

Parte I

Metodi d'indagine del tessuto urbano consolidato e stimoli operativi per la realtà di Limbiate

1. L'analisi morfologico – strutturale degli insediamenti urbani

1.1. La ricerca di nuove modalità estimative del tessuto urbano consolidato

L'interesse per adottare più accurate stime della realtà urbana appare conseguenza dell'introduzione del concetto di "*governo del territorio*", sollecitato dalla riforma intervenuta in Lombardia attraverso la Lr. 11 marzo 2005, n. 12: servono, in un contesto siffatto, nuovi modelli di trattamento dei dati urbani per spiegare dinamiche e fenomeni sempre meno palesi e più complessi dei momenti in cui sembrava sufficiente la "regolazione" dell'urbanistica tramite Piano "regolatore" generale, al posto del più articolato (e verosimilmente più efficace) Piano di "governo" del territorio comunale che la Lr. 12/2005 ha introdotto nell'ordinamento.

E, che la situazione pretenda tutt'affatto differenti modalità analitiche, lo attesta l'introduzione nell'art. 3 della legge 12 di nuovi strumenti per il coordinamento e l'integrazione delle informazioni: il c. 1 in effetti dispone che "*la Regione, in coordinamento con gli enti locali, cura la realizzazione del Sistema Informativo Territoriale integrato, al fine di disporre di elementi conoscitivi necessari alla definizione delle scelte di programmazione generale, settoriale e di pianificazione del territorio e all'attività progettuale. Il Sit è fondato su basi di riferimento geografico condivise tra gli enti medesimi e aggiornato in modo continuo. Gli elaborati dei piani e dei progetti approvati dagli enti locali, inseriti sulle basi geografiche fornite dal Sit, vengono ad esso conferiti in forma digitale per ulteriori utilizzazioni ai fini informativi*"¹.

Tra gli studi generatori di fertili contributi nell'analisi urbana, un buon ruolo è ricoperto dalla cultura americana e anglosassone: a partire dall'immagine della città di Kevin Lynch, passando per le analisi di Michael Batty su frattali, automi cellulari e sistemi multiagente, per arrivare alla Space Syntax studiata da Bill Hillier, importante è il repertorio di tecniche e strumenti innovativi disponibili: i paragrafi a seguire approfondiscono i risultati e le tecniche sviluppate in particolare da Bill Hillier e da Michael Batty, di qualche interesse per la loro riversabilità nell'analisi della forma urbana di Limbiate.

1.1.1. Bill Hillier e la Space Syntax

Fra le nuove tecniche estimative elaborate dalla tradizione anglosassone s'inserisce per la prima volta, nella seconda metà degli anni ottanta, la nozione di *Space Syntax* per iniziativa di Bill Hillier² (poi rivisitata da diversi autori nel tempo) che definisce "*sintassi urbana*" quel complesso di oggetti elementari, relazioni e applicazioni in grado di combinarsi per formare una struttura di regole: "*Space syntax is a set of techniques for the representation, quantification and interpretation of spatial configuration in buildings and settlements. Configuration is defined in general and, at least, the relation between two spaces taking into account a third, and, at most, as the relations among spaces in a complex taking into account all other spaces in the complex. Spatial configuration is thus a more complex idea than spatial relation, which need invoke no more than a pair of related spaces*"³.

Lo spazio urbano è dunque definito come "*matrice attiva dei processi insediativi*"⁴, come luogo di incontro fra il layout fisico della città e le relazioni spaziali che avvengono al suo interno, e in tal senso, la sintassi investirà lo studio dello spazio urbano che diviene, di conseguenza, l'oggetto analitico privile-

¹ In aggiunta, il c. 2, art. 3 introduce il fatto che: "*tutti i dati raccolti dal Sit sono pubblici e possono essere richiesti da chiunque*" e, ancora, "*tutti i dati sono inoltre liberamente consultabili tramite apposito sito web pubblico*".

² Professore di Architettura e morfologia urbana presso la Barlett School of Architecture, University College, London.

³ B. Hillier & Hanson J., 1984, *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press: Cambridge.

⁴ V. Cutini, 2010, *La rivincita dello spazio urbano: l'approccio configurazionale allo studio e all'analisi dei centri abitati*, Plus: Pisa University Press, Pisa.

giato: sotto il profilo metodologico l'analisi configurazionale lo assume come variabile (indipendente) d'ingresso nel modello e il risultato conseguente concernerà l'impatto, implicato dalla struttura spaziale sul modo in cui tale spazio è utilizzato (e percepito).

