

Un modello per la mobilità asistemica nel Centro Storico di Rimini

7 novembre 2003

A.Bazzani(*), **M.Capriotti(*)**, **B.Giorgini(*)**, **G.Servizi(*)**
G.Turchetti(*), **G.Melchiorre(*)**, **S.Luccardi(†)**, **M. Zaoli(∧)**

(*) Dipartimento di Fisica and INFN sezione di Bologna,

(†) Comune di Rimini,

(∧) Ordine degli Architetti di Rimini

Sommario

Negli anni '90 sociologi ed urbanisti hanno messo in evidenza l'importanza dell'analisi del problema della mobilità nelle metropoli tenendo conto di nuove forme di mobilità di tipo asistemico. Ovvero di una mobilità non riconducibile ad un modello origine-destinazione, e per la quale una componente "non deterministica" nelle scelte e nell'organizzazione temporale della giornata di ciascun cittadino ha un ruolo fondamentale. L'esigenza di questa analisi è nata come conseguenza di precise richieste fatte da alcune categorie tra cui significativamente le donne, le quali devono organizzare i propri spostamenti, compatibilmente con le esigenze della famiglia. Per affrontare il problema della mobilità nelle metropoli si propone un modello basato sul concetto di cronotopo, definito come area urbana, sede di attività calendarizzate, che determina le richieste di mobilità di determinate classi sociali. Ciascun cittadino acquisisce una propensione per determinate aree urbane che realizza attraverso un meccanismo decisionale contenente una componente aleatoria. Il modello cronotopico si predispose ad un'implementazione al computer tramite "modello ad agenti" attraverso il linguaggio object-oriented C++. In questo lavoro descriviamo le caratteristiche del modello e discutiamo un'applicazione alla mobilità nel Centro Storico di Rimini, mostrando le

capacità descrittive, quelle esplicative e le possibilità predittive del modello stesso. In particolare il modello può simulare l'evoluzione di vari scenari possibili. I dati sulla distribuzione della popolazione, sulla calendarizzazione delle attività e sugli orari dei mezzi pubblici sono stati forniti dal Comune di Rimini a dall'Ordine degli Architetti di Rimini attraverso una collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna.

1 Introduzione

La trasformazione della società, a cui si è assistito negli ultimi 20 anni, ha modificato il rapporto tra cittadini e metropoli basato, in precedenza, principalmente sulla mobilità casa-lavoro. In sintesi si può dire che si è passati da una mobilità modellata fortemente dall'organizzazione fordista del lavoro, a un'altra meno assai determinata dagli orari di lavoro tipici del taylorismo. La progressiva riduzione dell'orario di lavoro e la possibilità di una sua gestione flessibile permettono diverse organizzazioni temporali della giornata, creando una richiesta d'uso della città legata ai servizi e allo svago. Questo fatto ha portato i sociologi[1] alla formulazione del concetto di "city-users" (turisti, uomini d'affari, immigrati, cittadini della provincia etc...), cioè individui caratterizzati da una mobilità all'interno del tessuto urbano non riconducibile ad un modello origine-destinazione (OD) e detta pertanto "asistematica". Un ruolo importante in questo processo di trasformazione è stato svolto dalle donne che, dovendo conciliare l'organizzazione temporale della giornata con le esigenze quotidiane della famiglia, hanno sentito maggiormente la necessità di rompere la logica origine-destinazione, aumentando e diversificando le strutture temporali rispetto a quelle generate dalla mobilità OD[2]. Gli urbanisti hanno proposto un nuovo paradigma per l'interpretazione delle dinamiche urbane basato sul ruolo del "tempo urbano" o meglio dei tempi o ritmi propri di ciascuna classe o strato sociale [2]. Occorre precisare che il tempo a cui si riferiscono gli urbanisti non è il "tempo fisico" scandito da un orologio, ma piuttosto un "tempo sociale" creato dalla stessa dinamica associata alla mobilità urbana. In questo senso vi è un'analogia tra tempo sociale e tempo biologico in quanto anche quest'ultimo è generato dai metabolismi degli organismi ed è diverso da specie a specie come il tempo sociale è diverso nelle varie categorie sociali (in contrapposizione all'assolutezza del tempo in Fisica Classica). Vi è ovviamente una stretta relazione tra tempi sociali e tempi biologici poiché questi ultimi condizionano l'organizzazione temporale della giornata (ritmi circadiani veglia-sonno). Tuttavia i tempi sociali sono determinati principalmente dall'interazione tra cittadini e le attività-servizi pre-

