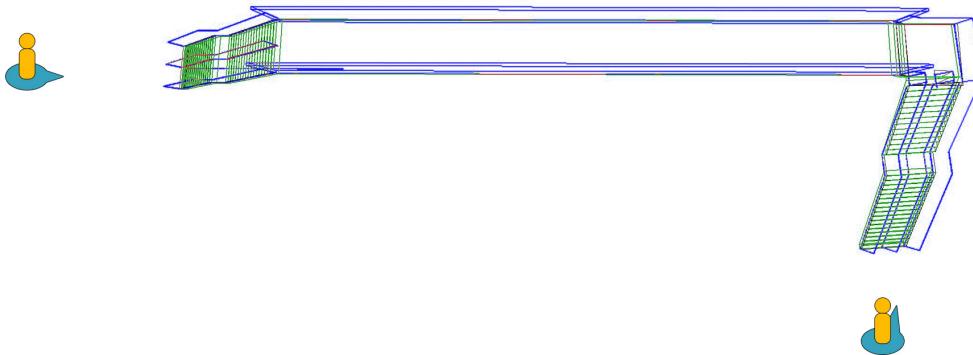


Figura 3.5: Vista panoramica del ponte con postazioni fisse di osservazione.

Strumentazione

La strumentazione a nostra disposizione consiste in due telecamere FULL HD posizionate di fronte alle due estremità del ponte con gli appositi cavalletti e una telecamera HD per effettuare riprese mobili sulla parte superiore del ponte.

Calendario osservazioni

E' stato poi redatto un calendario delle osservazioni, allo scopo di definire la durata delle attività. Il calendario prevedeva 4 sedute di osservazione: martedì 12 Aprile (dalle 16:00 alle 23:00), Mercoledì 13 Aprile (dalle 10 alle 15), Giovedì 14 Aprile (dalle 18:00 alle 22:00) e Sabato 20 Aprile (dalle 10 alle 13). In relazione alla variabilità del fenomeno indagato, si è scelto di non effettuare osservazioni campionarie continuative, ma osservazioni campionarie parziali, comunque rappresentative rispetto agli obiettivi della ricerca.

In seguito al primo giorno di osservazione, dopo aver riscontrato un livello di traffico medio/basso e aver raccolto materiale sufficiente da cui estrapolare informazioni in quella determinata situazione di traffico, si è deciso di annullare la seconda seduta in quanto il livello di traffico sarebbe coinciso con quello della prima giornata di osservazione.

3.2.3 Livello Macroscopico

Sono stati osservati alcuni comportamenti legati alla formazione spontanea di corsie, una per ogni direzione di marcia (lanes formation), e alla rottura delle corsie stesse a causa di continue manovre di sorpasso, con una conseguente situazione di stallo (freezing by heating).

- **Lanes Formation:** questo fenomeno si verifica quando gruppi di persone si muovono in direzioni opposte organizzandosi in modo autonomo per creare corsie distinte per ogni direzione di percorrenza.

Questo fenomeno, nel nostro caso di studio, era indotto dalla presenza di corrimani che dividevano le rampe di accesso al ponte in corsie, creando automaticamente due flussi in due direzioni diverse e inducendo le persone a tenere la destra nel proprio senso di marcia. E' stato comunque possibile rilevare il fenomeno all'interno delle due corsie separate dal corrimano come in Figura 3.6. Dall'osservazione emerge che la formazione di linee avveniva nel momento in cui alle estremità delle rampe si formava spazio che permetteva ai pedoni di percorrere la rampa nel senso inverso a quello consono;

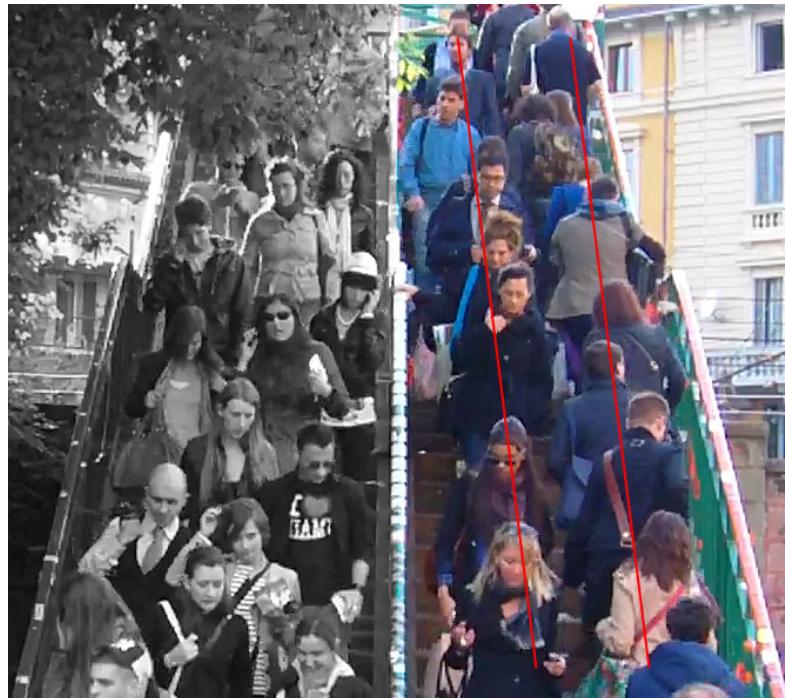


Figura 3.6: Lanes Formation: creazione di corsie distinte di pedoni con direzione di moto opposta.

- **Freezing by heating:** è un fenomeno che si verifica in situazione di alta densità di pedoni e consiste in un rallentamento globale del flusso di pedoni che possono finire in una situazione di stallo. L'immobilità dei pedoni (freezing) è causata dalla volontà di essi di muoversi verso una comune destinazione (ad es., uscite di sicurezza in una situazione

di evacuazione). Il tentativo dei pedoni di muoversi è la causa del loro continuo ostacolarsi [10].



Figura 3.7: Freezing by heating.

3.2.4 Livello Mesoscopico

Sono state osservate le modalità di emergenza di una leadership di gruppo, funzionale all’attraversamento di uno spazio affollato (emergenza della leadership per maggiore spazio o per appropriazione dello spazio); i comportamenti di gruppo legati alla formazione spontanea di corsie di marcia (lane formation e gruppi naturali); le caratteristiche morfologiche dei gruppi, in relazione alle modalità di regolazione dinamica delle distanze interpersonali in situazioni di alta densità (prossemica).

Morfologia dei gruppi:

Da uno studio sui comportamenti delle folle [7] è emerso che la maggior parte del traffico pedonale è composto da gruppi e che soltanto un terzo dei pedoni cammina individualmente. I gruppi vestono un ruolo molto importante all’interno del traffico pedonale, è quindi necessario

considerare la loro presenza ai fini della ricerca. Lo studio ha individuato tipici modelli di gruppo, la cui formazione dipende dalle interazioni locali tra i componenti di esso.

Quando la densità del traffico è bassa, i componenti del gruppo tendono a camminare uno di fianco all'altro, formando una linea perpendicolare alla direzione di cammino, occupando così un'area molto larga all'interno dell'ambiente. Questa configurazione si chiama 'line-abreast' [5]. Nelle osservazioni effettuate sono stati individuati molti casi relativi a tale configurazione; in Figura 3.8 è possibile notare due gruppi formati da due persone sulla sinistra dell'immagine. A causa della struttura delle rampe di accesso al ponte, è stato possibile osservare soltanto gruppi line-abreast formati da un massimo di due componenti. Tale limitazione veniva indotta dalla presenza di un corrimano che divideva la rampa in due corsie, percorribili per problemi di spazio da un massimo di due pedoni, uno di fianco all'altro.

Quando il livello di densità del traffico cresce, il gruppo deve adattarsi allo spazio più ridotto. Conseguentemente a questo restringimento si ha la formazione di due tipologie di gruppo chiamate 'V-like' e 'U-like'. Quest'ultime configurazioni si formano dalla volontà dei pedoni di cercare una posizione adatta per comunicare con gli altri membri del gruppo. L'efficienza con la quale i pedoni si muovono tramite queste due tipologie di gruppo è influenzata dal fatto che tali configurazioni hanno una forma convessa, che non possiede ottime caratteristiche aerodinamiche, a differenza di una forma concava che risulta essere vantaggiosa contro i movimenti di un flusso contrario di persone.

