

Simulazioni geospaziali

I sistemi pedestri

2^a parte

di Francesco Bartoli

L'articolo (che segue la prima parte "Simulazioni geospaziali" pubblicata sul numero 5-2007), mostra come i vantaggi nello sviluppo di modelli agent-based per la simulazione dei sistemi di movimento individuale risultino particolarmente evidenti per descrivere e prevedere fenomeni legati a scenari di emergenza. Le tecniche già descritte nel precedente numero sono state utilizzate soprattutto in ambienti su larga scala (simulazioni di intere città, regioni o addirittura su scala mondiale), ma va rilevato come molti degli eventi contemporanei accadono in luoghi su piccola scala dove intere folle di gente si ritrovano e interagiscono. Ci si soffermerà dunque sulle dinamiche del movimento pedestre.

Molti dei problemi del movimento e degli spostamenti coinvolgono azioni e interazioni in spazi limitati quali uffici complessi, centri commerciali, stazioni della metro ma soprattutto teatri, stadi e concerti. Qui le tipologie di affollamento e di congestione che si possono presentare rendono il contesto luogo-persone estremamente vulnerabile ad incidenti e disastri, rendendo talvolta le procedure di sicurezza inefficaci e legittimando un approccio scientifico che garantisca standard e certificazioni di qualità superiori.

Emergenze e Disastri in spazi limitati

Usualmente la struttura di tali spazi può considerarsi complessa, poiché costituita da insiemi di corridoi e collegamenti tali da essere logicamente correlati al movimento stesso, sebbene il contesto in cui si possa verificare un incidente è pressoché riconducibile alla semplice situazione in cui troppe persone si costringono vicendevolmente in un piccolo spazio.

Non solo. Nei complessi quali uffici ai piani alti, aeroporti, ospedali, stazioni ferroviarie formati da strutture multipiano, i pattern di movimento tendono a incrociarsi l'uno con l'altro. Sebbene si possano considerare stadi e teatri come spazi dedicati all'intrattenimento e associati a strutture più semplici, emerge il medesimo problema chiave, indotto dalla numerosità e dalla psicologia stessa del fenomeno: la folla tende a mutare la propria posizione collocandosi in maniera quanto più ristretta possibile per essere coinvolta nello spettacolo.

Se la quantità di folla diviene insostenibile e le persone incorrono in situazioni di panico e paura, allora possono accadere incidenti nei quali le barriere di protezione sono divelte e la folla, tentando di liberarsi, non fa altro che spingersi e calpestarsi.

In figura 1 è riportato uno dei maggiori disastri avvenuti negli ultimi trenta anni: la strage di Hillsborough, nel 1989, fu causata soprattutto da un'esagerata affluenza rispetto allo spazio disponibile. Ciò dimostra quanto sia importante comprendere e considerare i modi con cui gli individui interagiscono e la geometria dell'ambiente circostante, nel tentativo di sopperire all'incapacità di evacuare un gran

numero di persone in tempi ristretti e in spazi tali da evitare un disastro.

Movimento e affollamento: comportamenti, aleatorietà e geometria

Il movimento pedestre è tipicamente basato sull'autonomia dell'individuo. In un tale sistema esistono elementi cooperativi (Es.: permettiamo che qualcuno attraversi una porta prima di noi o ci spostiamo per far passare qualcuno che cammina più velocemente) e alcuni competitivi (Es.: tentiamo di uscire da uno stadio più velocemente di qualsiasi altro).

I modelli che vogliamo indagare si basano su dei semplici assunti: ogni individuo appartenente a una folla è considerato come un oggetto (agente) che simula il movimento rispetto agli altri oggetti e all'ambiente nel quale interagisce.

In breve simuliamo le risposte di un gran numero di agenti sebbene il singolo comportamento sia la combinazione delle risposte derivanti dall'influenza sul valore medio dovuta sia alla presenza degli altri agenti che all'ambiente specifico in cui si trovano; di conseguenza si possono generare comportamenti globali completamente diversi dalle molteplici possibilità ammissibili.

Con ciò vogliamo evidenziare come il risultato globale, derivante dai comportamenti dei singoli agenti, non sia banalmente la somma delle loro intenzioni, quanto piuttosto il prodotto dell'impredittibilità dei loro movimenti indotti dalla geometria delle forme strutturali e dagli artifici geometrici dovuti alla presenza dei restanti attori, dunque aleatorietà e vincoli fisici.