sentì nel tessuto urbano. Gli urbanisti hanno proposto l'introduzione del concetto di "cronotopo" (letteralmente luogo del tempo) per indicare quelle attività urbane che sono gli agenti primigeni della dinamica nella città [3, 4]. Un cronotopo viene quindi identificato con quelle aree urbane sedi di attività calendarizzate che determinano una domanda di mobilità da parte dei cittadini. Esempi di cronotopi sono le aree di mercato, l'università, gli ospedali, etc... ciascuno dei quali "interagisce" con particolari categorie sociali. La calendarizzazione e l'accessibilità dei cronotopi diventano pertanto il punto chiave per la pianificazione delle politiche temporali nelle città in relazione ai problemi della mobilità urbana. Si tratta evidentemente di un problema complesso in quanto richiede la coordinazione di attività diverse con gli orari delle reti di trasporto pubbliche e con possibili situazioni critiche legate al trasporto privato ed alle proprietà di auto-organizzazione del sistema città. Si rende necessario pertanto lo sviluppo di nuovi strumenti che consentano agli esperti di affrontarlo. Sono stati proposti due tipi di strumenti: da una parte si sono introdotte le "carte cronotopiche" che consentono una rappresentazione spazio-temporale del tessuto urbano e si interfacciano con sistemi GIS (Geographic Information Systems)[5]; dall'altra si è sviluppato un modello teorico, chiamato MiM (Mobilis In Mobile) adatto a simulare la mobilità dei cittadini in un tessuto urbano in presenza di attrazioni cronotopiche e di una rete di trasporto pubblico[6, 7]. In questo lavoro illustriamo le caratteristiche principali del modello MiM allo stato attuale del suo sviluppo e ne discutiamo un'applicazione alla mobilità pedonale nel Centro Storico di Rimini. Il modello MiM è stato sviluppato nell'ambito di tre progetti MURST per le ricerche di interesse nazionale [8, 9, 10] ed è stato oggetto di una richiesta di brevetto da parte dell'Università degli Studi di Bologna[11]. Il modello si colloca in un ambito internazionale di ricerca il cui scopo è riprodurre i movimenti pedonali nella città tenendo conto della configurazione del reticolo delle strade e della locazione ed accessibilità di particolari attività [12]. Il punto di partenza è l'assunzione che la comprensione della città sia inscindibile dalla comprensione della sua dinamica; ovvero paragonando la città ad un organismo, il movimento dei cittadini indica "la pulsazione della città" e ne determina la vitalità. La simulazione della mobilità urbana che risolve la scala microscopica del singolo cittadino è resa possibile sia dall'acquisizione ed elaborazione di dati a scala sempre più fine sia sulla geometria dei luoghi, sulla disposizione delle attività e sui flussi dei cittadini, che dalle capacità di calcolo dei moderni computer e dallo sviluppo dei linguaggi object-oriented. Inoltre la comunità scientifica fisico-matematica è sempre più impegnata nello studio dei "sistemi complessi" [13] proponendo strumenti teorici ed

indicatori numerici per la loro comprensione. Vari modelli, tra cui il MiM l'inizio di una ricerca per la simulazione della complessità dei sistemi urbani che possa interpretare la dinamica spazio-temporale delle moderne metropoli attraverso proprietà emergenti dalle dinamica dei cittadini a piccola scala. In questo contetsto riportiamo le parole di Eigen nella prefazione al libro di Volkenstein[14] sull'applicazione della fisica alla biologia: "The aim of theory is not to describe reality in every detail, but rather to understand the principles that shape the reality".

2 Il modello Mobilis in Mobile

Il modello MiM è un "modello ad agenti"[15] le cui entità elementari si muovono ed interagiscono in uno spazio predefinito. Il concetto di agente è stato introdotto in contrapposizione ai modelli di automi cellulari[16] in cui la dinamica viene simulata mediante un cambiamento di proprietà dello spazio (ad esempio il grado di occupazione). Al contrario un "agente" è caratterizzato dalle sue proprietà interne, dalla capacità di prendere delle decisioni e muoversi in uno spazio e dalla possibilità di interagire con lo spazio stesso e con gli altri agenti. Tali proprietà rendono i modelli ad agenti adatti a riprodurre alcuni comportamenti dei sistemi biologici[17] pur mantenendo una relativa semplicità nella loro formulazione ed implementazione. Gli agenti definiti nel modello MiM sono identificati da una stringa binaria (codice genetico) che ne definisce la categoria sociale, il lavoro, il sesso e l'età anagrafica; inoltre hanno una capacità decisionale basata su un calcolo probabilistico delle scelte possibili e sono dotati di memoria. Il codice genetico determina la "propensione" di un dato agente a visitare certi cronotopi: in pratica si associa ad un'area cronotopica i una maschera binaria che viene confrontata con quella del singolo agente generando un numero x_i compreso tra 0 e 1. Tale numero viene ulteriormente moltiplicato per un secondo numero random f_i a valori 0 o 1 in funzione della probabilità che il cronotopo sia frequentato quotidianamente: ad esempio nel caso di un cronotopo frequentato una volta alla settimana f_i assumerà il valore 1 con probabilità 1/7. Il "peso" del cronotopo i -esimo nell'agenda giornaliera di un agente sarà quindi

$$w_i = f_i x_i$$

Il numero n di cronotopi che un agente visita nell'arco di una giornata dipende dal tempo di permanenza t_i che viene associato a ciascun cronotopo in funzione delle attività presenti nel cronotopo stesso; detto T il tempo che una certa categoria sociale dedica alle attività

giornaliere, deve essere soddisfatta la seguente disequaglianza

$$\sum_{i=1}^n t_i \leq T$$

dove i cronotopi entrano nella sommatoria nell'ordine stabilito dai loro pesi. Allo stato attuale il programma considera tutte le permutazioni possibili degli n cronotopi scelti (n è evidentemente un numero piccolo: tipicamente $n=3,4$) scartando a priori quelle che danno un'incompatibilità tra tempi di permanenza e orario di apertura dei cronotopi. Le permutazioni selezionate vengono assegnate come agende ai cittadini utilizzando i pesi dei cronotopi secondo uno schema probabilistico esemplificato come segue. Supponiamo che siano stati scelti tre cronotopi di peso w_1, w_2, w_3 ; all'agenda ordinata come $\{1, 2, 3\}$ (ovvero l'agenda che prevede di recarsi nell'ordine nei cronotopi 1 e 2 ed infine nel 3) sarà dato un peso statistico di