Quando il livello di densità del traffico è estremamente elevato, potrebbe accadere che il gruppo perda la sua forma e i suoi componenti comincino a camminare uno dietro l'altro formando una configurazione chiamata 'river-like' [4]. È stato possibile osservare il fenomeno in situazioni di alta densità, come in Figura 3.7 in cui si può notare come i pedoni che scendono dalla rampa siano costretti a disporsi uno dietro l'altro, in configurazione river-like, a causa di una strozzatura della rampa dovuta alla creazione di una linea di pedoni controcorrente al normale flusso di discesa.



Figura 3.8: Nella parte sinsitra della rampa sono presenti due gruppi line-abreast mentre nella destra un gruppo V-like.



Figura 3.9: Gruppo V-like: da notare come la configurazione del gruppo agevola la comunicazione.

Emergenza Leadership di gruppo:

In situazioni di alta densità, il fenomeno di emergenza di una leadership di gruppo ha come funzione il coordinamento dei propri membri nell'attraversare dello spazio in cui si trovano. Il fenomeno di emergenza spontanea della leadership è strettamente collegato alle caratteristiche fisiche dello spazio, a fattori di tipo socio-culturali, alle caratteristiche fisiche e psicologiche dei componenti del gruppo. Tale fenomeno può manifestarsi attraverso due condizioni: il leader diventa tale per una maggiore disponibilità di spazio, o attraverso un processo di appropriazione intenzionale dello spazio. Il fenomeno di emergenza di una leadership di gruppo, in situazioni di alta intensità, è caratterizzato dalla formazione spontanea di una corsia, guidata dal leader del gruppo nel compito di attraversamento dello spazio. Il leader si differenzia dal resto del gruppo per alcune caratteristiche fisiche e psicologiche (ad esempio, corporatura e carisma) funzionali all'obiettivo del gruppo.

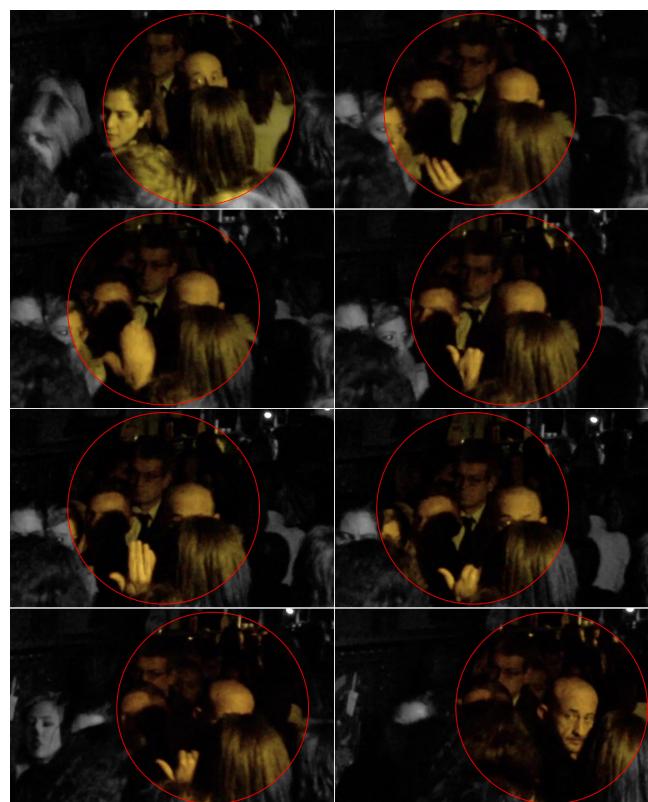


Figura 3.10: Foto sequenza di un'emergenza di una leadership di gruppo.

3.2.5 Livello Microscopico

il comportamento dei pedoni, legato alle modalità di orientamento spaziale in situazioni di alta densità, è fortemente condizionato dalle caratteristiche morfologiche dello spazio. Il caso specifico preso in esame riguarda l'attraversamento di uno spazio caratterizzato da una forma ad angolo retto.

Angolo retto:

In situazioni di alta densità, le modalità di orientamento spaziale dei pedoni, finalizzate al superamento di uno spazio ad angolo retto, sono caratterizzate dalla tendenza a rallentare la velocità di cammino e a ridurre la distanza inter-personale.



Figura 3.11: Angolo retto.

3.2.6 Applicazione Framework Ontologico

In questa sezione verrà effettuata un'analisi sulla massa osservata, applicando il framework ontologico basato sulla teoria di Elias Canetti presentato nella sezione 3.1. Come è possibile osservare in Figura 3.2 verrà seguito uno schema ben preciso in modo da descrivere in dettaglio le caratteristiche della massa osservata al Fuorisalone.

Riconoscimento della massa:

La massa di un evento come il Fuorisalone si differenzia da altri tipi di masse solitamente per l'assenza di episodi di violenza e per un clima generale di armonia che si crea in una folla di persone che partecipano ad un evento che prevede esposizioni di architettura e design in cui difficilmente si verificano situazioni di conflittualità. Tali condizioni caratterizzano invece altri tipi di eventi come manifestazioni sportive e politiche. Gli unici episodi di disordine possono essere creati da acquazzoni improvvisi o altre calamità naturali, dato che l'ambiente in cui è stata effettuata l'osservazione è all'aperto. La folla di persone presente all'evento, in particolare sul ponte di Porta Genova, può essere considerata una massa, in quanto è costituita da individui o gruppi con una meta comune.

Ciclo di vita:

In genere la massa ha un ciclo di vita ben definito, costituito da diverse fasi, ognuna caratterizzata da una propria dinamica. La sua nascita è dovuta al verificarsi di una scarica, che colpisce i singoli individui, modificando il loro stato interno; l'esistenza vera e propria della massa è la fase in cui è possibile che si verifichino cambiamenti di tipologia della stessa; la disgregazione è la fase finale causata da diversi fattori. Nel caso di studio preso in esame la massa osservata non è caratterizzata da un ciclo di vita di questo tipo. Infatto la massa non è nata grazie ad una scarica, ma avendo un obiettivo comune, all'interno della struttura analizzata, viene considerata tale. Il suo ciclo di vita è piuttosto anomalo in quanto può essere ritenuto perenne e continuo.

Classificazione:

E' possibile classificare la massa in base alla sua crescita, la massa in questione viene quindi detta *massa chiusa* in quanto l'ambiente osservato (il ponte) ha una capienza massima di persone. In base alla densità di traffico invece è possibile fornire una definizione ancor più dettagliata della massa. Infatti in situazioni di bassa densità, la massa presente sul ponte può essere considerata *massa rapida* in quanto la meta, cioè zona Tortona o la Stazione Porta Genova, è velocemente raggiungibile. Contrariamente quando sul ponte si formano situazioni di elevata densità, la massa viene detta *massa lenta* in quanto la meta di essa è lontana cioè raggiungibile in un tempo piuttosto lungo.

Componenti:

All'interno della massa del Fuorisalone registrata durante le osservazioni sono stati individuati:

- singoli individui
- cristalli di massa (gruppi come famiglie, amici, coppie)

Nei gruppi di amici si è riscontrato la presenza di un *leader*, cioè un componente del gruppo con particolare volontà di credere nella meta, intuito strategico, sicurezza e rapidità d'azione, capacità nel comunicare in modo efficace con gli altri membri del gruppo e che quindi emerge dalla folla e guida il proprio gruppo verso la meta con maggiore velocità. Da un'ulteriore analisi emerge che la massa in questione può essere definita *massa doppia* in quanto composta da due distinti e contrapposti gruppi di persone. Sul ponte infatti sono presenti due flussi di pedoni opposti, il primo flusso ha come obiettivo di raggiungere l'evento di zona Tortona mentre il secondo di raggiungere il piazzale della Stazione di Porta Genova.