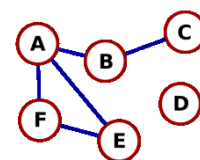
S'intuisce quindi una definizione più elaborata del termine "sintassi" come quell'insieme di "regole di costruzione di un discorso" e "insieme delle relazioni modulari fra le parti che ne costituiscono la trama"; così, "parlare di sintassi spaziale significa attribuire allo spazio una specifica essenza strutturale, le cui regole costitutive possono essere indagate attraverso lo studio delle relazioni fra i singoli elementi che lo compongono"⁵.

Lo spazio urbano, nell'accezione della *Space Syntax*, risulta l'elemento essenziale nella genesi dei fenomeni insediativi diventando una sorta di punto di correlazione tra la struttura fisica della città (gli edifici e gli isolati che ne costituiscono il tessuto, e le strade che lo definiscono) e la sua struttura sociale (le attività insediate che lo animano con le loro reciproche interazioni); pertanto, il carattere essenziale dell'approccio configurazionale hillieriano insiste nella forte attenzione all'interezza dello spazio, rimandando l'analista non solo alle sue mere componenti materiali ma alla stessa genesi dei processi insediativi, rappresentata dalla matrice urbana sui cui rami ha luogo il cosiddetto "movimento naturale", definito come la parte di movimento presente lungo i tronchi d'un aggregato urbano e generata dalla configurazione della matrice: si tratta d'una definizione (come, del resto, la stessa analisi configurazionale) che presenta forti connessioni con la psicologia ambientale e, in particolar modo, con la teoria della percezione, che supera la nozione di spazio fisico come dipendente dai suoi soli caratteri fisici (e metrici) in favore d'una concezione connessa alla percezione visiva come fattore determinante nella scelta degli spostamenti delle persone in uno spazio urbano dato.

In tal senso, quindi, all'articolazione dei percorsi d'un insediamento urbano (tipicamente le strade e gli spazi che ne compongono la matrice) è associabile la distribuzione del "movimento naturale" che comporterà la formazione di posizioni privilegiate e localizzazioni penalizzate in base alle diverse classi di densità di movimento: la misura quantitativa del flusso naturale influirà infatti sulle scelte localizzative delle attività che, a loro volta, genereranno altri flussi accrescendo esponenzialmente il valore del movimento in modalità circolari.

Il fulcro della *space syntax* rimane peraltro la matrice urbana, definibile come "il complesso di tutti gli spazi pubblici di un insediamento urbano, fruibili senza alcuna limitazione da parte della popolazione insediata" (Cutini 2010, 27); in altre parole, la matrice è rappresentata da tutti gli spazi aperti pubblici presenti in un contesto tipicamente urbano, da disaggregarsi nei due principali elementi degli spazi convessi (*convex spaces*) e delle linee assiali (*Axial Lines*): i primi sono rappresentati dalle estensioni bidimensionali e includono tutti gli spazi che coprono l'intero layout urbano, mentre le linee assiali vengono invece espresse dalle estensioni lineari materializzate nell'*Axial Map*.

Circa i modi di scomposizione dello spazio urbano tramite l'analisi configurazionale, emergono due modalità ricognitive: *i*) tramite un'impostazione sistemica⁶, su cui tale analisi si basa per disaggregare la matrice urbana nei suoi elementi costitutivi e per studiarne le interdipendenze, *ii*) e avvalendosi di un esercizio strutturale⁷ che riconosce, alla lettura dei rapporti fra entità, l'attribuzione di valori numerici simulativi della struttura derivante; per evidenziare l'attenzione verso i rapporti sussistenti fra