$$P_{\{1,2,3\}} = \frac{w_1 w_2}{(w_1 + w_2 + w_3)(w_2 + w_3)}$$

Tale formula si generalizza facilmente alle altre permutazioni e ad un numero qualunque di cronotopi. Qualora alcune combinazioni risultino non accettabili perchè, ad esempio, gli orari di apertura risultano incompatibili, i pesi statistici vengono rinormalizzati in modo che la somma sia unitaria. La scelta probabilistica delle agende non tiene conto degli aspetti cognitivi legati all'esperienza passata degli individui (agenti). Il modello MiM considera la possibilità che gli individui modifichino successivamente la loro agenda qualora fenomeni di affollamento aumentino i tempi di permanenza nei cronotopi decidendo di posticipare un impegno o di ridurre l'agenda stessa. Una volta scelta l'agenda il cittadino-agente deve prendere le decisioni riguardo a come muoversi nel tessuto urbano. Innanzitutto, occorre precisare come viene rappresentato lo spazio urbano all'interno del modello MiM. Ciascuna tratta urbana viene discretizzata mediante una serie di punti equispaziati. Alcuni punti hanno un ruolo particolare in quanto corrispondono ad incroci, ingressi di edifici in cui si svolgono particolari attività, parcheggi o stazioni dei mezzi pubblici (vedi figura 4 ad esempio). La dinamica nel tessuto urbano è scandita secondo intervalli di tempo discreti Δt che corrispondono al tempo necessario ad un pedone per spostarsi tra due punti vicini. In assenza di cronotopi un cittadino si muove secondo delle regole puramente aleatorie riproducendo una mobilità di tipo zigzagante [1]. Più precisamente arrivando ad un incrocio dove si incontrano n -strade, l'agente attribuisce una probabilità $p_k = 1/(n - 1)$ di proseguire lungo una delle strade e probabilità nulla di tornare indietro (questo evita la formazione di

circoli viziosi a piccola scala che sono non realistici); la scelta effettiva di una particolare strada dipende tuttavia anche da proprietà strutturali della strada stessa quali ampiezza dei marciapiedi, la sicurezza del percorso o la presenza di attività commerciali o monumenti artistici (fattore estetico). Per ogni tratta viene introdotto un coefficiente di merito m_k che modificherà la probabilità di scelta p_k della k -esima strada secondo la formula

$$p'_k = \frac{m_k p_k}{\sum_j m_j p_j}$$

dove la sommatoria corre sulle direzioni possibili. In assenza di cronotopi l'agente che arrivi ad una stazione, deciderà di salire su un mezzo pubblico in base a considerazioni puramente aleatorie.

La presenza di un cronotopo acceso nell'agenda modifica la probabilità delle scelte tra le varie direzioni possibili mediante l'effetto di una "forza sociale"[18]. Il concetto di forza sociale è stato introdotto nei modelli di dinamica pedonale come misura delle motivazioni interne degli individui a compiere determinati movimenti (il termine sociale è stato introdotto per contrapposizione con le forze fisiche per cui valgono i principi di Newton). Nel modello MiM una forza sociale viene rappresentata da un vettore diretto verso "il centro" dell'area cronotopica la cui intensità F è calcolata in funzione della distanza secondo la formula

$$F = \max \left(kr e^{-\left(\frac{r}{R}\right)}, 1 \right)$$

dove k è una costante di proporzionalità ed R definisce un raggio caratteristico di azione del cronotopo. Il valore massimale delle forze cronotopiche, fissato ad 1, riproduce nel modello una dinamica origine-destinazione in cui i cittadini scelgono le direzioni esclusivamente allo scopo di recarsi nel cronotopo. Nel caso $R = \infty$ parleremo di cronotopi "forti" (tipicamente i luoghi di lavoro) i quali devono essere raggiunti con necessità inderogabile ed entro certi intervalli temporali; in caso contrario (R finito) avremo dei cronotopi "deboli" come luoghi di svago, aree interessanti dal punto di vista artistico, centri sportivi o anche aree commerciali, in cui un cittadino si reca se si trova entro una certa distanza. Si noti che su una stessa area urbana possono sovrapporsi più cronotopi: ad esempio un mercato può essere un luogo di lavoro per una certa categoria sociale con la calendarizzazione che ne consegue, ed un luogo per acquisti per altre categorie su cui eserciterà un' attrazione di tipo debole. Un agente sente l'effetto di una forza cronotopica qualora il cronotopo sia "acceso" oppure qualora l'agente

stimoli che sarà acceso nel momento in cui vi arrivi (effetto di anticipo); in questo modo si simulano i fenomeni di affollamento al momento di apertura delle attività.

La forza cronotopica \vec{F} modifica le probabilità di scelta di una direzione \hat{e}_k secondo la formula

$$p_k = \frac{1 + \vec{F} \cdot \hat{e}_k}{\sum_j (1 + \vec{F} \cdot \hat{e}_j)}$$

privilegiando le direzioni che avvicinano all'area cronotopica rispetto alle altre (il simbolo \cdot indica l'usuale prodotto scalare); la figura 1 dà uno schema per il calcolo delle probabilità di scelta ad un incrocio.

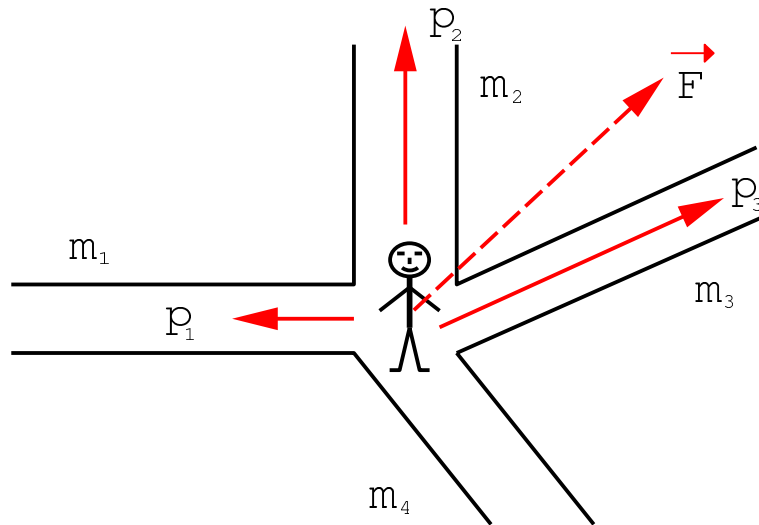


Figura 1: Rappresentazione delle probabilità di scelta ad un incrocio per un agente che proviene dalla direzione 4 ed è soggetto a una forza cronotopica \vec{F} ; la scelta finale tiene anche conto dei coefficienti di merito m_j associati alle strade.

