

Multi-agenti e GIScience

Giancarlo Macchi Jánica (a)

(a) Laboratorio di Geografia, Università degli Studi di Siena

Premessa

Scopo del presente testo è quello di illustrare il contributo originale che la 'simulazione' per agenti può avere per la geografia attraverso dell'integrazione con i diversi metodi della GIScience. Oltre a questo, ci si propone in questa sede di esaminare le implicazioni che questa tecnologia può avere nell'ambito dello studio dei paesaggi e del territorio (O'sullivan et alii 2011). Nelle prossime pagine si cercherà dunque di introdurre il percorso applicativo dei *multi agent systems* (MAS), costruendo uno schema comparativo con tecniche e metodi consolidati nell'ambito dell'analisi spaziale in modo da evidenziare differenze, benefici e potenzialità di questa tecnologia.

Nel corso dell'ultimo trentennio, il tema della simulazione per agenti ha acquistato progressivamente maggiore popolarità nell'ambito delle scienze applicate (Epstein 1999; Gilbert. Terna 2000; Clifford 2008). Benché i MAS si presentino come una tecnologia che ha progredito velocemente, si tratta comunque di un settore che ha guadagnato all'interno del dibattito epistemologico in geografia una rilevanza limitata (Heppenstall et alii, 2011; Macchi Jánica (2016).

I MAS possono essere definiti come modelli adattativi di simulazione digitale di tipo spaziale (Lansing 2003). Ogni MAS è fondato appunto su agenti, che possono essere descritti come entità autonome, definiti attraverso una serie di algoritmi che emulano il comportamento, i meccanismi di interazione e la fisiologia di organismi all'interno della realtà simulata. In altri termini – forse anche meno precisi – gli agenti sono rappresentazioni digitali di organismi o entità indipendenti. Ne consegue che, in questi modelli, gli agenti siano autonomi e direttamente responsabili delle forme di interazione, percezione e comportamento. I tre aspetti sopracitati sia basano sia su attributi interni all'agente, sia sull'interpretazione dei segnali sensoriali provenienti dall'ambiente esterno e dei suoi attributi (Tang, Bennett 2010). Gli agenti possono essere utilizzati nella simulazione di organismi caratterizzati non solo da una capacità decisionale, ma anche da necessità e attributi come età o stato di salute (Macchi Jánica 2016).

Il potenziale dei MAS risiede nella possibilità di simulare dinamiche sociali di tipo spaziale in modo semplice grazie all'integrazione con un ambiente simulato (An et Alii 2005, pp. 54-56; Tang, Bennett 2010, pp. 1131-1133). La complessità che caratterizza questi modelli è proprio l'autonomia della quale dispone ogni agente. Il principio di autonomia degli agenti è l'attributo chiave che conferisce ai MAS la capacità di ricreare processi complessi decentralizzati (Epstein 1999, 41-43). Le simulazioni di questo tipo possono continuare a

evolvere autonomamente finché siano presenti le condizioni per la sopravvivenza dell'ultimo agente.

Le premesse appena illustrate consentono di comprendere che il risultato tipico all'interno di una simulazione per agenti sia caratterizzata sempre dalla sua imprevedibilità: le qualità dei MAS determinano simulazioni caratterizzate da non-linearità, auto-organizzazione e adattamento dei sistemi (Macchi Jánica 2016). Ogni ciclo di vita di un dato MAS è un caso unico e irripetibile.

Dall'interazione con il proprio ambiente, un agente è in grado di acquisire nozioni e di scambiarle all'interno di uno schema sociale.

Ci sono sostanzialmente tre grandi questioni che costituiscono la giustificazione all'utilizzo degli MAS in campo geografico. A) Non ripetibilità dei fenomeni sociali. Gran parte delle scienze umane e sociali si basa necessariamente su una serie di teorie non verificabili in laboratorio (Popper 1995, pp. 207-210).

La geografia non fa eccezione. B) Complessità del rapporto organismo-ambiente. In campo geografico, queste difficoltà divengono ulteriormente complesse dato che la contrapposizione tra i fondamenti del determinismo geografico e il possibilismo rimangono sostanzialmente irrisolti. C) complessità sociale. Anche dalla prospettiva del geografo, i fenomeni sociali acquistano significatività solo se si intraprende una visione organica e di insieme. Gli strumenti a disposizione del geografo non hanno fino a oggi fornito mezzi sufficienti per compensare la lettura e l'interpretazione lineare della realtà. Non lo ha fatto la cartografia (Gambi 1973, pp. 177-178), così come nemmeno la sua evoluzione digitale nei GIS.