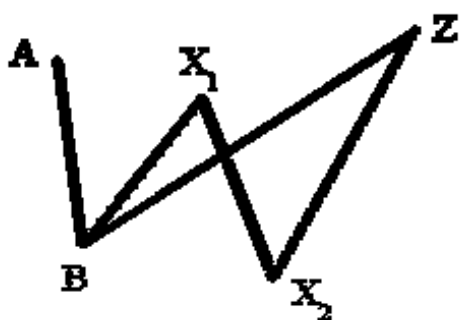
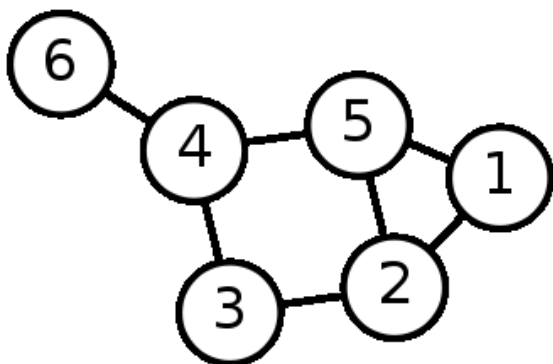
le parti, l'analisi configurazionale utilizza diffusamente il modello dei grafi, rappresentandone il quadro relazionale mediante archi (vale a dire la rappresentazione topologica della via-

⁵ V. Cutini, 2010, *La rivincita dello spazio urbano: l'approccio configurazionale allo studio e all'analisi dei centri abitati*, Plus: Pisa University Press, Pisa.

⁶ Definito come riduzione dell'insediamento all'interazione reciproca delle singole parti, e dotate quindi di un rapporto paritetico fra loro.

⁷ Che stabilisce l'interezza del sistema in funzione di ogni sua singola parte dotata di una propria specifica struttura e riconoscendo l'esistenza di relazioni gerarchiche, fra l'organismo e le sue parti, di natura verticale.

bilità con *arcs* o *edges*) e nodi (gli incroci della viabilità, *ertices* o *nodes*), facendone conseguire l'utilità di semplificare con nodi i singoli elementi d'intersezione della viabilità, che verrà perciò trasformata nella rete degli archi evidenziando così i rapporti instaurati fra le parti urbane, identificandone perciò la struttura relazionale e fornendone una chiara rappresentazione (pur simbolica, ma completa).



Un grafo con vertici A, B, X₁, X₂, Z e archi AB, BX₁, BZ, X₁X₂, X₂Z

Gli aspetti fondativi dell'impostazione configurazionale possono allora sintetizzarsi in quattro aspetti:

- l'interesse prevalentemente, anche se non esclusivamente, orientato sulle relazioni spaziali fra le variabili che compongono la matrice, vale a dire tra gli spazi urbani edificati nel loro assetto strutturale e/o morfologico;
- l'assunzione del reticolo urbano in veste di matrice primaria dei processi insediativi;
- l'ipotesi dell'esistenza d'un movimento naturale, stabilito come funzione configurazionale della matrice urbana, col ruolo di raccordo fra il reticolo e la localizzazione delle attività;
- il ruolo essenziale rivestito, nelle relazioni fra gli elementi della matrice, dalla percezione visiva dello spazio urbano.

L'Axial Analysis

Le tecniche sulla cui base Hillier procede all'analisi configurazionale fanno quindi riferimento a tali composti tipi d'impostazione; ma la prima tecnica estimativa che visiteremo è la cosiddetta *Axial Analysis*, vale a dire quella basata sull'assunzione del tracciato rettilineo come elemento fondante della configurazione dello spazio urbano; più precisamente, in tale ottica l'utente urbano percepisce lo spazio della città mediante linee corrispondenti alle proprie visuali prospettiche, le *Axial Lines*, e la corrispondente registrazione degli esiti percettivi è riversabile in un'*Axial Map* composta dall'insieme dei più estesi segmenti lineari, assunti nel loro minor numero e attraverso cui siano connettabili tutti i *Convex Spaces* del reticolo; di conseguenza, la matrice urbana viene discretizzata in *Lines* correlate le une alle altre mediante diversi gruppi d'appartenenza.

Una volta stabilita l'appartenenza al sistema d'ogni singola *Line*, ne va identificata la relazione interna mediante l'indice di profondità, parametro definito come la distanza che separa coppie di *Lines*, misurata topologicamente nel numero delle *Lines* interposte lungo il percorso fra una e l'altra investendo, in buona sostanza, non la lunghezza geometrica ma i cambi di prospettiva visuale che si susseguono lungo il suo percorso e, perciò, indicando il numero di *Lines* interposte lungo il percorso più breve fra l'una e l'altra.