Scarica:

Come già detto in precedenza la massa che si è potuto studiare in occasione del Fuorisalone non è generata grazie ad una scarica in quanto non esiste un evento scatenante che renda coesa la folla di persone presente sul ponte di Porta Genova. Comunque la massa può essere considerata tale in quanto presenta un obiettivo comune.

CAPITOLO 4

Realizzazione Scenario con STEPs

In questo capitolo si illustrano i passi necessari alla riproduzione dello scenario scelto, il Ponte di Porta Genova, descritto nel Capitolo 3. Verranno descritte tutte le fasi partendo dall'importazione dello scenario fino all'esecuzione della simulazione.

Lo scopo della realizzazione e della successiva simulazione tramite STEPs è quello di riprodurre situazioni osservate durante l'osservazione (Capitolo 3) come Lanes Formation, Freezing by heating, forme tipiche di gruppi. Inoltre è stata registrata una particolare situazione di intasamento alle due estremità del ponte, con la formazione di due bottleneck.

Con bottleneck si intende una situazione particolare di intasamento in cui un insieme di pedoni, percorrendo una superficie, è costretta a restringere l'ampiezza del proprio flusso a causa di un ostacolo che ne limita il normale andamento. Tale fenomeno è stato identificato tramite l'osservazione all'interno del ponte con la particolarità che l'ostacolo che ustruiva il flusso di pedoni era un flusso pedonale contrario. E' stata individuata quindi una situazione di doppio bottleneck dove il flusso pedonale proveniente da Via Tortona e diretto verso Piazzale Porta Genova formava un bottleneck causato dal flusso pedonale contrario e viceversa.

Lo scopo della simulazione è stato quello di avvicinarsi il più possibile alle situazioni registrate durante le osservazioni. Attraverso una fase di calibrazione si è cercato di raggiungere un buon grado di fedeltà con i fenomeni osservati variando alcuni parametri messi a disposizione da STEPs in modo tale da variare i comportamenti dei pedoni e mutarli in quelli rilevati.

4.1 Analisi Strumenti

STEPS mette a disposizione un vasto numero di strumenti che permettono la costruzione di uno scenario completo su cui sarà possibile effettuare una simulazione. Per raggiungere tale obiettivo è necessaria un'analisi preliminare in dettaglio di tali strumenti.

People Types:

I *people types* permettono di definire tipologie di pedoni dotate di caratteristiche differenti. In questo modo è possibile ottenere comportamenti differenti grazie alla possibilità di definire gruppi di persone con caratteristiche diverse. Tramite un pannello di configurazione chiamato 'People Types dialog box' è possibile modificare le proprietà di un determinato people type. Di seguito si descrivono le proprietà utilizzate per la riproduzione dello scenario:

- Name: nome associato al people type;
- Patience: indica il livello di pazienza dei pedoni di fronte a situazioni di coda;
- Color: colore associabile ad ogni people type; molto utile per rendere più chiare le simulazioni;
- Max Speed: specifica la velocità massima dei pedoni in metri al secondo;
- Up slope factor: questo fattore determina la velocità di cammino di salita dei pedoni in presenza di piani inclinati con una certa pendenza;
- Down slope factor: questo fattore determina la velocità di cammino di discesa dei pedoni in presenza di piani inclinati con una certa pendenza.

People Groups:

I *people group* sono utilizzati per definire i gruppi di persone che verranno aggiunte allo scenario nel corso della simulazione. Ad ogni people group viene associato il numero di persone appartenenti e una percentuale (fraction) per ogni people type definito.

Planes:

I *plane* sono utilizzati per creare delle superfici in cui i pedoni possano

camminare durante le simulazioni. I piani base messi a disposizione da STEPs sono dei rettangoli definibili tramite delle *Shapes*. Per la creazione di un piano complesso è necessario selezionare i punti dello spazio che lo delimitano attraverso degli strumenti di selezione messi a disposizione da STEPs.

Plane Exits:

Le *plane exit* vengono utilizzate per connettere plane fra di loro oppure per fornire ai pedoni delle uscite dal sistema. Esistono diversi tipi di plane exit:

- *System exit*: utilizzata dai pedoni per uscire dal modello.
- *Exit to Plane*: questo tipo di uscita permette ai pedoni di camminare da un plane ad un altro. Forte limitazione di questa plane exit è il fatto che sia unidirezionale quindi permette di accedere ad un piano tramite un altro, soltanto in una direzione.
- *Link between Planes*: è equivalente ad una exit to plane con il vantaggio di essere bidirezionale.

Tag:

I *tag* sono degli identificativi numerici associabili alle plane exit che hanno come scopo quello di definire delle *routes*, cioè tracciati percorribili dai pedoni all'interno della struttura rappresentata all'interno dell'ambiente.

Blockages:

I *blockage* sono utilizzati per bloccare specifiche parti di un plane. Un blockage può essere un punto, una linea, un rettangolo, un ellisse oppure può essere basato su una shape. Un blockage ha la particolarità di essere associabile ad un solo plane.

Routes:

Le *routes* vengono utilizzate in modelli in cui si effettuano simulazioni in situazioni di non emergenza (Normal Operations Models) per indirizzare i pedoni attraverso il modello. Una route è una sequenza di passi, ognuno dei quali, dal punto di vista del pedone, è un obiettivo da raggiungere per proseguire con il passo successivo. Questi obiettivi

possono essere *plane exit* o *tag numer* ma anche altri oggetti definibili tramite STEPs come Checkpoint, Lift e Vehicle.

Locations:

Le *location* sono specifiche zone definibili all'interno di un plane. Nel momento in cui si aggiungono pedoni all'interno del modello, è molto raro che lo si voglia fare distribuendoli sull'intera superficie di un plane. Spesso si vuole generare pedoni in una specifica zona. La location ha quindi la funzione di definire una zona particolare all'interno di un piano da cui i pedoni possano essere generati.

People Events:

I *people event* sono utilizzati per popolare il modello. Ogni people event aggiunge uno specifico people group, in una zona spaziale precisa del modello ad un preciso istante della simulazione. I pedoni possono essere generati in:

- *Plane*: i pedoni vengono aggiunti ad uno specifico plane in modo casuale (*randomly on the plane*), cioè sparsi per tutta la superficie del piano oppure raggruppati (*grouped on the plane*) ovvero in posizioni adiacenti.
- *Location*: i pedoni vengono aggiunti ad una specifica location in modo casuale (*randomly in the location*), cioè sparsi per tutta la superficie del piano oppure raggruppati (*grouped in the location*) ovvero in posizioni adiacenti.

Attraverso un pannello chiamato *People Events dialog box* è possibile modificare i propri people event agendo sulle seguenti proprietà:

- Name: specifica il nome associato al people event;
- Time: specifica il momento in cui un evento scaturisce;
- People Group: specifica il people group associato al people event;
- Delay: specifica un ritardo dopo il quale il people event viene abilitato;
- The initial aim: specifica qual è l'obiettivo associato ai pedoni quando vengono aggiunti al modello. Esistono vari tipi di obiettivo: random oppure route. Il primo corrisponde ad un obiettivo casuale il secondo invece ad un preciso percorso;

- Repeat number: specifica quante volte un people event viene ripetuto durante la simulazione;
- Repeat time: specifica ogni quanto tempo un people event viene ripetuto durante la simulazione.