Alla base di quanto detto, il concetto di agente come oggetto in movimento può identificarsi in queste tipologie:

- ✓ Oggetti che esistono nel mondo virtuale ai quali facciamo ricorso tramite artifici logici (oggetti software);
- ✓ Oggetti del mondo fisico che sono utilizzati per contemplare la materialità delle folle (geometrie);
- ✓ Oggetti del mondo naturale, che contemplan entità vegetali come alberi, piantagioni e giardini.

Gli agenti sono perciò individui - principalmente persone -



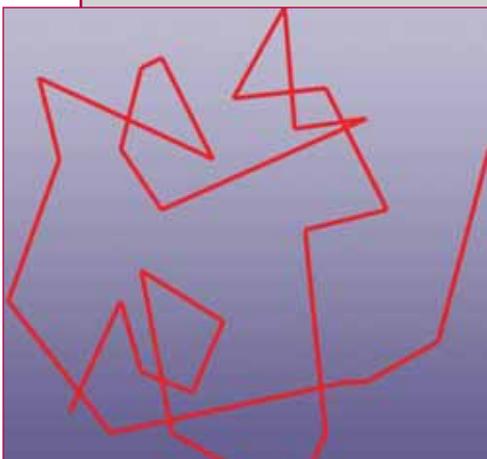
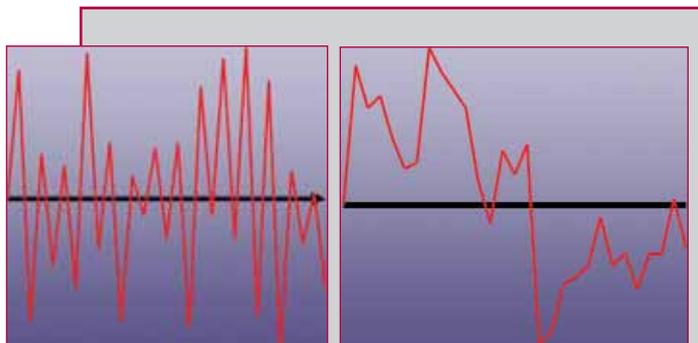
Sheffield Hillsborough Stadium, 15 Aprile 1989. 96 persone muoiono schiacciate a causa dell'eccessivo afflusso di tifosi durante la finale di FA Cup: nelle immagini i tentativi di mettersi in salvo.

ma qualche volta oggetti come strade, barriere e parti di strutture che spesso sono utilizzate per simulare il contesto tridimensionale secondo le convenienze progettuali e il software utilizzato.

Un primo modello grezzo che descrive come le persone si muovono nello spazio geometrico è costituito da un movimento statistico monodimensionale che può essere raffinato con l'introduzione della geometria e di alcune ipotesi: in figura 2a è rappresentata la deviazione randomica dalla linea spaziotemporale di cammino. Tale modello esclude qualsiasi possibilità di memorizzare i precedenti passi con il risultato che l'agente ritorna ogni volta sulla direzione di marcia stabilita.

In figura 2b è mostrato un perfezionamento del modello attraverso la memorizzazione della precedente posizione, come in un processo di Markov di primo ordine.

Se proiettiamo il tutto in uno spazio bidimensionale (piano), otteniamo il cammino evidenziato in figura 2c, ristretto in un quadrato ma segmentato, nel complesso, verso una direzione (destra).



Modellazione del movimento pedestre nel dominio spazio. Sopra in sequenza da sinistra verso destra la figura 2a e 2b. In basso la figura 2c.

Ora assumiamo che gli attori si muovano verso una determinata direzione coinvolgendo anche la geometria, inoltre aggiungiamo una sorgente di agenti che si muovono verso una destinazione con aumento regolare del gradiente di superficie occupata. A tutti questi cammini assegnamo vari gradi d'incertezza imponendo loro i vincoli geometrici in precedenza descritti o eventuali ostacoli fisici.

Non ci resta che "accendere la luce", ossia aggiungere una sorgente che funga da stimolo direzionale per gli agenti: questo costituisce il modo più facile di considerare intenzioni e scopi nel dominio applicativo e permettere agli attori di reagire ad essi.