Per un valore di F prossimo ad 1 ritroveremo una dinamica OD in cui il cittadino tenderà a recarsi nell'area cronotopica seguendo il percorso più breve; se F è minore di 1 avremo una dinamica stocastica con una deriva verso l'area cronotopica. All'interno dell'area cronotopica la forza è praticamente nulla ed il cittadino si muove in modo zigzagante. Il programma prevede quindi che i cittadini si fermino in determinati punti del cronotopo per un certo tempo che dipende dalle attività presenti nel cronotopo stesso e dal suo "affollamento". Durante questo intervallo temporale non contribuiscono più alla mobilità.

Nel caso siano disponibili diversi mezzi di trasporto il cittadino decide se gli conviene usare un mezzo di trasporto per raggiungere il cronotopo confrontando la distanza dal cronotopo con il percorso pedonale medio della propria categoria sociale.

Allo stato attuale il modello riproduce tre tipi di mobilità che sono caratteristici dei centri storici delle città: la mobilità pedonale, la mobilità ciclistica e la mobilità mediante mezzi pubblici. Le mobilità pedonale e ciclistica obbediscono alle stesse regole probabilistiche descritte sopra differendo per la velocità di movimento e per la distanza media percorsa. I mezzi pubblici invece sono inseriti tenendo conto della frequenza oraria stabilita dalle aziende di trasporto e si muovono in modo deterministico lungo le linee urbane. Inoltre è prevista una capienza finita per i mezzi pubblici che una volta raggiunta non consente più al cittadino di salire. Il modello assume che solo i pedoni possano prendere un mezzo pubblico di trasporto, ma può facilmente essere generalizzato al caso in cui anche i ciclisti lo possano fare, come accade per esempio nelle città del Nord Europa. Qualora il cittadino decida che è conveniente prendere un mezzo di trasporto pubblico, la forza cronotopica viene diretta verso la stazione più vicina dove, in base alle informazioni disponibili, transita un mezzo pubblico che porti vicino al cronotopo considerando anche eventuali cambi.

Il modello MiM tiene conto delle variazioni di popolazione in movimento nel tessuto urbano durante la giornata, assumendo diversi tipi di "sorgente" quali la stazione ferroviaria, le fermate dei mezzi pubblici che provengono dall'esterno, i parcheggi e i residenti che escono di casa a varie ore del giorno. I cittadini non hanno un'interazione diretta tra di loro, tuttavia il modello tiene conto di fenomeni di affollamento nelle attività presenti nei cronotopi (tralasciando i fenomeni di congestione lungo le strade che sono tipici del traffico automobilistico). Il tempo di permanenza all'interno di un cronotopo, correlato con le attività proprie del cronotopo stesso, aumenta in proporzione all'affollamento introducendo fenomeni di "ritardo" sull'agenda prevista che possono portare all'impossibilità di portare a compimento l'agenda stessa. Il modello prevede pure la possibilità che un cittadino modifichi la propria agenda durante la giornata, qualora sia informato di un sovraffollamento del cronotopo verso cui è diretto. In questo senso il modello MiM può simulare fenomeni critici indotti dal superamento delle soglie di capienza. Una misura della criticità della situazione è la frazione dei cittadini che non sono riusciti a completare la loro agenda nell'arco del giorno.

3 Implementazione del modello MiM

Il modello MiM è stato implementato in un codice in linguaggio C++ che consente un'efficace interfaccia grafica con l'utente. Il programma riproduce lo spazio urbano e consente un monitoraggio dello stato della mobilità in tempo reale utilizzando una rappresentazione spazio-temporale della città. Tale rappresentazione associa a ciascun nodo un cerchio di colore e dimensioni variabili a seconda della popolazione presente sul nodo stesso; la stessa scala cromatica consente di associare a ciascuna strada una misura della popolazione in movimento lungo la strada stessa. I cronotopi "attivi" in un certo momento vengono colorati secondo una scala cromatica che rappresenta l'affollamento mentre i cronotopi non attivi sono colorati in nero. La popolazione in movimento viene quindi variata durante il giorno tenendo conto della calendarizzazione delle attività e della tipologia dei cittadini. In pratica il modello MiM "crea" sin dall'inizio della simulazione tutti gli individui che contribuiscono alla mobilità, ma li introduce gradualmente nel tessuto urbano in base alla loro agenda o abitudini sociali (come ad esempio l'abitudine dei pensionati di uscire presto di casa) riproducendo in tal modo anche i flussi origine-destinazione che sono caratteristici di determinate ore del giorno. La figura 2 riproduce un layout di una simulazione in cui si vede un esempio delle finestre che possono essere aperte dall'utente per colloquiare con il programma. Insieme alla rappresentazione del tessuto urbano è possibile ottenere informazioni su tutti i parametri usati dal programma e sulla situazione simulata. Durante la simulazione il programma elabora automaticamente dei parametri macroscopici quali la distribuzione della popolazione a seconda dei diversi mezzi di trasporto utilizzati, la distribuzione sui diversi cronotopi o la mobilità media dei cittadini in un determinato istante della giornata o integrata su un certo tempo. In ogni istante l'utente può monitorare la situazione riguardo la popolazione in ogni nodo, cronotopo o linea di trasporto pubblico. È possibile anche salvare su file tutti i dati relativi alla simulazione, come pure varie schermate della rappresentazione della città per analisi successive off-line. Il programma permette una visualizzazione tridimensionale dinamica della densità di popolazione nei nodi, nella rete di trasporto urbana e nei cronotopi.