Tale parametro misura perciò l'intensità d'appartenenza al sistema d'ogni *Line* identificandone poi la relazione di struttura, mediante cui tutti gli elementi del sistema interdipendono reciprocamente, attraverso la profondità (*Depth*) fra *Lines*, stabilita come distanza topologica tra le *Lines* interposte lungo il percorso più breve: in tal modo non conta quindi, nell'apprezzamento della distanza fra *Lines*, la lunghezza geometrica del percorso in sé quanto, piuttosto, il numero effettivo di cambi di prospettiva visuale che si susseguono, attraverso:

$$D_M = D_T / k - 1$$

dove:

$D_M = \text{Mean Depth}^8$ (profondità media);

$k - 1 =$ numero complessivo di *Lines* dell'*Axial Map*,

mentre il massimo valore raggiungibile nella profondità media d'una *Lines* deriva da:

$$D_M = k / 2$$

$$D_T = \sum_{i=1}^{k-1} n$$

in cui:

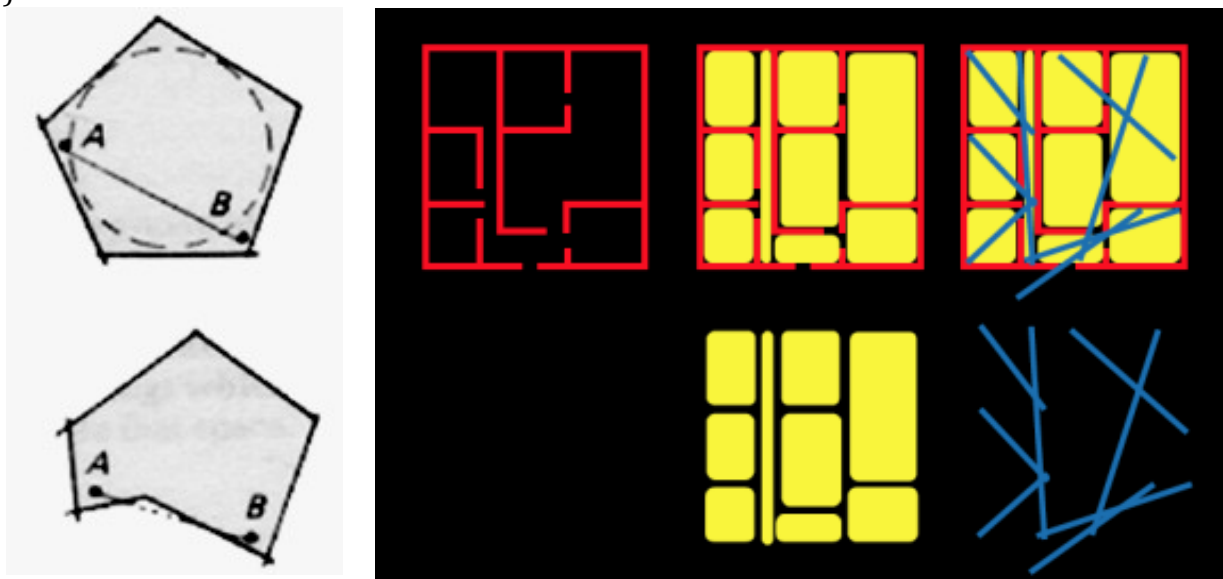
$D_T = \text{Total Depth}$ (profondità totale);

$n =$ numero di *Lines* che compongono il sistema dell'*Axial Map*.

Anche per la profondità totale va stimato il massimo valore possibile d'una *Lines* con:

$$D_T = k(k - 1) / 2$$

In tal modo, i valori di profondità media e totale saranno tanto maggiori quanto più grande sarà il sistema di *Axial Map* considerato; è per questo che occorre standardizzare i parametri onde poter comparare i risultati fra *Axial Map* di dimensioni differenti, attribuendo indici atti a descrivere la consistenza configurazionale delle *Lines* che costituiranno le variabili di stato del sistema (Hillier & Hanson, 1984).