4.2 Fasi di Modellazione

Di seguito vengono riportati i vari passi seguiti per la ricostruzione del ponte all'interno dell'ambiente di simulazione offerto da STEPs:

- *Importazione dello scenario tramite file DXF:*

E' stato creato un modello 3D del Ponte di Porta Genova utilizzando un software apposito per la progettazione e il disegno architettonico CAD 3D (AutoCad). Il disegno del ponte salvato in formato DXF è stato poi importato in STEPs sfruttando i suoi strumenti di importazione;

- *Creazione people types:*

Tramite questi oggetti è possibile definire diversi tipi di pedoni. Nella realizzazione dello scenario del ponte di Porta Genova, si è scelto di realizzare 6 people type assegnandone tre per ogni flusso pedonale. Sfruttando la proprietà color di people type è stato assegnato un colore diverso per ognuno di essi, per ottenere maggiore chiarezza in fase di simulazione. Inoltre per fornire un maggior livello di verosimiglianza con la realtà sono state utilizzate le proprietà *Up slope factor* e *Down slope factor*. Tali proprietà se attivate permettono di definire velocità differenti in funzione dell'inclinazione dei plane;

- *Creazione people groups:*

In relazione al numero di people type definiti in precedenza, si è deciso di definire sei people group, ognuno di essi con un diverso people type. Sono stati creati sei gruppi di pedoni per ogni senso di marcia, distinguendoli a seconda del numero di componenti. Il gruppo meno numeroso è stato composto da un solo pedone fino ad arrivare un gruppo di tre pedoni. Dato che ogni people type è stato creato con un colore diverso e ogni people group è stato associato ad un people type diverso, si è ottenuta una facile comprensione dei flussi pedonali. Infatti il risultato ottenuto consiste in due flussi di due tonalità di colore diverse,

in cui ogni tonalità dello stesso colore corrisponde ad un certo gruppo con un certo numero di componenti;

- *Creazione planes:*

Data la particolare struttura del ponte, descritta nel Capitolo 3, tale fase ha previsto la creazione di cinque plane. E' stato creato un piano per ogni rampa di scale, uno per il piano viabile sopraelevato, uno per il pianerottolo ad angolo formato dalla rampa di scale posta su Via Tortona e uno per i tre scalini che conducono sul piano viabile a partire dal pianerottolo;

- *Creazione blockages:*

I blockage sono aree non valicabili associabili ad un determinato plane. Ogni blockage può essere associato ad un solo plane. Gli unici ostacoli presenti sul ponte sono i corrimano posti sulle rampe di scale. Per ciò sono stati creati due blockage, uno per ogni rampa. La parte viabile può essere considerata un ambiente non strutturato (corridor like), e quindi privo di limitazioni;

- *Creazione plane exits:*

Come detto in precedenza le plane exit sono oggetti a disposizione dell'utente per rendere possibile il collegamento tra plane e per fornire ai pedoni un'uscita dal sistema. In questo senso sono state create sei plane exit. Quattro di queste sono state poste tra i plane adiacenti fornendo un collegamento tra di essi. Ad esempio è stata creata una plane exit per collegare la rampa di scale posta in Piazzale Porta Genova con il piano viabile. Le restanti due plane exit sono state posizionate alle due basi del ponte, cioè all'entrata delle due rampe di accesso al ponte per poter fornire un'uscita dal modello ai pedoni in entrambi i sensi di marcia;

- *Assegnazione tag number:*

In questa fase è stato assegnato un identificativo numerico, chiamato tag number, ad ogni plane exit creata in modo tale da poter eseguire la fase successiva di creazione delle route. Inoltre ogni plane exit di collegamento tra due plane è stata dichiarata come link between planes (Sezione 4.1) in modo da poter creare due flussi bidirezionali;

- *Creazione routes:*

In questa fase sono state realizzate due route, la prima per dirigere i pedoni dall'accesso del ponte situato in Via Tortona all'uscita su Piazzale Porta Genova e la seconda in senso contrario. In questo modo sono stati creati i due flussi pedonali che hanno attraversato il ponte durante tutta la fase di osservazione. Le due route sono state create come una sequenza ordinata di tag number associati ad ogni plane exit presente sul ponte. In questo modo i pedoni generati alle due estremità del ponte, nascevano con una sequenza di obiettivi specificata all'interno della route a loro assegnata;

- *Creazione locations:*

Le location sono state utilizzate per limitare la zona di generazione di pedoni all'interno del modello. Sono state create due coppie di location situate alla base delle due rampe di scale. Partendo dal presupposto che i pedoni nel salire e scendere le rampe di scale tendevano ad imboccare la corsia di destra, dovuto ad un'abitudine culturale, si è scelto di posizionare due location per ogni corsia. In questo modo, le due location alla base delle due rampe, divise dai corrimano, costituiscono i punti di generazione di pedoni. Tramite tali location è stato possibile, tramite l'utilizzo dei people event, riprodurre il flusso di pedoni nella corsia di destra nell'esatto senso di marcia e il flusso di pedoni controcorrente che imboccava la rampa di sinistra percorrendo le rampe in senso contrario;

- *Creazione people events:*

La creazione di people events consiste nel popolare il ponte importato tramite dxf, con i vari people group creati con un diverso people type, generandoli nelle location create alla base delle rampe di scale, dirigendoli tramite le route create sfruttando i tag number assegnati alle plane exit situate nei punti di collegamento del ponte e nei punti di uscita dal sistema. Tale operazione è resa possibile tramite STEPs attraverso la people events dialog box. Inoltre tale pannello di configurazione permette di modificare due proprietà, *Repeat Number* e *Repeat Times*. Come è possibile vedere in Tabella 4.1 la proprietà Repeat Number è stata impostata a 200 per ogni tipo di gruppo; in questo modo ogni gruppo verrà generato 200 volte in entrambi i lati del ponte con una

frequenza dipendente dal numero di componenti del gruppo settabile tramite Repeat Time.

Num pedoni	Corsia	Tragitto	Repeat Number	Repeat time
1	dx	PG to Tortona	200	1.00
1	sx	PG to Tortona	200	3.00
2	dx	PG to Tortona	200	1.50
2	sx	PG to Tortona	200	7.00
3	dx	PG to Tortona	200	2.00
1	dx	Tortona to PG	200	1.00
1	sx	Tortona to PG	200	3.00
2	dx	Tortona to PG	200	1.50
2	sx	Tortona to PG	200	7.00
3	dx	Tortona to PG	200	2.00

Tabella 4.1: Tabella riassuntiva dei people event creati per popolare il modello.

- *Esecuzione della simulazione.*

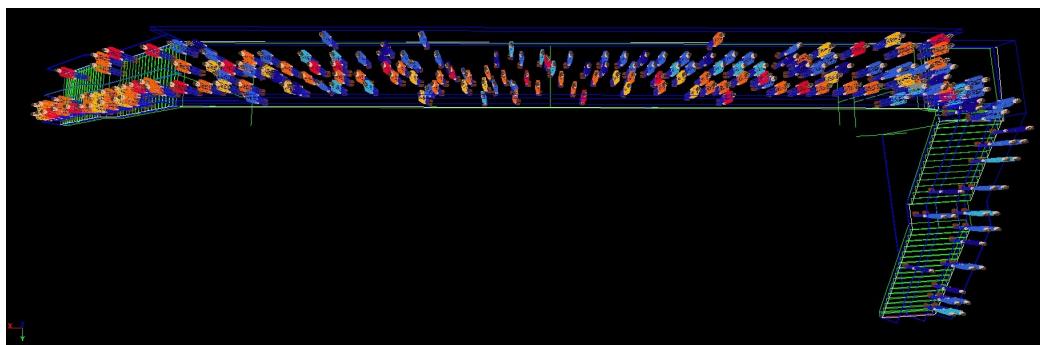


Figura 4.1: Vista panoramica del ponte di Porta Genova durante la simulazione in STEPs.



Figura 4.2: Vista della rampa di scala posta in Stazione Porta Genova durante la simulazione in STEPs.