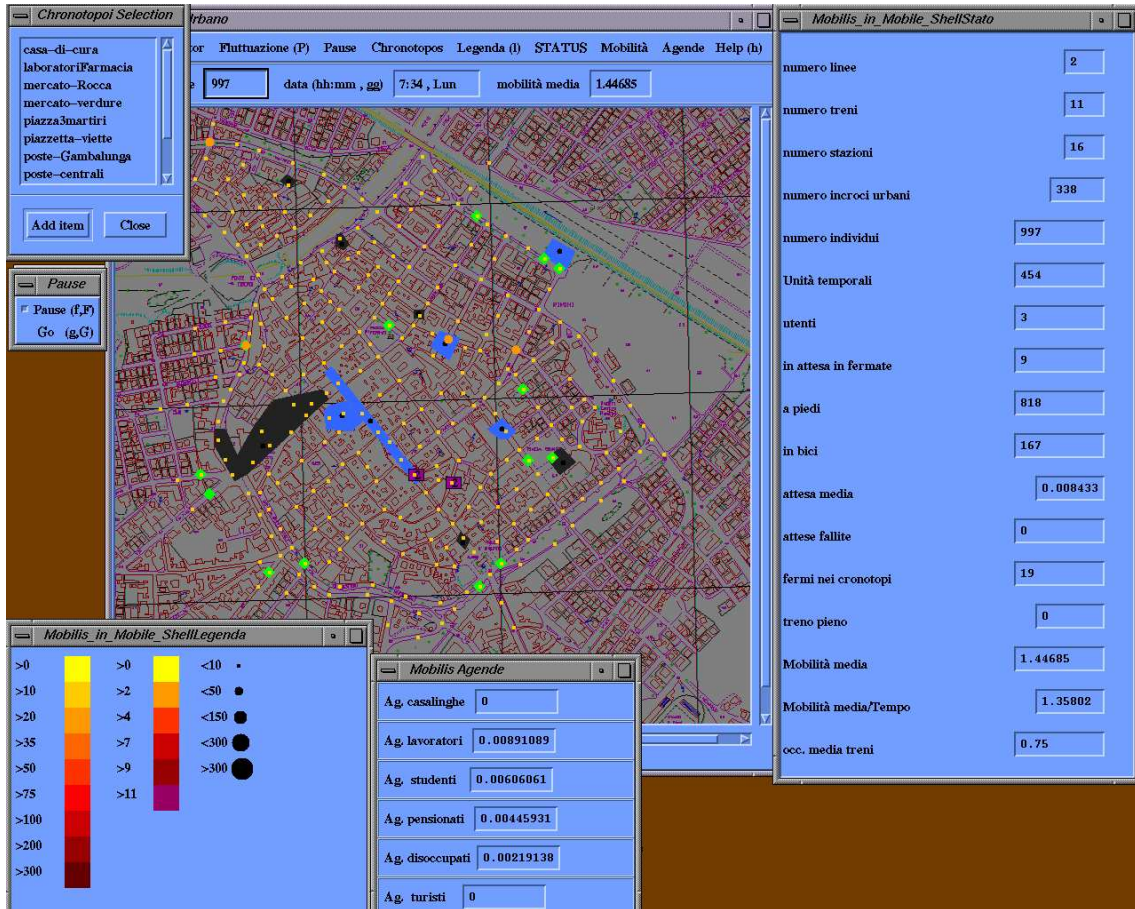


Figura 2: Layout del codice MiM; le finestre aperte mostrano delle grandezze che caratterizzano la simulazione, quali la popolazione presente, le linee di trasporto urbano o la mobilità media, la scala cromatica per la densità della popolazione, l'elenco dei cronotopi e la realizzazione media delle agende.

4 Applicazione al Centro Storico di Rimini.

In collaborazione con il Comune e l'Ordine degli Architetti di Rimini, sono state acquisite informazioni sulla popolazione del centro storico, la distribuzione e la frequentazione dei parcheggi attorno al centro storico, le linee e gli orari dei mezzi pubblici, i flussi pendolari dalla stazione e la popolazione presente nel centro storico durante il giorno. La scelta del comune di Rimini è dovuta da una parte alla struttura stessa della città che presenta un centro storico ben definito con ampie zone pedonalizzate in cui ancora sono presenti molte attività, dall'altra all'interesse degli uffici tecnici ad analizzare l'impatto sulla mobilità nel centro storico della presenza del polo dell'Università degli Studi di Bologna - sede di Rimini - di nuova costruzione.

Nella tabella 1 sono riportati i dati sulla popolazione che contribuisce alla mobilità nel centro storico di Rimini distinguendo tra residenti e non residenti. All'interno di ciascuno strato sociale è stata fatta una divisione tra pedoni e ciclisti supponendo che non vi sia interazione tra le due categorie: un pedone non può diventare un ciclista nel corso della giornata e viceversa. Per i non residenti sono state considerate le diverse "sorgenti" possibili.

RESIDENTI	PERCENTUALI
lavoratori	39
studenti	19
pensionati	28
casalinghe	9
altro ...	5

NON RESIDENTI	PERCENTUALI
in arrivo dalle sorgenti	53
in arrivo coi treni	23
in arrivo in bici	19
in arrivo a piedi	5
turisti	30
pensionati dalla periferia	10
lavoratori dalla periferia	38
studenti dalla periferia	14
casalinghe dalla periferia	5
altro ...	3

Nella figura 3 è mostrata l'area della città di Rimini che è stata considerata evidenziando le fermate degli autobus (quadrati verdi) ed

i cronotopi (zone colorate) che sono state inserite nel modello con la loro calendarizzazione. Notiamo che il Centro Storico ha due confini "naturali" rappresentati dal porto canale (in alto a sinistra), che divide il centro propriamente detto dal Borgo San Giuliano, e la ferrovia (in alto a destra) che separa Rimini da Marina Centro.