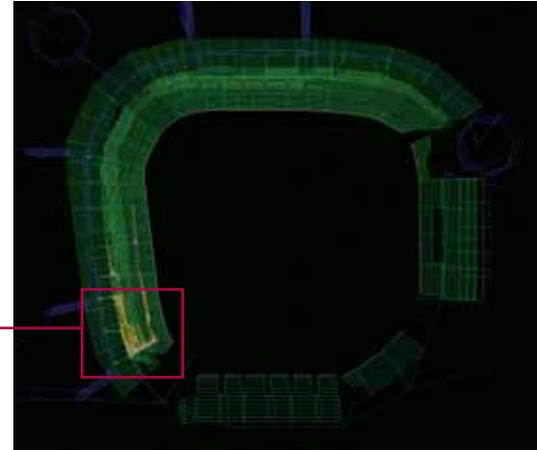
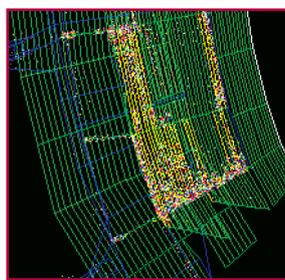
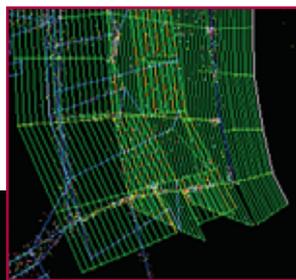
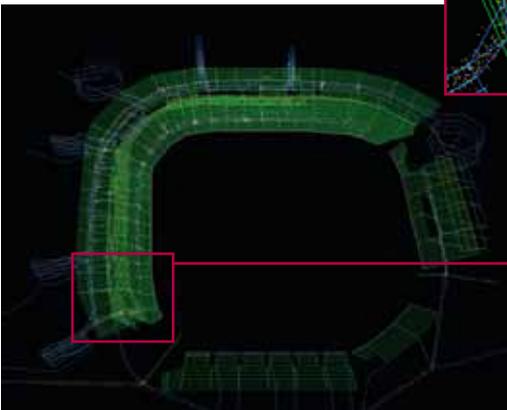
Questo tipo di esperimenti e modelli costituiscono il cuore degli effetti - dovuti alla geometria - sul movimento delle folle (modelli dinamici studiati e sviluppati da Helbing e Keith Stills) e descrive assai bene il problema della collisione tra due folle, riuscendo a simulare l'aumento della pressione dovuto all'imprevedibilità del movimento, che è poi la fonte dei disagi (picchi nella densità di occupazione della superficie) negli spettatori di eventi quali parate, festival, concerti, ed eventi sportivi.

E' possibile, quindi, che la folla aumenti la propria capienza e la densità diventi incontrollabile. La paura e il panico possono essere introdotti contemplando come le folle tentano di disperdersi e sottrarsi a tale situazione.

Tale concetto può essere esasperato laddove la morfologia spaziale cambi bruscamente e il flusso sia sottoposto a un collo di bottiglia. Questo fenomeno si manifesta maggiormente nei punti d'ingresso e di uscita: la sua previsione diviene centrale e strategica nella gestione della latenza di un processo d'evacuazione.

Le assunzioni tipiche di un processo di simulazione secondo le fasi *acquisizione dati-rappresentazione-analisi-ottimizzazione* non sono più valide quando si approccia con eventi su piccola scala, oltretutto caratterizzati da vincoli dipendenti da come il sistema si è evoluto nel passato; inoltre il dato spesso è inadeguato, mettendo a repentaglio il processo convenzionale di calibrazione.

Piuttosto, la gran parte degli eventi di questo dominio non può essere separata dai vincoli stessi. Tra essi alcuni sono passivi, mentre quelli attivi rendono critica la simulazione e la fase di calibrazione. Ad esempio, quando la folla in un evento sportivo si fa più grande e densa mettendo sotto stress gli standard di sicurezza, questi devono essere forzati attraverso l'utilizzo di attori umani in modo da controllarne il comportamento e desensibilizzarne la densità. Quando questa funzione non è già stata attuata direttamente dagli apparati di controllo, si possono utilizzare vincoli aggiuntivi sulla struttura fisica come regolatori comportamentali.



Pittsburgh, stadio PNC Park - Simulazione di un'evacuazione tramite agenti, vincoli spaziali e comportamentali (Reazioni allo scoppio di bombe)

Supponendo di voler considerare il paradigma sorgente-attrazione, abbiamo a disposizione l'origine e la destinazione degli agenti, ma mancano i percorsi che gli stessi prenderanno veramente per collegarle. Il primo stadio del modello, perciò, riguarda la generazione di queste rotte in modo tale che i pattern comportamentali siano quanto più fedeli possibili per passare poi all'usuale calibrazione. Ad ogni modo, gli eventi che stiamo trattando sono fortemente influenzati dallo staff di controllo che può deviare il flusso delle persone attraverso la chiusura di strade ed erigendo barriere, tanto quanto dal posizionamento geografico dell'attrazione. Questi vincoli sono noti e potrebbero essere già inizialmente assegnati, ma poiché lo scopo del modello è di riprogettarli, prima valutiamo la situazione senza di essi e poi li introduciamo gradualmente fino al raggiungimento del livello di servizio limite, ossia quella densità di persone per m² necessaria a evitare situazioni di pericolo incipiente.