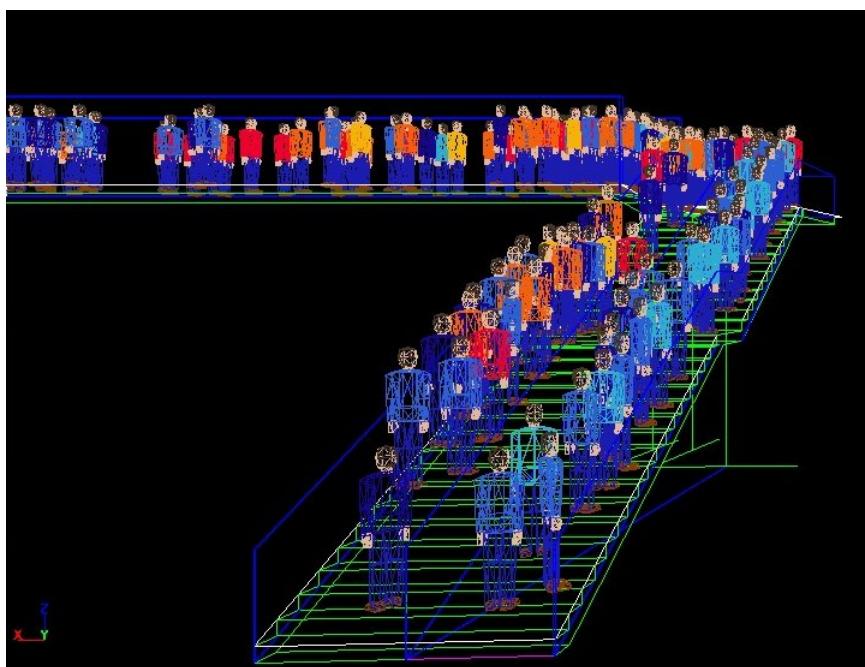


Figura 4.3: Vista della rampa di scala posta in Via Tortona durante la simulazione in STEPs.

4.3 Calibrazione

In questa sezione verrà descritto come si è cercato di calibrare i parametri messi a disposizione da STEPs per riprodurre una simulazione il più coerente possibile con l'osservazione effettuata sul ponte di Porta Genova. Con STEPs è stato possibile creare due flussi di pedoni contrari all'interno della riproduzione del ponte di Porta Genova, nonché gruppi di pedoni di diverse dimensioni generandoli ad intervalli diversi alle due estremità del ponte. Due importanti parametri che hanno permesso di settare la velocità dei pedoni sul piano viabile e sulle rampe di scale (in ascesa e in discesa) sono Max Speed, Slope up factor e Slope down factor.

- *Max speed:*

STEPS permette di settare esplicitamente la velocità massima di un gruppo di pedoni in metri al secondo. Si è scelto di settare la velocità massima di tutti i gruppi creati a 1,51 m/s. Tale valore è stato scelto perchè risultato di una ricerca [6] sulla velocità dei pedoni, effettuata su un campione di 7123 persone osservate di cui 3665 erano sopra i 65 anni. Il risultato di tale studio fornisce due velocità medie diverse: 1.51 m/s per pedoni con un'età inferiore ai 65 anni e 1.25 m/s per pedoni con un'età superiore ai 65 anni. Dallo studio emerge anche che le donne con un'età superiore ai 65 anni hanno la velocità più lenta pari a 1,19 m/s. Inoltre la differenza di velocità tra uomini sotto i 65 anni e donne sotto i 65 anni è di 0.32 mentre la differenza di velocità tra uomini e donne al di sopra dei 65 anni è di 0.42. Ai fini della simulazione si sono considerati i dati relativi al campione di 3458 pedoni con età inferiore ai 65 anni, tralasciando invece i dati relativi al restante campione con età superiore ai 65 anni. Tale scelta è stata presa in relazione all'osservazione svolta in quanto la percentuale di pubblico del fuorisalone superiore ai 65 anni era molto bassa e quindi trascurabile ai fini della simulazione;

- *Slope up factor e Slope down factor:*

I due fattori in questione permettono a STEPs di variare la velocità dei pedoni in relazione alla pendenza del piano su cui camminano. I due valori sono stati impostati a 0.48 e a 0.59 rispettivamente per slope up factor e slope down factor. I parametri emergono da uno studio [9] sulla velocità di cammino dei pedoni su rampe di scale, che propone un fattore di correlazione chiamato Leg Extension Power (LEP), tra la velocità di cammino e la pendenza del piano da percorrere. Lo studio

si concentra sulla velocità dei pedoni su rampe di scale in quanto struttura critica nel percorso dei pedoni e definisce quattro tipi di velocità: Normally ascending, Normally descending, Fast ascending e Fast descending. Per quanto riguarda la riproduzione dello scenario tramite STEPs si è valutato i risultati relativi alla Normally ascending e Normally descending in quanto rappresentano velocità di ascesa e discesa normali, e non veloci, osservate durante l'osservazione. I due fattori, slope up factor e slope down factor, sono stati impostati rispettivamente a 0.48 e 0.59. I valori sono emersi dallo studio tramite l'osservazione di un gruppo di pedoni con un'età compresa tra 21 e 47 anni.

4.4 Risultati

STEPS ha dimostrato di essere un ottimo strumento per la modellazione e simulazione dello scenario del ponte di Porta Genova. Tramite i suoi strumenti è stato possibile creare due flussi pedonali e popolare il modello del ponte, individuando alcuni comportamenti registrati durante le osservazioni (Lanes Formation).

Dall'osservazione svolta è emerso che secondo una convenzione culturale i pedoni sono portati a percorrere il ponte sul lato destro. Uno degli aspetti che non è stato possibile riprodurre tramite STEPs è quest'abitudine che le persone sono portate a tenere in presenza di un flusso contrario. STEPs non prevede un'opzione automatica di questo tipo; per ottenere un risultato simile bisogna forzare i pedoni attraverso un percorso che li costringa a percorrere il ponte nella parte destra rispetto al loro senso di percorrenza. Pertanto non è stato possibile riprodurre la situazione di intasamento osservata (doppio bottleneck).

Comunque STEPs si presenta come uno strumento molto potente e all'avanguardia nell'ambito della Pedestrian Dynamics.

CAPITOLO 5

Realizzazione Scenario con MAKKSim

In questo capitolo, analogamente al Capitolo 4, si illustrano le fasi necessarie alla realizzazione del caso di studio preso in esame (ponte di Porta Genova), descritto nel Capitolo 3.

Anche in questo caso si è cercato di riprodurre la situazione che è stato possibile registrare durante le osservazioni. Si è cercato quindi di realizzare tramite MAKKSim la situazione di intasamento, doppio bottleneck, descritta nel capitolo precedente e di riprodurre i fenomeni registrati durante le osservazioni.

5.1 Analisi Strumenti

In questa sezione si illustrano gli strumenti messi a disposizione da MAKK-Sim per riprodurre uno scenario what-if; verranno descritti gli strumenti disponibili per la modellazione dell'ambiente in cui verrà eseguita la simulazione. Tali strumenti permettono di popolare il modello virtuale del ponte con dei pedoni e di mutare il loro comportamento e i loro obiettivi. MAKK-Sim mette a disposizione una semplice interfaccia integrata in Blender, l'ambiente di modellazione 3D, su cui operare. Tale pannello è costituito da quattro menù di configurazione, ognuno dei quali sarà analizzato di seguito per comprenderne le funzionalità.

Global Config:

Il pannello global config permette di modificare parametri in grado di

mutare globalmente il comportamento dei pedoni e della simulazione. Tali parametri sono:

- *Number of actor*: permette di inserire il numero massimo di pedoni che popoleranno il modello al momento dell'esecuzione della simulazione;
- *Radius*: definisce la dimensione di ogni cella che forma la griglia su cui i pedoni si muovono;
- *Cohes*: è un fattore che determina il grado di coesione dei pedoni facenti parte dello stesso gruppo. Se questo parametro viene impostato a zero i componenti dei gruppi si comporteranno come se non fossero un gruppo;
- *Sep*: è un fattore che determina il grado di separazione di pedoni non facenti parte dello stesso gruppo;
- *Goal*: permette di determinare il grado con cui i pedoni raggiungono l'obiettivo che gli è stato assegnato;
- *Vehicle Class*: seleziona il tipo di classe di pedone da utilizzare nella simulazione. Al momento esistono tre classi di pedoni differenti:
 - *ped.Avoider*: è la classe base, i pedoni di questo tipo vengono generati in un punto del sistema e nel momento in cui raggiungono l'obiettivo vengono rigenerati all'origine;
 - *ped.AvoiderNoexit*: i pedoni di questa classe nascono in punto del modello e muoiono in un altro punto senza essere rigenerati;
 - *ped.AvoiderStop*: i pedoni raggiungono un obiettivo ma non escono dal sistema, si fermano sull'obiettivo.

