

# Simulation Model for Crowd Behaviour

Lorenzo Betti, Francesco Bodria, and Lorenzo Chicchi

Università degli studi di Torino  
<http://gamacrowdcontrol.com/>

**Abstract.** The abstract should briefly summarize the contents of the paper in 15–250 words.

**Keywords:** First keyword · Second keyword · Another keyword.

## 1 Introduzione

Eventi che prevedono l'affluenza di un gran numero di persone possono risultare problematici da un punto di vista della sicurezza dei partecipanti nel caso in cui venga percepita una situazione di pericolo che spinge le persone a scappare, infatti in queste situazioni può accadere che le persone possano riportare dei danni. Risulta quindi interessante lo studio del comportamento di una folla in tali situazioni per poter poi organizzare al meglio la gestione degli spazi e delle relative uscite di emergenza. Tuttavia, la pericolosità di queste dinamiche rende impossibile svolgere degli esperimenti in situazioni reali e per questo diventa particolarmente utile riuscire a simulare adeguatamente questi fenomeni, guidati dalle informazioni che è possibile ricavare da immagini, video o testimonianze relative ad eventi realmente accaduti.

Diversi lavori hanno cercato di modellizzare il movimento di una folla analogamente al moto di un fluido, descrivendo il comportamento di una folla da un punto di vista macroscopico. In questi termini ciascuna persona è sottoposta alle leggi della fisica che governano il moto dei fluidi e il loro insieme viene considerato come un'unica entità. Questi modelli si concentrano principalmente sulla pianificazione di uscite di emergenza e non prendono in considerazione l'interazione tra singoli individui, ciascuno dei quali potrebbe essere considerato come un'entità autonoma.

Un'altra opzione consiste nel tentativo di descrivere il comportamento della folla a partire dal singolo individuo, modellizzando il processo decisionale del singolo come risposta a stimoli che arrivano dall'ambiente e dagli altri individui. In questa ottica, la formazione ed il moto di una folla diventa un fenomeno emergente che ha origine dalla definizione di regole che determinano il comportamento dei singoli componenti del sistema. Seguendo questo schema è possibile indagare il ruolo che ha il comportamento umano nella formazione e nel moto delle folle in situazioni di panico. La metodologia computazionale che permette di integrare questi aspetti è la Simulazione a Multi Agenti (MAS) con la quale è possibile definire un certo numero di agenti autonomi con delle regole che permettono di farli interagire.

Il modello che sfrutta l'analogia con fenomeni di idrodinamica è più adatto a descrivere situazioni in cui la densità della folla è estremamente alta ma risulta più debole nel momento in cui si vogliono riprodurre situazioni che si osservano in situazioni reali. Ad esempio, in presenza di due uscite questo modello prevede che entrambe le uscite vengano ugualmente sfruttate invece in situazioni reali si osserva che un'uscita è congestionata mentre l'altra viene usata di meno. Questo può essere dovuto al fatto che un individuo in una situazione di panico si limita a seguire le persone che ha intorno, non rendendosi conto che l'uscita alternativa possa essere più libera. Oltre a questo il modello si basa sulle equazioni dell'idrodinamica che sono più difficili da maneggiare. Al contrario modelli MAS si basano su regole più semplici e possono tener conto di forze sociali in grado di riprodurre il comportamento relativo all'utilizzo delle due uscite di emergenza descritto sopra. Tuttavia questi modelli sono molto dispendiosi dal punto di vista computazionale perché richiedono di elaborare simultaneamente il comportamento di tutti gli agenti presenti nella simulazione.

Nel presente lavoro abbiamo riprodotto un modello MAS in cui sono presenti due tipi di agenti: le persone e le celle, le quali rappresentano lo spazio discreto su cui le persone si muovono. Per semplicità, ci riferiremo ad agenti per indicare le persone e a celle per indicare gli agenti di tipo cella. Il modello prende ispirazione dalla chemiotassi, fenomeno secondo il quale organismi biologici seguono delle sostanze chimiche che fungono da traccia per direzionare i loro movimenti. L'intensità di queste tracce è descritta da una coppia di valori che è presente all'interno di ogni cella e ciascun agente sceglie una cella su cui muoversi in base a questi valori: il primo indica la distanza dalla cella relativa all'uscita più vicina mentre il secondo tiene conto del movimento degli altri agenti, infatti se uno di questi si muove lascia una traccia sulla cella che si diffonde nel tempo sulle celle immediatamente vicine.