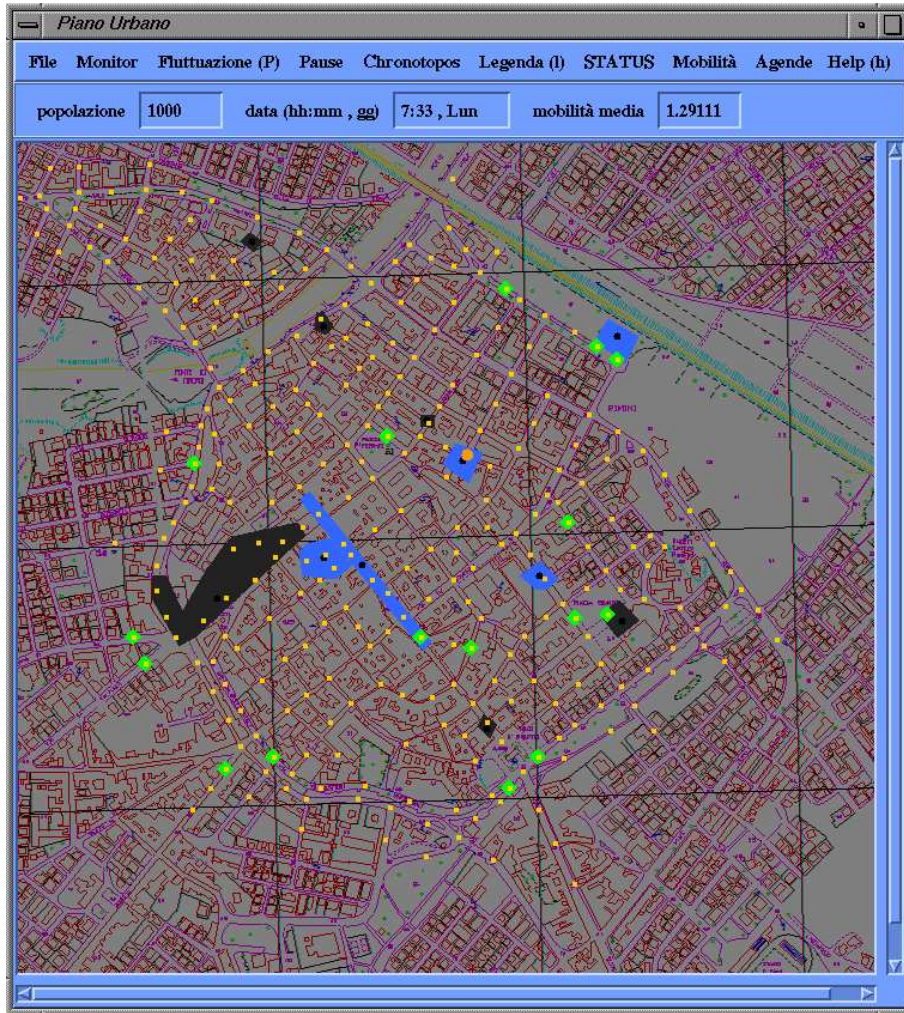


Figura 3: Rappresentazione dell'area di Rimini simulata con il modello MiM comprendente il centro storico ed il Borgo San Giuliano; sono evidenziate le fermate degli autobus (quadrati verdi) e i cronotopi (aree colorate) con il loro centroide; le aree blu rappresentano i cronotopi accesi mentre le aree nere rappresentano i cronotopi spenti.

I resti dell'antica cerchia di mura romane completano la definizione

dell'area del centro storico. Lungo le mura si trovano dei parcheggi per le automobili, che vengono visti dal modello come sorgenti di mobilità pedonale in funzione dei dati di frequentazione dei parcheggi stessi. Allo stesso modo la stazione ferroviaria e le fermate degli autobus che provengono dall'esterno, sono sorgenti per gli individui non residenti. I residenti vengono inizialmente con distribuzione uniforme nel tessuto urbano. La popolazione che contribuisce alla mobilità nel centro di Rimini durante una giornata feriale invernale è stimata dell'ordine di 10.000 individui, divisi equamente tra residenti e non residenti. Le aree cronotopiche del centro di Rimini sono state individuate da un tavolo di esperti ed inserite nel modello con la loro calendarizzazione; di particolare importanza sono l'area del mercato di Piazza Malatesta (che avviene due volte alla settimana), il Corso di Augusto con Piazza Cavour e Piazza Tre Martiri (sede di varie attività commerciali e ricreative), il polo universitario, alcune scuole, la stazione centrale e infine gli uffici postali. All'interno dei cronotopi i cittadini possono fermarsi in determinati punti (corrispondenti alle vere e proprie destinazioni dei cittadini) uscendo temporaneamente dal tessuto urbano per ricomparire dopo un certo tempo. Qualora un cittadino abbia terminato la sua agenda comincerà a sentire un'attrazione verso la propria abitazione, se residente in città, o in generale il luogo di provenienza (parcheggio, stazione o un'area esterna della città) se non residente. Tale attrazione cresce con il passare del tempo tenendo conto del periodo medio che una certa classe sociale dedica alle attività fuori casa. Nella figura 4 riportiamo una rappresentazione della distribuzione della popolazione e dei flussi in movimento nel centro storico di Rimini. La grandezza dei cerchi su ciascuno e la scala cromatica (dal giallo al rosso scuro) consentono di individuare le zone di maggiore densità e flusso. Notiamo che i maggiori addensamenti si verificano nell'area universitaria e nei pressi di una scuola media dove è presente un importante parcheggio scambiatore e alcune fermate di autobus. Nell'area di Piazza Malatesta abbiamo una concentrazione di popolazione notevole per la presenza del mercato rionale ambulante: il colore viola del cronotopo indica un sovraffollamento dell'area. La rappresentazione dinamica della mobilità consente all'utente di capire in che modo la popolazione si muove ed utilizza i servizi della città.