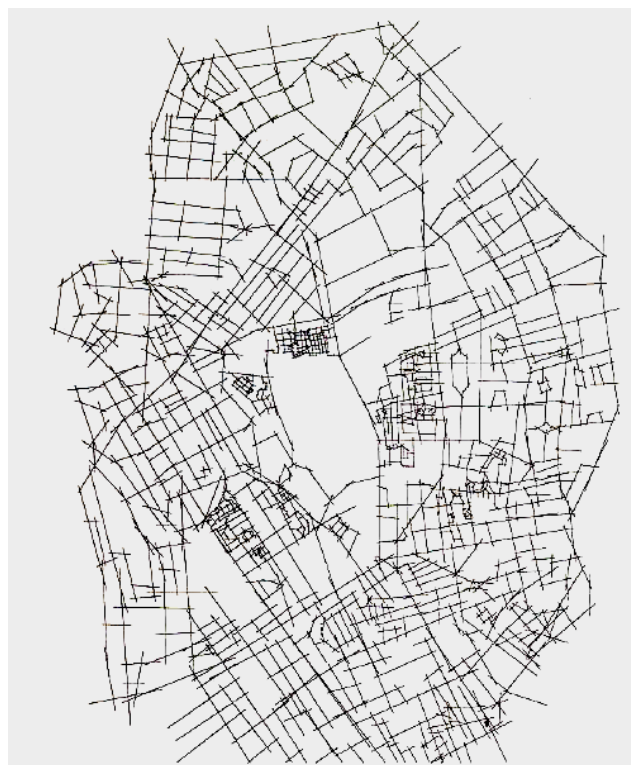
Spazi convessi. Ogni punto è visibile da tutti gli altri punti in qualsiasi posizione. Scomposizione dello spazio urbano in spazi convessi e linee assiali.

I differenti valori delle *Axial Lines* vengono misurati da software specifici quali *Spatialist* o *AxmanPPC*, che li restituiscono in formato sia tabellare sia *Axial Map* in diversi gradi di colore, tipicamente da blu scuro (alto grado di segregazione) a rosso scuro (alto grado d'integrazione).

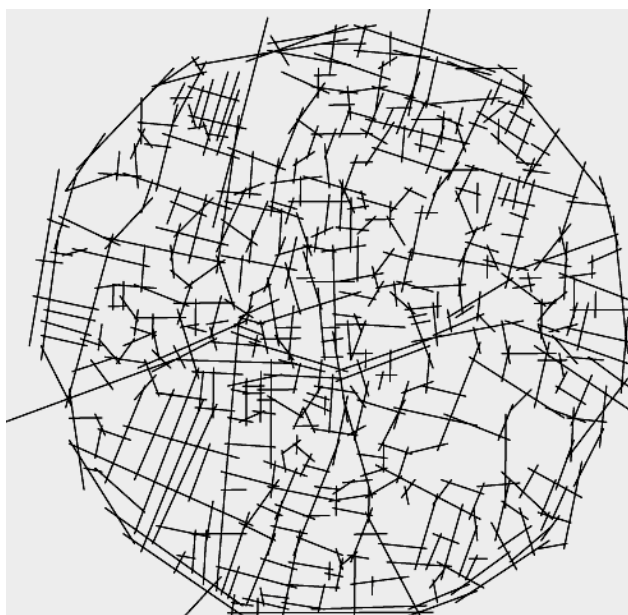
⁸ Nella definizione di Hillier e Hanson, la profondità media è calcolata "assigning a depth value to each space according to how many spaces it is away from the original space, summing those values and dividing by the number of spaces in the system less one (the original space)" (Hillier & Hanson, 1984, 108).



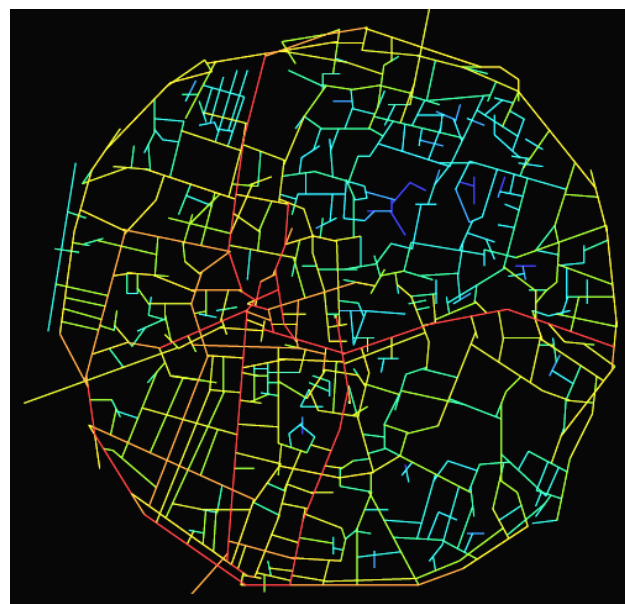
Esempio di convex map nero su bianco per il caso di Londra. Particolare su King's Cross.