[?, ?, ?], [?, ?, ?, ?].

## 2 Modello

### 2.1 L'ambiente

Per il nostro modello abbiamo utilizzato la piattaforma GAMA [1]. Tale piattaforma infatti garantisce un ambiente di sviluppo per la modellazione e la simulazione ad agenti particolarmente ottimale per i progetti che coinvolgono la dimensione spaziale, una tipologia di progetto nella quale rientra anche il nostro lavoro. Il modello è visualizzabile e utilizzabile all'indirizzo riportato all'inizio del presente articolo.

Nel nostro modello l'ambiente è rappresentato da una griglia di dimensione  $30 \times 80$  celle. Sul perimetro della griglia sono presenti sei uscite di lunghezza pari a 5 celle. La forma della griglia è ispirata alla planimetria di piazza San Carlo a Torino, sito in cui si è verificato un grave incidente causato dal movimento di una grande massa di persone [2]. Tuttavia, per il nostro modello abbiamo deciso di lavorare su una griglia di dimensioni minori, mantenendo comunque invariati i rapporti tra le varie lunghezze (fig.1).

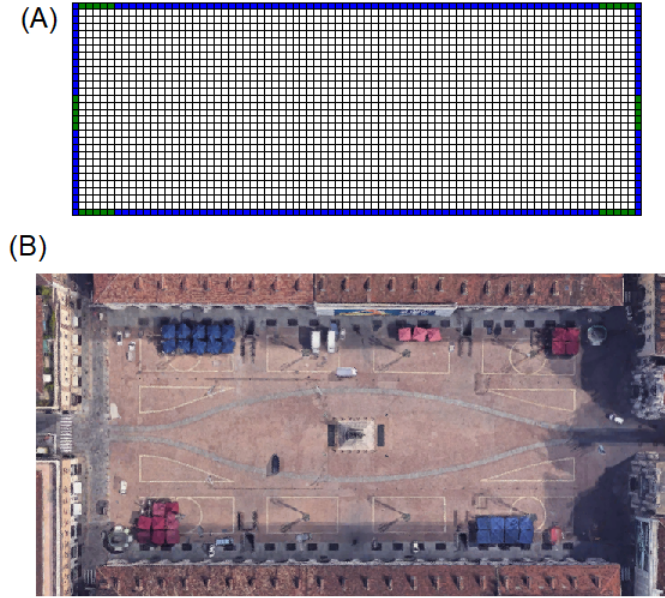


Fig. 1: La griglia del nostro modello (A) e una vista dall'alto della piazza a cui è ispirata (B) .

## 2.2 Regole di movimento

Una volta definito l'ambiente, lo scopo del nostro modello è quello di simulare il movimento di una grande massa di persone che cercano di raggiungere una delle uscite. Le persone, rappresentate da agenti dinamici che dialogano attraverso l'ambiente, si muovono ad ogni step temporale della simulazione scegliendo una delle celle vicine (ciascuna cella ha quattro celle prime vicine) in base a due parametri: la distanza di ciascuna cella candidata dall'uscita e la traccia di feromone presente su di essa. In particolare, la probabilità con cui una cella viene scelta è pari a:

$$P_{ij} = 0 \quad \text{se la cella } j\text{-esima è un muro,}$$

$$P_{ij} \propto \beta \exp \left[ - \left( 1 - \frac{S_i}{2S_{max}} \right) k_s S_j + \frac{S_i}{2S_{max}} k_d D_j \right] \quad \text{altrimenti.} \quad (1)$$

dove l'indice  $i$  corrisponde alla cella in cui si trova l'agente e l'indice  $j$  alla possibile cella di arrivo. I parametri  $S$  e  $D$  rappresentano rispettivamente l'attributo *static* e *dinamic* delle celle, mentre  $k_s$  e  $k_d$  sono due parametri arbitrari che vengono fissati all'inizio della simulazione. Inoltre, rispetto alla forma presentata nell'articolo [?], sono stati aggiunti i due fattori  $(1 - S_i/2S_{max})$  e  $S_i/2S_{max}$  che vanno a moltiplicare rispettivamente il contributo dato dal valore statico e il contributo dato dal valore dinamico. Tale modifica fa sì che il contributo associato