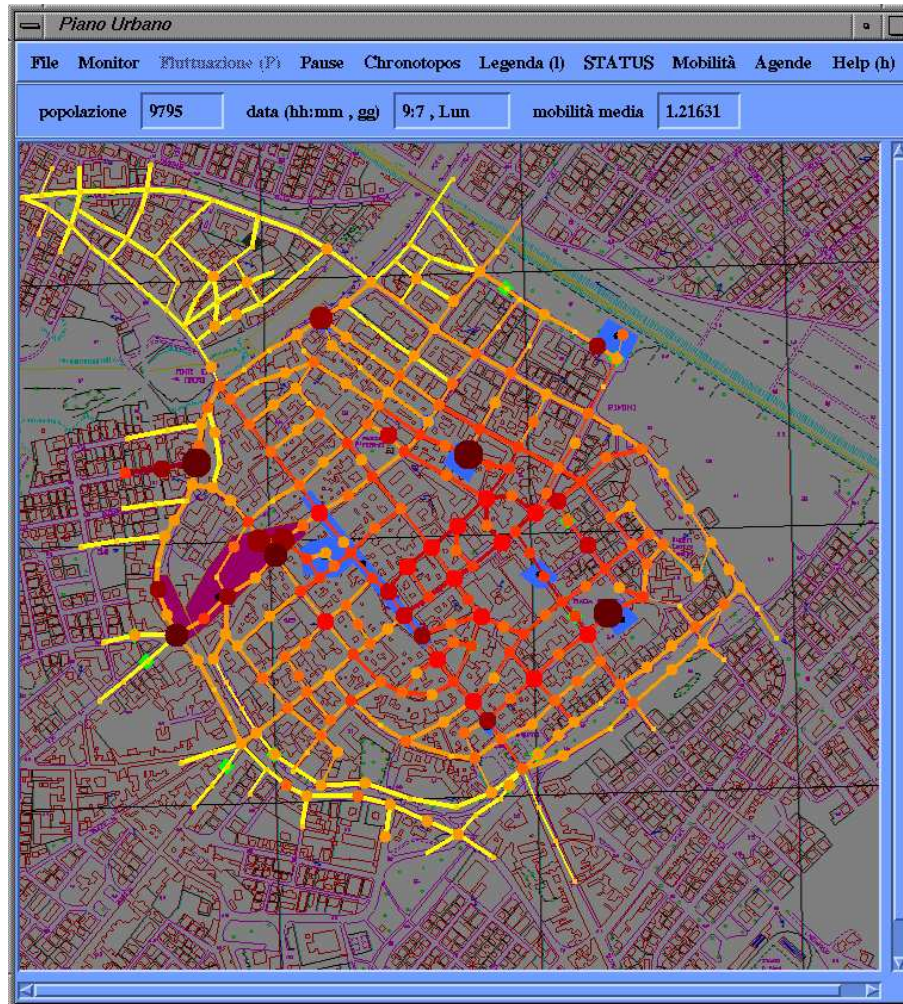


Figura 4: Rappresentazione della densità di popolazione e relativi flussi di movimento nel Centro Storico di Rimini ottenuta da una simulazione del modello MiM in un giorno feriale; la scala cromatica (dal giallo al rosso scuro) e l'area dei cerchi associati a ciascun nodo sono proporzionali alla densità di popolazione. I cronotopi attivi sono evidenziati in color azzurro chiaro.

Le simulazioni del modello riproducono la distribuzione dei cittadini nel tessuto urbano in funzione dell'utilizzo delle attività insediate. I risultati ottenuti sono in buon accordo con i dati empirici a disposizione del comune di Rimini, permettendo una prima validazione del modello. A titolo di esempio abbiamo simulato due situazioni ipotetiche caratterizzate dalla presenza di due differenti popolazioni nel centro storico equipartite tra le varie categorie sociali. I cittadini devono visitare da 1 a 4 cronotopi nelle loro agende e la simulazione inizia alle 7:20 del mattino e termina alle 24.00 di sera. Per una visualizzazione degli effetti di aumento della popolazione sulla mobilità e sull'uso della città, abbiamo scelto di rappresentare la frazione dei cittadini che hanno deciso di lasciare l'area del centro o rientrare a casa ad una certa ora del giorno dopo aver completato la propria agenda, o avendo rinunciato a visitare qualche cronotopo. Il primo caso si riferisce ad una situazione "normale" con 8.000 individui che contribuiscono alla mobilità, nel secondo caso il numero di individui è artificialmente ridotto della metà. Nella figura 5 sono riportate in un istogramma per intervalli di 3 ore e 20 minuti, la frazione degli individui che hanno completato la loro agenda all'ora considerata (in rosso) e la frazione degli individui che hanno "deciso" di non portare a termine la loro agenda (in blu) per il primo caso (sinistra) e per il secondo caso (destra). La maggior parte dei cittadini considerati nella simulazione non svolge con orari di lavoro rigido, per cui è dominante la mobilità OD, ma attività che consentono una gestione flessibile degli orari. Il confronto qualitativo delle due figure mostra come la percentuale dei cittadini che non riescono a compiere la loro agenda sia maggiore nel primo caso che nel secondo. La seconda osservazione è che, nel caso di maggiore popolazione, il tempo impiegato a svolgere le proprie attività aumenta per i fenomeni di affollamento; queste terminano non più nella fascia 10:40/14:00 ma in gran parte nella fascia 14:00/17:20. Un confronto più quantitativo con dei dati sperimentali rimane necessario per poter compiutamente validare il modello e rendere le simulazioni predittive.