Tuttavia i vincoli appena descritti sono imprescindibili dall'intervento di chi li progetta, per cui il modo più appropriato di operare è di prevedere un'interfaccia verso chi realmente controlla l'evento utilizzando l'esperienza sul campo nell'esecuzione del modello attraverso le varie fasi. Soprattutto nella fase in cui gli "agenti virtuali" sono simulati sotto differenti condizioni, sarebbe fondamentale convergere su "agenti reali" intervenendo sul modo in cui questi vincoli sono introdotti.

Modelli ed esempi

Per citare un esempio concreto di modello applicato a un'evacuazione di massa da uno stadio si può utilizzare il modello del PNC Park, lo stadio di baseball della Major League a Pittsburgh in Pennsylvania capace di contenere 70.000 persone.

La simulazione - sviluppata dal Redfish Group - include migliorie in termini di norme di sicurezza come segnalazioni delle uscite, l'utilizzo del campo da gioco come via di fuga e una regolazione sull'utilizzo delle scale nelle torri, dove è previsto il maggior deflusso.

Il modello è visualizzato secondo una rappresentazione della struttura nella forma *dots&wires*: le persone appaiono come punti colorati.

L'utente può definire a priori gli eventi critici (esplosioni) prima di eseguire il modello o introdurle interattivamente attraverso l'utilizzo del mouse. Essi sono rappresentati da simboli circolari in grado di causare la morte o il ferimento in un determinato raggio.

Dopo la prima esplosione, le persone sono visualizzate mentre - allontanandosi dal luogo dell'evento - si muovono in direzione delle uscite a differenti velocità. Nel caso si presentino successive esplosioni in grado di bloccare percorsi di uscita già utilizzati, gli agenti modificano i propri movimenti alla ricerca di uscite alternative.

Essi impiegano un algoritmo di ricerca percorsi a costo minimo per decidere la via di fuga e scegliere quale utilizzare tra quelle *conosciute*. Un modo convenzionale di prevedere

la distanza o il costo è quello che utilizza l'algoritmo *Flood Fill* in maniera tale che ad ogni posizione la profondità - seguendo un largo afflusso verso una data uscita - sia inversamente proporzionale alla loro distanza.

In base a tali presupposti gli ostacoli possono essere trattati come distanze incrementali attraverso la posizione che occupano nello spazio e gli agenti conseguentemente aggiustano i loro percorsi adattandoli alla topologia delle forme spaziali incontrate.

Trattare un problema siffatto per un'intera struttura richiede un potere computazionale drasticamente oneroso.

La soluzione adottata semplifica la trattazione considerando pochi segmenti di tutte le posizioni occupate e aggiorna solo quelle nei percorsi identificati negli agenti: ciò permette di ottenere delle buone performance real-time per un largo numero di agenti.

Gli output prodotti includono, oltre alla rappresentazione in tempo reale del comportamento pedestre, una serie di statistiche ed un output che può essere riversato su un programma di rendering producendone un filmato.

Conclusioni

Questo approccio risulta particolarmente significativo come sistema di supporto alle decisioni: un manager con scarse conoscenze ed interessi nelle simulazioni può, ipotizzando una serie di assunzioni, osservare i pattern di comportamento della folla e le relative differenze.

Nel caso in esame, sebbene le migliorie nella segnalazione delle vie di fuga aumentino la velocità di deflusso, paradossalmente non diminuisce l'incidenza del calpestamento tra la gente ma aumenta in virtù del fatto che un maggior numero di persone si dirigono verso le uscite corrette.

Tale effetto può essere mitigato ed annullato consentendo l'utilizzo del campo da gioco come via di fuga alternativa: questa è la misura testata che garantisce i maggiori benefici e che probabilmente avrebbe evitato la strage di Hillsborough. **G**

Abstract

Geospatial solutions: the pedestrian systems

Investigating alongside Decision Support System simulation based models are centric. Even though Geographic Information Systems do not get in touch with Agent Based Models sooner, geospatial simulations provide several enhancements in emergency evacuation scenarios. In a small scale pedestrian movement modelling which depicts crowd behaviour and gathering as well as ingress and egress situations from large venue where panic usually rises. Crowd managers can be supported in their decisions by running the same model against different conditions such as spatial constraints to take a turn for the better and avoid congestions as well crushing and trampling phenomena.

Autori

FRANCESCO BARTOLI
francesco.bartoli@fastwebnet.it