al valore statico abbia un peso maggiore quando si è vicini ad una delle uscite e minore quando si è lontano. Infine, il parametro  $\beta$ , detto *bet*, è un parametro che quantifica la scommessa che ciascun agente fa sul fatto che una cella occupata venga liberata. Se  $\beta = 0$  gli agenti non sceglieranno mai di spostarsi in una cella occupata nel momento della scelta, al contrario, se  $\beta = 1$  gli agenti non faranno distinzioni tra celle occupate e celle non occupate. Il parametro  $\beta$  è quindi una stima che gli agenti danno alla probabilità che, se un agente si trova sulla cella di arrivo, esso si sposti prima che l'agente in esame si muova. Una conseguenza del parametro  $\beta$  è quella di controllare la densità della folla: per valori bassi la folla tenderà a essere meno densa, per valori alti la folla risulterà invece più densa. Ovviamente, la probabilità (1) viene opportunamente normalizzata dividendola per la somma delle quattro probabilità associate alle quattro celle prime vicine.

La probabilità (1) è composta essenzialmente da due pezzi: il primo legato all'attributo *static*  $S_j$  e pesato dal parametro  $k_s$ , mentre il secondo è legato all'attributo *dinamic*  $D_j$  e pesato da  $k_d$ . Il primo termine favorisce le celle che distano meno dalle uscite.  $S_j$  rappresenta infatti proprio la distanza euclidea della cella di arrivo dall'uscita più vicina. Dunque, più tale attributo sarà grande più la probabilità di scegliere quella cella sarà piccola (e viceversa). Il secondo termine della (1) serve invece a favorire le celle in cui sono passati molti agenti. L'attributo  $D_j$  è infatti legato al seguente processo diffusivo: quando un agente si sposta lascia nella cella di partenza una quantità di feromone pari a uno 1, il quale diffonde nelle celle vicine ad ogni step temporale successivo. Viene definito inoltre un tempo di evaporazione durante il quale la traccia svanisce.  $D_j$  è la somma di tutti i processi diffusivi di questo tipo che finiscono sulla cella  $j$ -esima. Pertanto, se una cella ha un attributo  $D_j$  grande significa che da quella cella o nelle celle vicine sono passati o stanno passando molti agenti. Riassumendo, il primo termine rappresenta la volontà delle persone di muoversi verso l'uscita più vicina, mentre il secondo rappresenta la tendenza delle stesse a seguire la folla. A seconda del valore dei parametri  $k_s$  e  $k_d$  si può passare da una situazione in cui viene enfatizzato uno o l'altro comportamento.

### 2.3 Forze

Il modello prevede anche l'eventuale presenza di un campo di forze. Quando un agente sceglie di spostarsi in una cella che, nel momento in cui si muove, risulta essere occupata da un altro agente, esso rimane nella cella in cui si trova ed esercita un'unità di forza nei confronti dell'agente che occupa la cella in cui voleva spostarsi. Ciascun agente risente dunque di un campo di forza rappresentato da un vettore di quattro elementi, ciascuno dei quali associato alla spinta ricevuta in una delle quattro direzioni: nord, est, sud, ovest.

Il calcolo della forza che ciascun agente risente è così fatto: partendo dalla cella in cui l'agente si trova, si scorrono le celle nella quattro direzioni nord, est, sud e ovest. Prendendo ad esempio la direzione est (per le altre direzioni vale un discorso analogo), si valuta se nella prima cella in tale direzione c'è un agente che vorrebbe spostarsi verso ovest, ovvero nella direzione opposta, e in tal caso si aggiunge un valore uno all'elemento corrispondente del vettore forza. Quando

si trova una cella vuota o occupata da un agente che non vuole spostarsi nella direzione opposta ci si ferma. Un esempio del calcolo è riportato in figura (2). La forza che spinge un agente nella direzione est compete con la forza che lo spinge nella direzione ovest e analogamente per la coppia nord-sud. Se una delle due differenze tra i valori delle due coppie supera una certa soglia  $F_{max}$  l'agente non si sposterà più nella cella che ha scelto ma verrà 'trascinato' dalla forza.