Esempio di Axial Map per il caso di Londra.



Axial Lines della città di Nicosia.

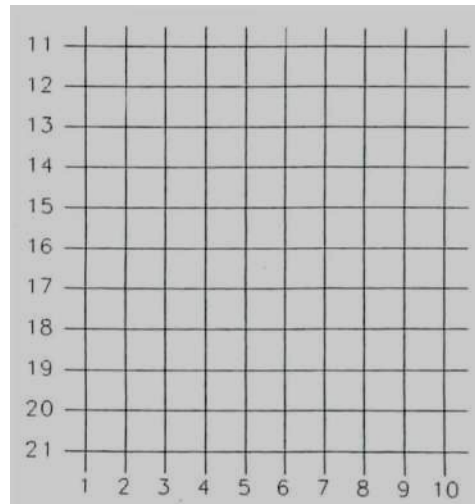


Grado d'integrazione applicato alla città di Nicosia.

L'indice d'integrazione proposto da Bill Hillier verrà rivisto dieci anni dopo da Teklenburg, Timmermans & Van Wagenberg⁹ secondo una nuova formula basata sul valore della profondità totale D_T e il cui parametro è stato denominato *Integration Score*; anche in questo caso l'*Axial Map* da compararsi va riferita a un'*Axial Map* virtuale delle stesse dimensioni, denominata *Axial Grid* e contraddistinta dalle seguenti proprietà:

⁹ Teklenburg J.A.F, Timmermans H.J.P. & van Wagenberg A.F., "Space syntax: standardized integration measures and some simulations", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1993, vol. 20, 347-357.

- se il numero di *Lines* (oppure nodi) è pari, queste/i ultime/i sono ripartite in due sottoinsiemi delle stesse dimensioni, dove ognuno dei due sottoinsiemi possiede $\frac{1}{2} k$ collegamenti;
- se il numero di *Lines* è dispari vi saranno due sottoinsiemi, caratterizzati rispettivamente: il primo da $\frac{1}{2} (k - 1)$ nodi, dotati di $\frac{1}{2} (k - 1) + 1$ collegamenti; il secondo da $\frac{1}{2} (k - 1) + 1$ nodi, a loro volta dotati di $1/2 (k - 1)$ collegamenti;
- nessuna delle *Axial Lines* ha collegamenti con altre *Lines* appartenenti allo stesso insieme.



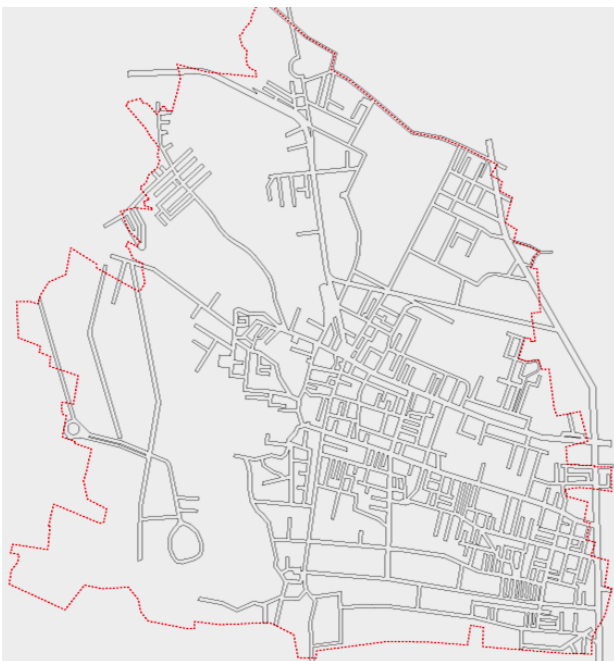
Esempio di Axial Grid con valore $k = 21$ Lines

In questo caso, il valore dell'*Integration Score* sarà dato dal rapporto fra la profondità totale (D_T) della *Line* considerata e la media delle profondità totali delle *Lines* dell'*Axial Grid*, con:

$$I = \ln [(k - 2) / 2] \ln (D_T - k + 1)$$

Pertanto, se l'*integration score* risulterà pari a 1, le *Lines* più integrate tenderanno a un valore maggiore mentre altre meno integrate tenderanno a un valore più basso, in ogni caso superiore allo zero.