Space:

Questo menù di configurazione permette di manipolare il piano principale che viene popolato durante la simulazione dai pedoni. I parametri disponibili sono:

- *Width*: definisce la larghezza del piano principale;
- *Height*: definisce la lunghezza del piano principale;
- *Obstacle*: permette di associare uno o più oggetti rappresentanti un ostacolo per i pedoni all'interno del piano principale.

Spatial Constraints:

Questo menù permette agli utenti di definire i movimenti e gli obiettivi dei pedoni tramite due parametri:

- *Start*: definisce per un certo gruppo di pedoni l'area in cui verranno generati all'interno del modello;
- *Arrive*: definisce per un certo gruppo di pedoni l'area obiettivo dove il gruppo è diretto.

Ogni spatial constraints ha un numero identificativo.

Groups:

Il pannello di configurazione Groups ha il compito di creare i gruppi di pedoni che popoleranno il modello. I parametri a disposizione sono:

- *Size*: definisce il numero di pedoni appartenenti ad un determinato gruppo;
- *Sp.cnst*: associa al gruppo uno spatial constraints, cioè un'area in cui i pedoni vengono generati e un obiettivo da raggiungere;
- *Is a Group*: è un flag che definisce l'insieme di pedoni come gruppo unito soggetto ad un grado di coesione settabile dall'utente tramite il menù global config.

5.2 Fasi di Modellazione

In questa sezione del capitolo verrano illustrati le fasi seguite per arrivare alla realizzazione dello scenario tramite MAKKSim.

- *Costruzione ambiente*:

A differenza di come si è proceduto con STEPs, la procedura di realizzazione del modello del ponte di Porta Genova è stata effettuata tramite gli strumenti di modellazione messi a disposizione dal software, invece di utilizzare l'importazione automatica di un file CAD. E' stata fatta questa scelta dato che MAKKSim non permette la costruzione di piani inclinati su cui far muovere i pedoni ma prevede l'utilizzo di un unico piano in cui è possibile inserire degli ostacoli. Data questa limitazione, si è scelto quindi di realizzare tramite MAKKSim il modello del ponte,

in quanto la sua struttura è stata semplificata ad un corridoio con forma ad elle in cui sono presenti due ostacoli che rappresentano i corrimano che dividono le rampe di scale in due corsie. Per la modellazione effettiva del ponte si è proceduto definendo, tramite il pannello Space di MAKKSim, le dimensioni del piano principale e di ostacoli che hanno permesso di creare la forma del ponte. Come è possibile osservare in Figura 5.1 la parte percorribile dai pedoni è la zona colorata di grigio, delimitata dalla zona verde e dai due corrimano in nero.

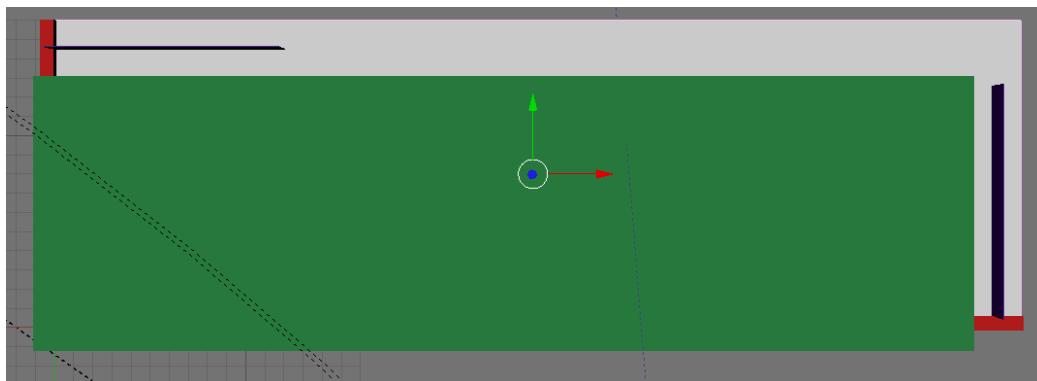


Figura 5.1: Vista dall’alto del modello del ponte di Porta Genova realizzato in MAKKSim.

- *Creazione spatial constraints:*

Uno spatial constraints è una coppia di oggetti 3D ingresso-uscita necessari a generare pedoni all’interno del modello. A tale scopo sono stati creati due oggetti cube, cioè cubi di larghezza pari a quella del ponte posti alla base delle due rampe di scale. Ogni spatial constraints ha due proprietà, start e arrive, che sono state impostate con i due oggetti 3D, visibili in Figura 5.1 come due rettangoli rossi. Per il flusso proveniente da Via Tortona e diretto in Piazzale Porta Genova è stato impostato a start il cubo rosso, visibile in Figura 5.1 in basso a destra, e ad arrive quello in alto a sinistra. Per il flusso contrario è stata fatta la scelta inversa in modo tale da ottenere due flussi opposti.

- *Definizione gruppi:*

In questa fase sono stati creati i due gruppi rappresentanti i flussi pedonali presenti sul ponte. Il primo generato dall’accesso al ponte situato in Via Tortona (in Figura 5.1 posto in basso a destra in corrispondenza

dell'area rettangolare rossa) e diretto verso l'estremità in Piazzale Porta Genova (in Figura 5.1 posto in alto a sinistra in corrispondenza dell'area rettangolare rossa), il secondo in senso contrario. Ad ognuno dei due gruppi di pedoni è stato associato il rispettivo spatial constraints creato in precedenza, è stata assegnata una dimensione pari a 150 pedoni ed è stato dichiarato il gruppo come insieme di pedoni non legati da vincoli di appartenenza ad uno stesso gruppo.

- *Configurazioni Globali:*

In quest'ultima fase di configurazione globale sono state impostate le variabili globali come mostrato di seguito:

- *Number of actor* = 300 per rispettare il totale dei pedoni facenti parte ai diversi gruppi;
- *Radius* = 0.5;
- *Cohes* = 0.0;
- *Sep* = 0.235;
- *Goal* = 0.1;
- *Vehicle Class* = ped.Avoider.

- *Esecuzione Simulazione:*

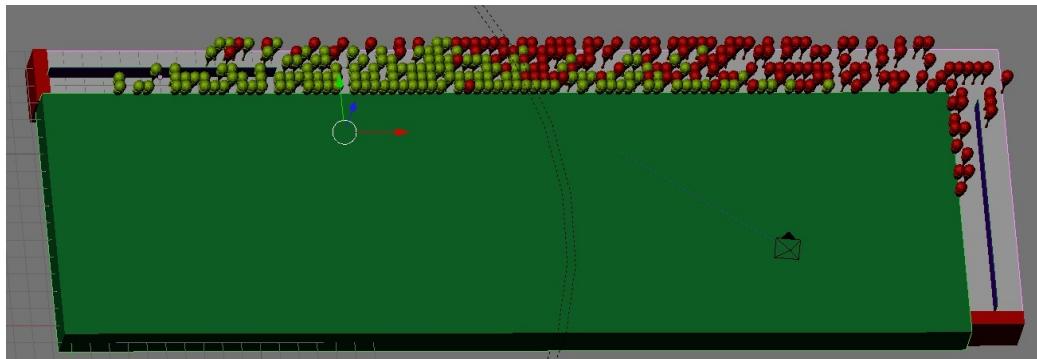


Figura 5.2: Vista panoramica del ponte durante una simulazione.