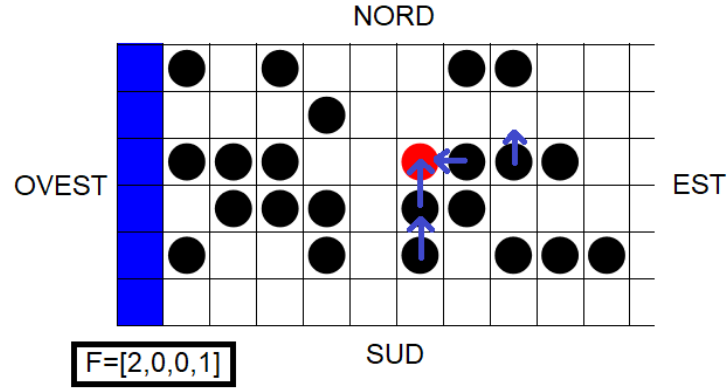


Fig. 2: Esempio di campo di forza percepito da un agente (rosso). Se si suppone  $F_{max} = 1$ , l'agente si sposterà verso nord.

## 2.4 Agenti

Nel nostro modello, come detto, ci sono due tipi di agenti: gli agenti cella e gli agenti persona. Presentiamo qui brevemente i due tipi di agenti e i loro principali attributi. A ciascuna cella della griglia è associato un agente statico i cui principali attributi sono:

- **grid\_x**: coordinata x della cella.
- **grid\_y**: coordinata y della cella.
- **neighbors**: lista dei primi vicini.
- **is\_wall**: variabile booleana che è vera se la cella rappresenta un muro o un ostacolo e in cui gli agenti persona non possono andare.
- **is\_exit**: variabile booleana che è vera se la cella rappresenta un'uscita.
- **is\_free**: variabile booleana che è vera se nella cella è presente un agente persona o falsa altrimenti.
- **static**: distanza euclidea dal centro dell'uscita più vicina.
- **dinamic**: quantità di feromone presente nella cella.

Gli agenti cella non hanno alcun obbiettivo ma hanno la funzione di creare un ambiente in grado di fornire informazioni (distanza dalle uscite) e mediare gli scambi di informazioni (feromone) tra gli agenti persona.

Gli agenti persona invece sono agenti liberi di muoversi all'interno della griglia. Essi possiedono i seguenti attributi:

- **current\_cell**: cella in cui si trova.
- **possible\_cell**: cella scelta per il prossimo movimento.
- **forza**: vettore di 4 elementi che rappresentano ciascuno la forza di cui l'agente risente rispettivamente verso nord, est, sud e ovest.

Gli agenti persona sono agenti reattivi le cui decisioni dipendono soltanto dallo stato dell'ambiente che li circonda. L'unica forma di intelligenza che possono presentare è un'intelligenza emergente e di tipo collettivo, in quanto i singoli agenti persona non sono dotati di una propria intelligenza.

## 2.5 Organizzazione della simulazione

Durante la simulazione gli agenti eseguono ciclicamente e in un ben preciso ordine tre distinte azioni, ciascuna delle quali viene eseguita da tutti gli agenti prima di passare alla successiva. Questa gerarchia nelle azioni viene gestita dalle tre variabili booleane *think*, *force* e *run*, tali che in ogni momento della simulazione una sola delle tre è vera. La prima azione eseguita dagli agenti è scegliere la cella su cui spostarsi. Ovvero, ciascun agente aggiorna il proprio attributo *possible\_cell* secondo le regole presentate nella sezione (2.2). La seconda azione eseguita dagli agenti è calcolare la forza a cui sono sottoposti. Ciascun agente aggiorna dunque il vettore *forza* e, nel caso in cui venga superata la forza soglia, modifica il proprio attributo *possible\_cell* con la cella in cui viene spinto dalle forze. La terza ed ultima azione corrisponde al movimento dell'agente nella cella associata all'attributo *possible\_cell*. Operativamente, durante la fase di movimento l'agente aggiorna l'attributo *current\_cell* assegnandogli il valore posto in *possible\_cell*. Prima di spostarsi l'agente libera la cella in cui si trova, ovvero l'agente cella imposta l'attributo booleano *is\_free* come *true*. Se un agente si trova su una delle uscite, libera la cella e muore. Per quanto riguarda le prime due azioni, non è importante l'ordine con cui gli agenti vengono scelti per eseguirle. Al contrario, l'ordine con cui si aggiornano gli agenti risulta essere fondamentale nell'ultima azione. GAMA aggiorna in automatico gli agenti in modo random e nel nostro modello si è scelto di mantenere tale regola in quanto ci è sembrata la più appropriata.