Di seguito si riporta un'applicazione dell'*Axial Analysis* al caso comunale del centro storico di Limbiate.



Rappresentazione della Convex Map di Limbiate.



Rappresentazione dell'*Axial Map* di Limbiate.



Rappresentazione dell'Axial Map di Limbiate, particolare sul centro storico.

L'Angular Analysis

Una seconda tecnica configurazionale introdotta da Bill Hillier è rappresentata dall'*Angular Analysis* che, prendendo le mosse dall'*Axial Analysis*, ne perfeziona il metodo: essa, oltre a definire la profondità come semplice intersezione fra coppie di *Axial Lines*, ne pesa il valore in base all'angolo d'incidenza delle rispettive *Lines* e tanto più l'angolo sarà prossimo ai valori d'un angolo piatto, tanto minore sarà il valore dato alla profondità di quelle *Lines*; infatti, se pensiamo a due *Lines* che s'incrociano con un angolo di intersezione superiore a 180° , il nostro occhio le percepirà come una sola (sulla base di conclusioni derivanti da alcuni recenti studi sulla psicologia della percezione¹⁰); in altri termini, "ciò conduce in *Angular Analysis* a sostituire la logica binaria (intersezione / non intersezione) dell'*Axial Analysis* con una metodologia più articolata, che pesa in modo differenziato le singole connessioni fra *Lines* in base al loro angolo di intersezione"¹¹.

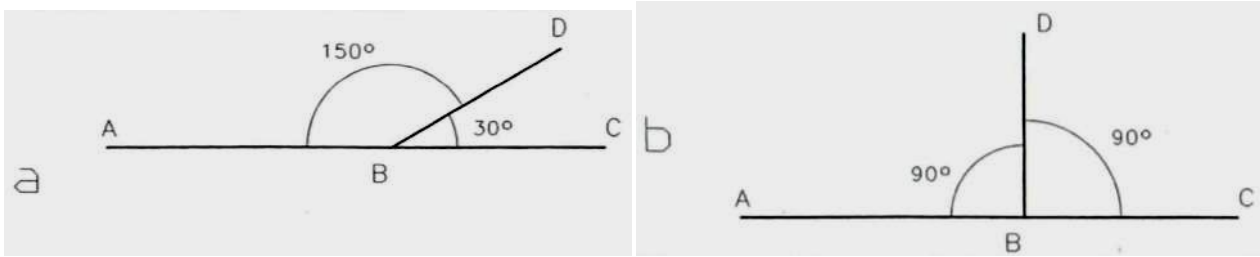
Com'è ovvio, le due tecniche di *Axial Analysis* e *Angular Analysis* generano risultati sensibilmente differenti quanto più il numero d'intersezioni fra *Lines* è compreso in angoli ottusi (più prossimi a 180°); in particolare, l'*Angular Analysis* è utile, e con risultati più fedeli alla realtà, quando la trama d'un insediamento urbano presenta percorsi sinuosi e ricchi di curve mentre, al contrario, quando la griglia urbana risulta composta da *Lines* che s'incrociano ortogonalmente (per esempio in quasi tutti i casi europei o nordamericani), si rivela un'inutile complicazione operativa; a tal proposito s'inserisce la *Angular Segment Analysis* (Turner, 2001), che suddivide le *Lines* in segmenti in base al loro punto di intersezione: in tal modo, spezzando la retta *AC* in due segmenti *AB* e *BC*, ambedue intersecati col segmento *BD*, s'ottengono angoli d'intersezione senza margini d'incertezza, con un valore della profondità media angolare d'un generico segmento *a* risultante da:

$$D_{M\alpha} a = 1 / (k - 1) \sum_j D_\alpha(a, i)$$

permettendo d'apprezzare la variazione dei parametri configurazionali, per esempio, di un tronco viario molto esteso (costituito da tanti segmenti più corti) lungo tutto il suo percorso.

¹⁰ Secondo questi studi, un osservatore che si muove all'interno di una matrice urbana, acquisisce e memorizza in maniera più significativa variazioni di prospettiva che incontra secondo angoli più prossimi a 90° , piuttosto che ad angoli di maggiore ampiezza (180°).

¹¹V. Cutini, 2010, *La rivincita dello spazio urbano: l'approccio configurazionale allo studio e all'analisi dei centri abitati*, Plus: Pisa University Press, Pisa.