Lo spazio degli ABM

Uno degli elementi di simulazione attraverso gli MAS è lo spazio (Tang, Bennett 2010, pp. 1130- 1134). Coerentemente con la realtà fisica, dove le relazioni tra enti e organismi danno forma allo spazio (Lefevre 1978), anche nella dimensione virtuale l'interazione fra gli agenti li rende direttamente responsabili e partecipi nel processo di costruzione del proprio spazio e nella definizione delle proprie scale di interazione reciproca (Clifford 2007, p. 679).

Lo spazio nasce, si struttura e si evolve solo dopo l'avvio del ciclo del tempo e l'inizio dell'interazione fra gli agenti. Negli stadi di progettazione di un MAS è compito dello sviluppatore definire l'estensione della superficie e risoluzione dello spazio; e anche questi attributi conservano un valore relativo dato che sono condizionati dalla densità di agenti e dalla loro velocità. Possiamo concludere dunque che lo spazio degli agenti è di fatto definito dagli agenti stessi e dalle loro forme di interazione (Parry, Bithell 2011, pp. 281-282, 295-297).

Dal momento che gli agenti sono entità indipendenti, lo spazio che questi sono strutturano è conseguentemente uno non prevedibile. Alcuni fattori che condizionano la non prevedibilità della struttura spaziale all'interno di un MAS sono le caratteristiche degli agenti, quali densità, reciproco condizionamento tra attributi o l'interazione spaziale fra essi. Data la natura indipendente delle entità, e la costante evoluzione dei sistemi. Lo spazio nasce insieme alla comparsa degli agenti e insieme a questi si evolve. Lo spazio all'inizio del ciclo di vita sarà molto diverso da quello che si registrerà alla fine. A rendere lo spazio e la sua funzione dentro gli MAS ancora più rilevante è il fatto che

l'evoluzione tecnologica degli ambienti per lo sviluppo delle simulazioni si è rapidamente adeguato alle necessità di integrare caratteristiche topografiche (Brown et alii 2005, pp. 25-27). La maggior parte di ambienti per lo sviluppo di MAS conta al suo interno su estensioni geografiche che consentono l'importazione e la gestione di cartografia tematica raster e vettoriale che può essere sotto varie forme usata per attribuire valori e caratteristiche specifiche alle unità spaziali (Torrens, Benenson 2005, pp. 394-395). Si tratta di una condizione che consente di progettare contesti diversi da modelli caratterizzati da uno spazio isotropico, allargando ulteriormente le possibilità applicative degli MAS in ambito geografico (Hargrove, Westervelt 2012).

Una delle caratteristiche salienti di qualsiasi MAS è la variabile tempo. Le simulazioni hanno una durata e un ritmo che dettano il ciclo di evoluzione, nel corso del quale le dinamiche prendono forma e arrivano a un dato stadio di maturazione. Oltre all'analisi e spiegazione dei risultati finali di un certo sistema, gli MAS offrono informazioni essenziali sul come si raggiunge tale traguardo

MAS e aree di pertinenza territoriale

Al fine di valutare l'applicabilità dei MAS ed evidenziare eventuali differenze con gli strumenti di analisi spaziale tradizionali, è stato selezionato come prototipo applicativo l'attribuzione spaziale dell'area di pertinenza dell'insediamento umano. Nel caso dell'utilizzo di uno spazio euclideo di tipo isotropico, il risultato sarà sempre un paesaggio di Vonoroi o quello dei poligoni di Thiessen (Vagaggini, Dematteis 1976). A questo schema semplificato si sono affiancate nuove forme di analisi fondate sulla produzione del *cost-surface analysis* o *cost allocation* (Stucky 1998) che hanno la caratteristica di produrre aree di pertinenza irregolari caratterizzate principalmente da una superficie irregolare prodotta principalmente con modelli numerici delle caratteristiche del terreno che fungono a loro volta da modelli di costo di trasporto (Van Leusen 1998).