CAPITOLO 6

Comparazione Risultati

In questo capitolo verranno descritti i risultati ottenuti tramite la modellazione del caso di studio (il ponte di Porta Genova) attraverso i due software di simulazione di Pedestrian Dynamics scelti (STEPs e MAKKSIm). Verrà fatta una comparazione tra i due strumenti, sulla base degli obiettivi fissati, descrivendo le problematiche di realizzazione dello scenario attraverso le due piattaforme di simulazione. Lo scopo di questo capitolo quindi è quello di mettere in evidenza i vantaggi e gli svantaggi di STEP e MAKKSIm, tramite un'analisi basata sul processo di modellazione e simulazione. Per effettuare tale analisi si procederà ripercorrendo tutti le fasi effettuate per la costruzione del modello e della simulazione. Si ricorda che MAKKSIm è un prototipo

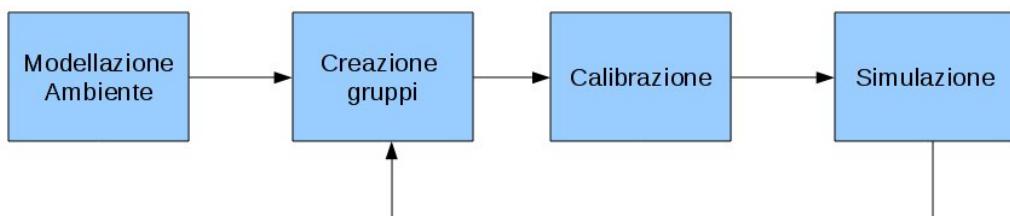


Figura 6.1: Schema delle fasi di realizzazione scenario.

in fase di sviluppo all'interno del centro di ricerca CSAI e che questa analisi ha lo scopo di poter individuare i punti deboli dell'applicazione per poterli colmare nelle future implementazioni.

Modellazione ambiente:

La prima fase ha previsto la modellazione di un ambiente virtuale, rappresentante il ponte di Porta Genova, all'interno dei due simulatori.

- *STEPs:*

La realizzazione della struttura architettonica del ponte di Porta Genova all'interno dell'ambiente virtuale messo a disposizione dalla piattaforma STEPs ha previsto la costruzione del modello del ponte attraverso uno strumento esterno a STEPs. Si è scelto infatti di disegnare tramite AutoCad la riproduzione della struttura e poi procedere con l'importazione di essa in STEPs. Dopo alcune difficoltà iniziali sulla scelta del formato riconosciuto da STEPs per l'importazione di modelli tridimensionali, tale fase è risultata semplice e veloce. Il motivo per cui è stato preferito importare un file CAD utilizzando un altro programma è che questa scelta rende la costruzione di un modello 3D molto più breve e precisa grazie all'utilizzo di uno strumento specializzato per il disegno architettonico qual'è AutoCad. Infatti la realizzazione del ponte attraverso gli strumenti di modellazione forniti da STEPs sarebbe risultata molto più lunga e complessa con il rischio di creare un modello poco dettagliato e preciso. Quindi l'importazione di modelli tridimensionali attraverso strumenti esterni ai software di simulazione di Pedestrian Dynamics risulta essere, nel caso di STEPs, un'alternativa vincente rispetto alla modellazione diretta del modello all'interno dell'ambiente di simulazione.

- *MAKKSim:*

La costruzione del modello tridimensionale dello scenario effettuata attraverso la piattaforma MAKKSim è avvenuta utilizzando gli strumenti di modellazione interni al software. E' stata fatta questa scelta in quanto MAKKSim è integrato in Blender, un ambiente di modellazione, animazione, rendering e simulazione tridimensionale, che offre un robusto insieme di funzionalità per la realizzazione della struttura del ponte. Questa fase è risultata essere molto più veloce rispetto all'analogia fase di modellazione effettuata tramite STEPs. D'altra parte il modello finale creato ha risultato avere un livello di dettaglio inferiore a quello creato in AutoCad e poi importato con STEPs. Tale insufficienza è causata da una caratteristica di MAKKSim. Infatti il software prevede l'utilizzo di un unico piano su cui è possibile costruire il proprio modello ed effettuare delle simulazioni popolandolo con gruppi di pedoni. Tale

piano è ridimensionabile, prevede quindi soltanto modifiche a livello di dimensione ma non di forma. Questa limitazione non ha permesso di poter creare piani inclinati per le rampe di scale di accesso al ponte. Come è possibile vedere in Figura 5.1 e 5.2 il modello della struttura del ponte è completamente piano e non presenta piani inclinati come nel modello importato in STEPs visibile in Figura 4.3 e 4.2. D'altra parte è stata preferita questa alternativa in quanto l'importazione di file 3D in Blender non è possibile, ma è permesso soltanto l'importazione di file 2D per avere una base bidimensionale dove costruire la struttura 3D.

Creazione gruppi:

Una fase successiva alla realizzazione del modello è stata la creazione dei gruppi di pedoni per popolare l'ambiente costruito.

- *STEPS:*

Il software mette a disposizione un ricco insieme di funzionalità per la creazione di gruppi e per variare il loro comportamento. Tali funzionalità hanno permesso di creare due flussi di pedoni con comportamento molto simile a quello riscontrato durante le osservazioni. Tali analogie si riferiscono a fenomeni facenti parte del livello Mesoscopico, descritto nel Capitolo 3, come la Lanes Formation. Sulla parte viabile del ponte infatti la maggior parte dei pedoni tendeva a restare nel proprio flusso senza scontrarsi con il flusso opposto creando così due linee principali di cammino. Anche sulla rampe di scale è stato possibile riprodurre il fenomeno con tre linee di pedoni in ascesa e una in discesa. STEPs risulta essere un buono strumento per la rappresentazioni di fenomani macroscopici, a discapito di fenomeni mesoscopici e microscopici. In STEPs infatti esiste la possibilità di definire dei gruppi come Family, con il risultato di ottenere una maggiore coesione del gruppo. Non essendo possibile però definire esplicitamente il grado di coesione, in fase di simulazione tale proprietà rendeva i flussi di pedoni quasi immobili a causa della forte coesione che spingeva i componenti di un gruppo a stare uniti.

- *MAKKSIm:*

MAKKSIm, essendo ancora un prototipo in fase di sviluppo, non offre tutte le potenzialità e funzionalità che invece STEPs fornisce. Dall'analisi delle simulazioni emerge infatti l'assenza di regole di coordina-

mento da parte di pedoni con obiettivi opposti. Infatti in situazioni di alta densità, all'interno del modello del ponte di Porta Genova, in presenza di due flussi contrari la simulazione ha dimostrato l'assenza di organizzazione degli agenti dello stesso flusso, con il verificarsi di una situazione di stallo totale in cui nessun pedone riesce a raggiungere il proprio obiettivo perché bloccato dai pedoni del flusso opposto. Inoltre MAKKSim risulta essere ancora acerbo sotto questo punto di vista in quanto permette la definizione di un massimo di 10 gruppi e 1000 pedoni.

Calibrazione:

Successivamente alla fase di generazione dei pedoni all'interno del modello si è passati ad un fase di calibrazione, modificando i parametri messi a disposizione dai due software per rappresentare lo scenario coerente con l'osservazione effettuata. In questa fase è emerso un aspetto molto importante per la rappresentazione dei movimenti dei pedoni fedelmente con il loro comportamento nella realtà. Tale aspetto è emerso dalla particolare forma della struttura presa in esame e dal materiale raccolto durante la fase di osservazione. Infatti la presenza di due rampe di scale di accesso al ponte ha reso possibile l'osservazione di comportamenti differenti da parte dei pedoni all'interno di queste zone rispetto che sulla parte viabile sopraelevata. Pertanto si è cercato di riprodurre tali differenze comportamentali, tramite gli strumenti che le due piattaforme fornivano. MAKKSim essendo un prototipo non prevede ancora una funzionalità che permetta di definire velocità pedonali differenti in punti distinti dell'ambiente in cui avviene la simulazione. STEPs invece fornisce parametri di impostazione di velocità per pedoni appartenenti allo stesso gruppo. Questi parametri variano in funzione della pendenza di un piano inclinato e vengono distinti in velocità di salita e discesa. Questo vantaggio ha permesso di ottenere un maggior grado di coerenza, in fase di simulazione, per quanto riguarda il modello costruito con STEPs. La fase di calibrazione ha permesso di individuare un altro aspetto comportamentale dei pedoni che si è cercato di riprodurre in STEPs e MAKKSim. Dall'osservazione svolta infatti è emerso che secondo una convenzione culturale i pedoni sono portati a percorrere il ponte sul lato destro. Entrambi i software non forniscono una funzionalità automatica che permetta di istruire i pedoni in modo tale da indurli a tenere la destra all'interno di un qualsiasi ambiente pur mantenendo gli obiettivi assegnati loro. Per quanto riguarda STEPs tale limitazione è una forte mancanza in quanto la maggior parte delle strutture, che è possibile modellare e in cui effettuare una simulazione, sono caratterizzate dalla presenza di ambienti in cui sono presenti due flussi pedonali

contrari (ad es. i corridoi di un edificio e i passaggi di collegamento di una linea metropolitana con un'altra).