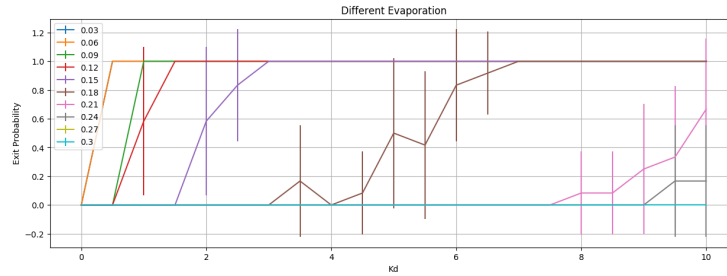
## 3 Results

Si sono effettuate diverse simulazioni per analizzare i parametri del modello, in particolar modo si è analizzato il tempo di uscita impiegato dagli agenti a uscire dalla mappa.

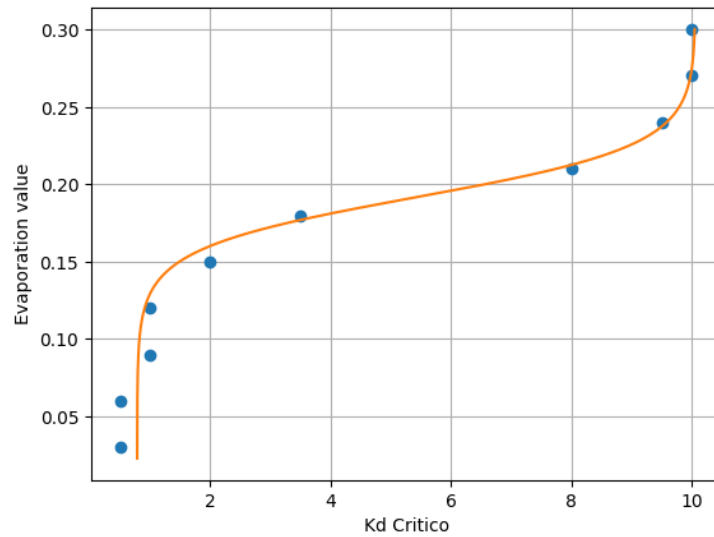
### 3.1 Tempo Di Evaporazione

Il primo parametro analizzato è stato il tempo di evaporazione del crumbs rilasciato dall'agente. Si sono quindi effettuate varie simulazioni al variare dell'evaporazione

e di  $kd$ . Il numero di agenti è stato fissato a 1000 e si sono effettuate 12 simulazioni per ogni set di  $(kd, \text{evaporazione})$ , infine si è presa la media e la varianza di questi.



Come si vede dalla figura per ogni valore di evaporazione esiste un valore critico di  $kd$  oltre il quale si hanno delle persone intrappolate in artefatti della simulazione. Esempio: se l'evaporazione è troppo bassa rispetto a  $kd$  il campo dinamico di due agenti vicini finisce per autoalimentarsi intrappolando i due agenti in un minimo da loro stessi creato.



Per le simulazioni successive si è scelto di usare 0.21 (7 numero biblico x 3 numero perfetto) come valore per l'evaporazione in modo tale da avere completa evacuazione della mappa fino a valori alti di  $kd$ .

### 3.2 Kd vs Ks

#### References

1. Taillandier P., Vo DA., Amouroux E., Drogoul A.: GAMA: A Simulation Platform That Integrates Geographical Information Data, Agent-Based Modeling and Multi-scale Control. Springer, Berlin, Heidelberg (2012)
2. Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Tragedia\\_di\\_piazza\\_San\\_Carlo](https://it.wikipedia.org/wiki/Tragedia_di_piazza_San_Carlo)