Nei casi del computo delle aree di pertinenza, sia su uno spazio isotropico che in quello basato sul modello di costo, la logica dei GIS è quella della produzione di un risultato sulla base di funzioni di tipo algebrico, geometrico o topologico. Nei GIS le aree di pertinenza sono dedotte sulla congettura della più efficiente funzione di distanza (isotropica o an-isotropica) dalle posizioni degli insediamenti. In un contesto di analisi raster, un dato algoritmo dovrà semplicemente computare distanza o costo di trasporto verso gli insediamenti vicini in modo da determinare a quale area di pertinenza tale pixel appartenga. Il modello MAS invece simula l'evoluzione di un processo di interazione con l'ambiente. Gli agenti saranno responsabili del processo di appropriazione di una data porzione di territorio. Analogamente alla realtà, l'area di pertinenza risulta essere il risultato di un processo di occupazione e controllo sociale del territorio e non di una spartizione condotta su principi geometrici. Nel caso degli MAS, non sarà un algoritmo a computare per ogni pixel la distanza più breve a un insediamento, ma, si simulerà un gruppo di agenti che, partendo da un dato insediamento, si approprieranno progressivamente del territorio. Il Modello per Agenti per la Definizione delle Aree di Pertinenza (d'ora in poi MADAP) è stato realizzato per studiare elementi e forme di interazione di tipo

agente-agente e agente-territorio nel processo di definizione delle aree di pertinenza attraverso la simulazione di processi di controllo del territorio. Come caso di studio è stato scelto il quadrante relativo all'alta valle dell'Arno a nord della città di Arezzo, un'area con un'estensione di XXX km² che copre il suolo di 16 comuni.

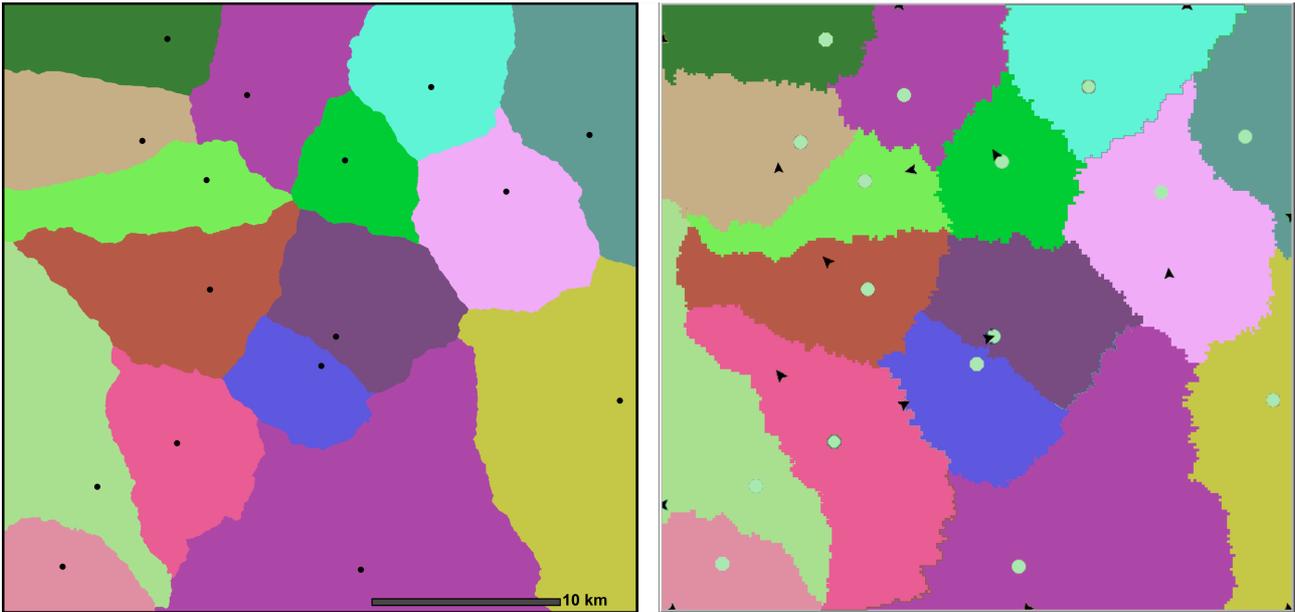
Lo sviluppo di MADAP è stato realizzato con l'ambiente NetLogo 6.0. Si tratta essenzialmente di un *Rapid Application Development* (RAD) sviluppato dal Center for *Connected learning and Computer-Based Modeling* della *Nothwestern University* (BANOS, LANG, MARILLEAU 2016). Il movimento degli agenti all'interno del MADAP è regolato da un modello di costo. Al fine di poter integrare il modello di costo all'interno del MAS, è stata utilizzata l'estensione GIS di NetLogo.