Simulazione:

Infine in fase di simulazione, per meglio comprendere il comportamento dei due flussi pedonali, si è scelto di attribuire colori differenti per ogni flusso. Più precisamente, essendo ogni flusso formato da gruppi di dimensioni diverse, è stato associato un colore per ognuno di essi, scegliendo colori della stessa tonalità per gruppi appartenenti allo stesso flusso pedonale. Questa piccola miglioria a livello grafico, ha permesso di ottenere un livello di chiarezza e visibilità dei fenomeni migliore distinguendo maggiormente i flussi pedonali e i gruppi da essi formati. Questa fase è stata realizzata con STEPs che permette l'attribuzione di un colore ad un determinato gruppo. MAKKSim invece attribuisce colori casuali ai gruppi e ai singoli individui rendendo difficile comprendere, in fase di simulazione, il comportamento degli agenti.

Sintesi Comparazione:

In sintesi si fornisce ora il risultato dell'analisi comparativa tra i due software, riportando le funzionalità e gli aspetti non ancora implementati in MAKKSim.

- Costruzione in fase di modellazione di piani viabili inclinati come rampe o scale;
- Gruppi:
 - Definizione dei parametri di coesione, separazione e goal a livello di gruppo;
 - Introduzione di un parametro colore, modificabile dall'utente, da associare ad ogni gruppo;
 - Ampliamento del numero massimo di gruppi definibili;
 - Ampliamento del numero massimo di pedoni generabili all'interno del modello.
- Definizione di specifiche velocità in punti distinti del modello;
- Introduzione di regole derivate da abitudine culturali.

CAPITOLO 7

Conclusioni

Obiettivo di questo lavoro di tesi è stato lo studio delle dinamiche generate dal movimento di pedoni e lo sviluppo comparativo, tramite l'utilizzo di diversi software di simulazione, di scenari what-if in particolare di deflusso in condizioni non di emergenza, in occasione di eventi di collective entertainment che hanno luogo in ambienti strutturati.

Sono stati presentati, analizzati e confrontati alcuni dei software di Pedestrian Dynamics presenti in commercio con lo scopo di individuarne uno adatto alla modellazione e alla simulazione di scenari what-if. In seguito dopo aver stabilito alcuni criteri di selezione del software di simulazione candidato, si è individuata STEPs come piattaforma in grado di riprodurre il caso di studio. Questo risultato ha permesso successivamente la realizzazione e la modellazione parallela di uno scenario what-if, attraverso STEPs e MAKKSim (Simulatore di folle sviluppato all'interno del Centro di Ricerca CSAI).

Il progetto svolto ha riguardato in particolare la partecipazione ad un'osservazione diretta in occasione del 50esimo Salone del Mobile (Milano, 12-17 Aprile 2011). Più precisamente l'osservazione si è svolta a Milano tra Via Tortona e Piazzale Porta Genova e si focalizzata soprattutto sul Ponte di Porta Genova e sul comportamento del pubblico del Fuorisalone che transitava su tale passaggio pedonale. Questa attività di osservazione ha permesso la riproduzione di un caso di studio basandosi su dati reali e la costruzione di una griglia di osservazione divisa in tre livelli di indagine, analizzati in dettaglio nel Capitolo 3: livello macroscopico, livello microscopico, livello microscopico. E' stata poi effettuata una classificazione e uno studio del-

lo scenario osservato secondo la metodologia in adozione presso il centro di ricerca CSAI (ELIAS38) con particolare riferimento ai fenomeni emergenti tipici di situazioni di affollamento. Inoltre è stata effettuata un'analisi della folla osservata durante l'evento partendo dal modello della teoria di Elias Canetti. Tale classificazione ha permesso di riconoscere con precisione il tipo di folla riscontrata durante le osservazioni.

Il lavoro è proseguito con il disegno e la riproduzione parallela del caso di studio attraverso i due ambienti di simulazione:

- **STEPs** si è dimostrato un ottimo strumento che ha permesso di riprodurre lo scenario del Ponte di Porta Genova, descritto nel Capitolo 3, e di simulare il comportamento dei pedoni creando due flussi pedonali individuando fenomeni riscontrati durante l'osservazione (Lanes Formation). Daltra parte non è stato possibile simulare comportamenti derivanti da convenzioni culturali, come l'abitudine dei pedoni di percorrere il ponte sul lato destro per entrambi i sensi di marcia. Comunque STEPs si presenta come uno strumento molto potente e all'avanguardia nell'ambito della Pedestrian Dynamics.
- **MAKKSIM**, prototipo in fase di sviluppo all'interno del Centro di Ricerca CSAI, ha permesso di sviluppare un modello di simulazione con un'inferiore grado di accuratezza rispetto a STEPs. Infatti come analizzato nel Capitolo 6 tramite un'analisi comparativa dei due software, sono emersi alcuni aspetti riguardanti funzionalità mancanti e che saranno implementate nei futuri sviluppi del software. MAKKSIM comunque presenta alcune funzionalità vantaggiose, infatti permette di disegnare scenari tramite un software per la modellazione 3D (Blender). Inoltre permette agli utenti di effettuare correzioni all'ambiente virtuale modificando semplicemente un'immagine JPG attraverso un qualsiasi editor di immagini.

L'ultima fase ha previsto la comparazione dei due software utilizzati, STEPs e MAKKSIM. Quest'analisi ha permesso l'individuazione in MAKKSIM di alcuni ampliamenti per migliorare il software.

I possibili sviluppi futuri riguardano la possibilità in fase di modellazione di costruire piani viabili inclinati come rampe o scale, la definizione di parametri di coesione, separazione e goal a livello di gruppo e non a livello globale, l'introduzione di un nuovo parametro che identifichi il colore di un gruppo per migliorare la chiarezza delle simulazioni, l'ampliamento del numero massimo di gruppi definibili e di pedoni generabili all'interno del modello,

la possibilità di definire specifiche velocità in punti distinti del modello e l'alleggerimento del carico computazionale del software.

Bibliografia

- [1] Elias Canetti. *Massa e potere*. Adelphi, 1981.
- [2] Jacques Ferber. *Multi-Agent System: An introduction to Distributed Artificial Intelligence*. A cura di Pearson Education. 1999.
- [3] *Fuori Salone 2011*. 2011. URL: <http://fuorisalone.it>.
- [4] D. Helbing et al. “Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions”. In: *Transportation science* 39.1 (2005), p. 1.
- [5] Karamouzas Ioannis e Overmars Mark. “Simulating the local behaviour of small pedestrian groups”. In: ACM, 2010, pp. 183–190.
- [6] R.L. Knoblauch, M.T. Pietrucha e M. Nitzburg. “Field studies of pedestrian walking speed and start-up time”. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1538.-1 (1996), pp. 27–38.
- [7] M. Moussaid et al. “The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics”. In: *PLoS One* 5.4 (2010), e10047.
- [8] *Salone internazionale del Mobile*. 2011. URL: <http://www.cosmit.it>.
- [9] Fujiyama T. e Tyler N. “An explicit study on walking speeds of pedestrians on stairs”. In: *Procs 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People* (2004). A cura di University College London Centre for Trasport Studies, pp. 643–652.
- [10] Harry Timmermans. *Pedestrian behavior: models, data collection and applications*. A cura di Emerald. 2009.
- [11] *Tortona Design Week 2011*. 2011. URL: <http://www.tortonadesignweek.com>.
- [12] M. Wooldridge. *An introduction to multiagent systems*. A cura di Wiley. 2002.