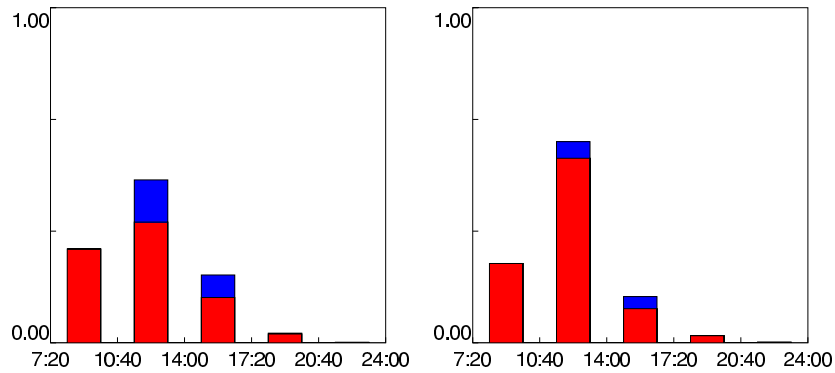


Figura 5: Rappresentazione mediante un istogramma della frazione di individui (in rosso) che escono dalla simulazione della mobilità nel centro storico di Rimini avendo completamente realizzato la loro agenda ed (in blu) quelli che non sono riusciti a farlo in funzione dell’orario di uscita. Il grafico a sinistra si riferisce ad una simulazione con 8.000 cittadini, mentre il grafico a destra si riferisce ad una simulazione con 4.000 cittadini.

5 Conclusioni

La nascita della mobilità “zigzagante” caratteristica delle moderne metropoli ha messo in discussione i modelli OD basati su una visione macroscopica delle dinamiche cittadine. Il suggerimento di urbanisti e sociologi che l’organizzazione temporale dell’agenda del singolo cittadino in relazione con la calendarizzazione dei servizi e delle attività e insediate nel tessuto urbano sia alla base delle nuove forme di mobilità è stata recepita nel modello MiM. Le prime simulazioni di situazioni realistiche di tale modello hanno messo in luce le potenzialità di riprodurre fenomeni di mobilità asistemica mediante l’introduzione delle forze cronotopiche e la formulazione probabilistica dei meccanismi decisionali del singolo cittadino.

6 Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la Prof.ssa Sandra Bonfiglioli e il gruppo di ricerca del LabSat del DiAP del Politecnico di Milano e il Prof. Guido Martinotti della facoltà di Sociologia dell’Università Milano-

Bicocca per le molte stimolanti discussioni che hanno contribuito allo sviluppo del MiM.

Riferimenti bibliografici

- [1] Martinotti G.(1997) *Metropoli: la nuova morfologia sociale della città*, Il Mulino edit., Bologna.
- [2] Bonfiglioli S. (1997) *Le politiche dei tempi urbani*, in “Il tempo e la città fra natura e storia. Atlante di progetti sui tempi della città” a cura di S.Bonfiglioli e M.Mareggi, Urbanistica Quaderni INU, Roma, p. 9.
- [3] Giorgini B. (1997) *Il tempo del caos*, in “Il tempo e la città fra natura e storia. Atlante di progetti sui tempi della città” a cura di S.Bonfiglioli e M.Mareggi, Urbanistica Quaderni INU, Roma, p.325.
- [4] Bonfiglioli S. (1997) *Che cos'è un cronotopo*, in “Il tempo e la città fra natura e storia. Atlante di progetti sui tempi della città” a cura di S.Bonfiglioli e M.Mareggi, Urbanistica Quaderni INU, Roma, p. 90.
- [5] Stabilini S. (2001) *Cronomappe*, Territorio, fascicolo 18, Franco Angeli edizioni.
- [6] Bazzani A., Giorgini B., Servizi G., Turchetti G., (2001) *Mobilis in Mobile: a probabilistic and chronotopic model of mobility in urban spaces*, Biology Forum, v. 94, n.3, p. 499.
- [7] Bazzani A., Giorgini B., Servizi G., Turchetti G.,(2003) *A Chronotopic Model of Mobility in Urban Spaces*, Physica A, v. 325 p. 517.
- [8] (1995) *Il tempo e la città tra natura e storia: descrizione dei cronotopi urbani e politiche degli orari.*, progetto del MURST, coord.naz. C.Stevan.
- [9] (1997) *Dinamiche urbane e mappe cronotopiche.*, progetto MURST, coord. C.Stevan.
- [10] (1999) *Qualità della vita nelle metropoli di terza generazione.*, progetto del MURST, coord. naz. G.Martinotti.
- [11] Servizi G., Bazzani A., Giorgini B., Turchetti G. (2001) *Method for simulating mobility in an urban area.* brevetto europeo 00830868.6-2215.
- [12] Batty M. (2003) *Agent-based pedestrian modelling* in “ Advance Spatial Analysis” a cura di M.Batty e P.A.Longley, ESRI Press, Redlands, CA.

- [13] Ebeling W., Schweitzer F. (2002) *Self-organization, active brownian dynamics and biological applications*. Nova Acta Leopoldina, in stampa, disponibile al sito internet: <http://arXiv.org/abs/cond-mat/0211606>.
- [14] Volkenstein M.V. (1994) *Physical approach to biological evolution* with a foreword by M. Eigen, Springer, Berlin.
- [15] Batty M. (2001) *Agent-based pedestrian modelling*, Environment and Planning B, v.28, p. 321.
- [16] (2001) *Cellular automata and urban simulation: where do we go from here?* Editorial, Environment and Planning B, v.28, p. 163.
- [17] Ebeling W., Schweitzer F. (2001) *Swarms of Particle Agents with Harmonic Interactions*, Theory in Biosciences, v. 120/3-4, p. 207.
- [18] Helbing D., Molnár P. (1995) *Social force model for pedestrian dynamics*. Physical Review E, v.51, p. 4282.