La logica del MADAP è stata strutturata sulla base delle seguenti regole:

- Il modello parte dalla rete dei capoluoghi dei 16 comuni dell'area di studio;
- ogni insediamento dà vita a un primo agente;
- l'agente è legato e risiede solo nel proprio insediamento;
- gli agenti hanno libertà di movimento e possono circolare sul territorio sulla base della propria disponibilità di energia;
- simulando uno schema di nutrizione, una volta esaurita la propria disponibilità di energia, gli agenti tornano sempre al proprio capoluogo per riapprovvigionarsi di nuova energia;
- ogni agente può conquistare definitivamente qualsiasi pixel;
- se un dato pixel non è stato ancora conquistato da altri agenti, l'agente lo reclama e lo assegna al proprio insediamento;
- se l'agente incontra un pixel già conquistato da un altro capoluogo, l'agente gira di 180° e prosegue liberamente il suo cammino;
- il consumo di energie degli agenti varia sulla base del modello di costo.

MADAP parte dalla congettura che questa prima simulazione per agenti è in grado di produrre un primo risultato simile, o quanto meno compatibile, con i risultati prodotti con un modello GIS di *cost allocation*. A questa prima versione (A) del MADAP è stata fatta seguire una seconda versione (B) che presentava una sola variante:

- Gli insediamenti avrebbero dato vita a un nuovo agente residente ogni volta che la superficie dell'area di pertinenza fosse cresciuta di 2500 pixel. L'intero processo metodologico è stato condotto sulla base della distinzione tra quello che, in linea teorica, un GIS è in grado di fare da quello che un GIS non è in grado di fare. Anche se la meccanica di determinazione delle aree di pertinenza erano sostanzialmente differenti, la prima versione del MADAP avrebbe dovuto produrre un risultato compatibile con le operazioni di *cost allocation*. La diversità consiste nel fatto che le azioni GIS prevedono un computo dal pixel raster verso gli insediamenti. Al contrario, la determinazione attraverso MAS parte dall'insediamento verso il pixel da conquistare. La variante proposta per la seconda versione del MDAP introduce un elemento che il GIS non è in grado di gestire. Infatti, in questo caso, la variante proposta porta obbligatoriamente in superficie due variabili significative: tempo e popolazione. Come si sarebbero manifestate le aree di pertinenza dei centri facilitati in termini di percorribilità? Avrebbero favorito la proliferazione della propria popolazione?



ArcGIS *cost-allocation*

Netlogo MADAP (A)

Figura 1 –sinistra: Risultato modello MADAP A; destra: Risultato modello MADAP B.

Risultati

Uno degli aspetti di maggiore rilievo nella simulazione dell'interazione tra organismi e ambiente è la produzione di risultati compatibili con il modello dati della cartografia digitale (Torrens, Benenson 2005, pp. 395-397). Di fatto, l'ambiente di simulazione equivale a una carta geografica; con la differenza, rispetto alle rappresentazioni tradizionali, che si tratta di una carta attiva. La prima versione di MADAP (modello A) ha permesso di ottenere una geografia delle aree di pertinenza in larga misura sovrapponibile a quella ottenuta con il metodo della *cost-allocation* (vedi figura 2.a). I risultati di questo modello confermano le premesse esposte precedentemente: gli MAS sono in grado di riprodurre i risultati che si possono ottenere con algoritmi convenzionali in ambito GIS. La figura 2 illustra infatti il confronto tra le aree di pertinenza ottenute con il metodo della *cost allocation* e quelle ottenute con un procedimento basato su simulazione artificiale per agenti del modello A. Anche se il processo logico e metodologico per l'attribuzione di un pixel a un dato insediamento risulta essere differente, si ottiene un risultato in larga misura sovrapponibile. Tale similitudine è principalmente ascrivibile al peso del modello di costo. In questo caso, il confronto di due metodologie basate su principi così distanti (uno deduttivo e uno induttivo) e la vicinanza dei risultati ha consentito la conferma reciproca della validità tra modelli di costo e ABM. Ma, d'altra parte, questo non era lo scopo dello studio qui proposto. A differenza del primo caso, come verrà detto nelle conclusioni, la differenza più marcata è stata ottenuta con il modello (B) dove è stata prevista la proliferazione della popolazione di agenti. La seconda versione del MADAP porta alla definizione di un quadro completamente distinto e, se si vuole, inatteso. L'introduzione della variabilità della popolazione, determina una dinamica completamente distinta nella formazione dei paesaggi di pertinenza. Infatti, l'approccio qui discusso porta a rilevanti novità. In primo luogo si assiste a uno schema che attribuisce maggiore valore all'equilibrio della relazione organismo-ambiente, dato che quel rapporto riguarda più

l'interazione di una popolazione nel suo insieme che non l'attività univoca di un esemplare. Si tratta di un elemento fondamentale di qualsiasi ragionamento geografico, ma che naturalmente viene necessariamente trascurato in operazioni cartografiche di tipo geometrico o algebrico, o nel modello A, dove ad operare a livello spaziale era un unico agente.

La versione B di MADAP mette in evidenza soprattutto il ritmo diverso con il quale si procede all'incorporazione o appropriazione di nuove aree. Come si può osservare dalla figura 3, il ritmo di crescita della popolazione viene condizionato dalle caratteristiche del terreno. L'introduzione di un principio secondo il quale la popolazione si evolve a ritmi distinti, dà forma soprattutto a un tempo non lineare e comunque diverso da insediamento a insediamento. Questa differenziazione dei cicli individuali di formazione delle aree di pertinenza dà forma a un nuovo paesaggio che differisce sostanzialmente dai due modelli illustrati nella figura 2. Occorre inoltre sottolineare anche come questo metodo offra l'opportunità di distinguere i ritmi storici di sviluppo spaziale delle aree di pertinenza (vedi la sequenza figura 3). Sempre in questa logica, il metodo alla base del modello B introduce un elemento che considero di grande importanza per questo tipo di applicazioni. Infatti, l'introduzione di un tempo differenziato ha permesso di evidenziare non solo il ritmo di appropriazione dello spazio da parte dei singoli insediamenti, ma anche di rilevare, a livello cartografico, lo spazio neutro o la geografia delle aree remote che difficilmente, anche dopo stadi avanzati dei cicli, non erano stati reclamati da nessun insediamento. Si tratta in definitiva di meccanismi che consentono di differenziare questi risultati dalla logica binaria del paesaggio di Voronoi. Infatti, la sequenza illustrata nella figura 3 consente di evidenziare non solo le aree remote e di difficile appropriazione, ma soprattutto il livello o grado di controllo che eventualmente gli insediamenti possono esercitare sul proprio territorio.

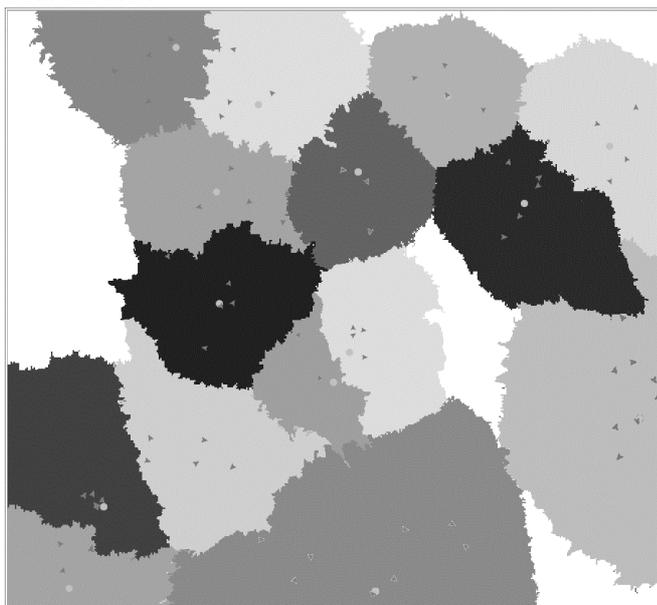


Figura 2 – Risultato MADAP B con introduzione di una popolazione variabile.

Conclusioni

Obiettivo di questo contributo è stato quello di valutare tipo ed entità dell'apporto originale degli MAS quale metodo scientifico nel campo della geografia umana. Come parametro di giudizio è stato proposto una comparazione diretta tra MAS e altri strumenti di analisi già consolidati. Le due applicazioni illustrate in queste pagine hanno consentito dunque di trarre una serie di iniziali conclusioni. Il primo elemento che occorre sottolineare è che il processo di simulazione presenta un vantaggio proprio perché – a differenza della geometria e la topologia GIS – gli MAS sono in grado di illustrare o offrire elementi per la modellazione delle dinamiche storiche. I metodi d'analisi spaziale sono utili nel computo di schemi basati su una logica deduttiva di tipo geometrico, ma non sono altrettanto in grado di modellare percorsi evolutivi. La presenza del tempo nella struttura epistemologica e nei processi simulati determina perciò delle differenze che rendono possibili applicazioni e scenari impraticabili nel campo delle analisi digitali nelle piattaforme GIS. Il tempo, inteso come operatore o funzione in grado di condizionare le azioni e i comportamenti degli agenti, consente di emulare processi spaziali infinitamente più complessi rispetto alla realtà a-temporale dei sistemi GIS. Nel secondo modello di simulazione (modello B), ad esempio, agli agenti si riproducevano con il progressivo incremento delle aree di pertinenza. Conseguenza di questo è stato che insediamenti collocati in luoghi più favorevoli in termini di topografici, registrarono un aumento molto più veloce della popolazione di agenti. A sua volta, un maggiore numero di agenti determinò una più rapida crescita delle aree di pertinenza. Il risultato è stato dunque un paesaggio delle aree di pertinenza completamente nuovo. Se a questo elemento si somma la capacità di apprendimento degli agenti, come già dimostrato altrove (Macchi Jánica 2016), viene a delinearsi un quadro completamente distinto. Infatti il contatto con il paesaggio è sempre un percorso di apprendimento. Questo è particolarmente vero per le scienze sociali, dove il sapere collettivo risulta essere uno degli elementi più significativi del patrimonio intangibile degli organismi collettivi e dunque uno dei più difficili da simulare. Nonostante le difficoltà che si possono incontrare nel percorso iniziale di utilizzo di una metodologia tanto elementare quanto ostica, gli MAS rappresentano un nuovo orizzonte per la geografia proprio perché consentono di concepire e trattare il tempo e lo spazio come operatori reali.

Bibliografia

- An L., Linderman M., Qi J., Shortridge A., Liu J. (2005), "Exploring Complexity in a Human-Environment System: An Agent-Based Spatial Model for Multidisciplinary and Multiscale Integration", *Annals of the association of American geographers*, 95: 54-79.
- Banos A, Lang C., Marilleau N. (2016), *Agent-based Spatial Simulation with NetLogo*, Elsevier, Amsterdam.
- Clifford N.J. (2008), "Models in geography revisited", *Geoforum*, 39:2 675-686.
- Epstein J.M. (1999), "Agent-based computational models and generative social science", *Complexity*, 4:5 41-60.
- Gambi L. (1973), *Una geografia per la storia*, Einaudi, Torino.

- Gilbert N., Terna P. (2000), "How to build and use agent-based models in social science", *Mind & Society*, 1:1, 57-72.
- Hargrove W.W., Westervelt, J.D. (2012), "An Implementation of the Pathway Analysis Through Habitat (PATH) Algorithm Using NetLogo", in Westervelt, J.D., Cohen G.L. (a cura di), *Ecologist-Developed Spatially-Explicit Dynamic Landscape Models*, Springer, New York, 211-222.
- Heppenstall, A.J., Crooks, A.T., See, L.M., & Batty, M. (2011), *Agent-based models of geographical systems*, Springer Science & Business Media, New York.
- Lansing J.S. (2003), "Complex adaptive systems", *Annual review of anthropology*, 32:1, 183-204.
- Lefebvre H. (1978), *La produzione dello spazio*, Moizzi, Milano.
- Macchi Jánica G. (2016), "Agent-Based Models in campo geografico", *Trame nello Spazio*, 7: 43-50.
- O'sullivan D., Millington J., Perry G., Wainwright J. (2011), "Agent-based models—because they're worth it?", in Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (a cura di.), *Agent-based models of geographical systems*, Springer Science & Business Media, New York, 109-123.
- Parry H.R., Bithell M. (2011), "Large scale agent-based modelling: A review and guidelines for model scaling", in Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M., Batty M. (a cura di.), *Agent-based models of geographical systems*, Springer Science & Business Media, New York, 271-308.
- Popper K.R. (1995), "Modelli, strumenti e verità: lo status del principio di razionalità nelle scienze sociali", in Popper K.R., *Il mito della cornice*, Bologna, Il Mulino, 207-245.
- Stucky, J.L.D. (1998), "On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on digital elevation models", *International Journal of Geographical Information Science*, 12:8, 891-905.
- Tang W., Bennett D.A. (2010), "The explicit representation of context in agent-based models of complex adaptive spatial systems", *Annals of the Association of American Geographers*, 100:5 1128-1155.
- Torrens P.M., Benenson I. (2005), "Geographic automata systems", *International Journal of Geographical Information Science*, 19:4 385-412.
- Vagaggini V., Dematteis G. (1976), *I metodi analitici della geografia*, La Nuova Italia, Firenze.
- Van Leusen M. (1999), "Viewshed and cost surface analysis using GIS", *BAR International Series*, 757: 215-224.