Incertezza nella scelta dell'angolo d'intersezione fra Lines per l'Angular Analysis.



Tre diversi tipi di rappresentazione dell'Axial Map; il primo caso rappresenta la scomposizione della Line in segmenti più corti in base alla profondità media angolare del segmento.

La Visibility Graph Analysis

Verso la fine degli anni Novanta l'analisi configurazionale degli studi anglosassoni trova una diversa declinazione nella tecnica operativa della *Visibility Graph Analysis*: elemento fondamentale della *Vga*, in questo caso, non è più un elemento areale o lineare (come lo era per l'*Axial Analysis* e l'*Angular Analysis*), ma bensì il singolo punto (Turner et al., 2001).

Considerando lo spazio urbano, nella definizione di Hillier, ogni punto viene identificato come la possibile localizzazione d'un individuo della matrice, e il fuoco dell'attenzione diventa quindi il singolo punto all'interno del *Convex Space*; in particolare, a ogni singolo punto viene associata una porzione dello spazio urbano direttamente percepibile all'occhio dell'utente (l'*isovista*: Batty, 2001), introdotta come analisi configurazionale da diversi autori quali Michael Batty e Alasdair Turner attraverso:

$$V_x = \{v \in D: v \text{ è visibile da } x\}$$

dove V_x = Isovista del punto x da cui, grazie a un lavoro di Benedikt della fine degli anni '70¹², risulta in forma analitica come:

$$V_x = \{[x, v_j]: v_j \in (\delta V_x - R_x)\}$$

dove δV_x = superficie di contorno dell'isovista;

R_x = superficie visivamente occultata rispetto a x ;

v_j = punti collocati lungo la superficie dell'isovista, attraversati da segmenti lineari che li connettono coi punti x .

Per individuare i punti (*Vertices*) da sottoporre alla *Vga* occorre stabilire la densità della trama con cui s'intende coprire l'intera estensione dello spazio urbano: una trama di *Vertices* particolarmente fitta genererà risultati di maggior dettaglio, mentre una trama di minore densità darà luogo a un'analisi meno dispendiosa ma certamente più imprecisa.

L'insieme di tutti i *Vertices* distribuiti sullo spazio urbano prende il nome di *Visibility Graph Analysis* e, come per l'*Axial Analysis* e l'*Angular Analysis*, anche in questo caso è necessario identificare un insieme di parametri, il cui valore viene attribuito a ciascun d'essi a seguito di un'accurata analisi configurazionale (l'identificazione del numero di vertici da inserire si baserà anche sulla capacità computazionale della macchina, il cui tempo d'elaborazione varierà esponenzialmente al numero di vertici inseriti) e saranno proprio tali parametri, anche in questo caso, le variabili di stato del sistema (Turner, 2001b).

¹² Benedikt M.L., 1979, «To Take Hold of Space: Isovists and Isovist Fields», in *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 6, pp. 47-65.

S'assuma allora un rapporto diretto di visibilità per ogni punto, nel senso che faranno parte di questo sistema solamente i punti direttamente visibili da altri (almeno uno) e, per ciò stesso, interni al sistema medesimo; la relazione che struttura internamente il sistema è stabilita dalla profondità fra coppie di punti, vale a dire il numero di vertici interposti lungo il percorso (topologico) più breve fra i due con un parametro *Neighborhood Size*, che stabilisce tale rapporto rispetto al numero dei vertici direttamente connessi a (visibili da) un punto, dato da:

$$N_i = \{v_j : e_{ij} \in E\}$$

dove:

N_i = *Neighborhood Size*;

e_{ij} = relazione fra i vertici v_i e v_j appartenenti all'insieme E .

Un secondo parametro della *Visibility Graph Analysis* è rappresentato dal *Clustering Coefficient*, definito come il rapporto fra le connessioni dei vertici, presenti nell'isovista, e il numero di connessioni teoricamente possibili identificando, in buona sostanza, il grado d'intervisibilità dello spazio da parte di un determinato vertice all'interno di un'isovista (in altre parole, rappresentando la "convessità" dell'isovista), con valore compreso fra 0 e 1, dove 1 rappresenta il massimo grado di convessità d'una isovista coincidente col massimo numero possibile di connessioni fra vertici, attraverso:

$$\gamma_i = E(I_i) / k_i(k-1)$$

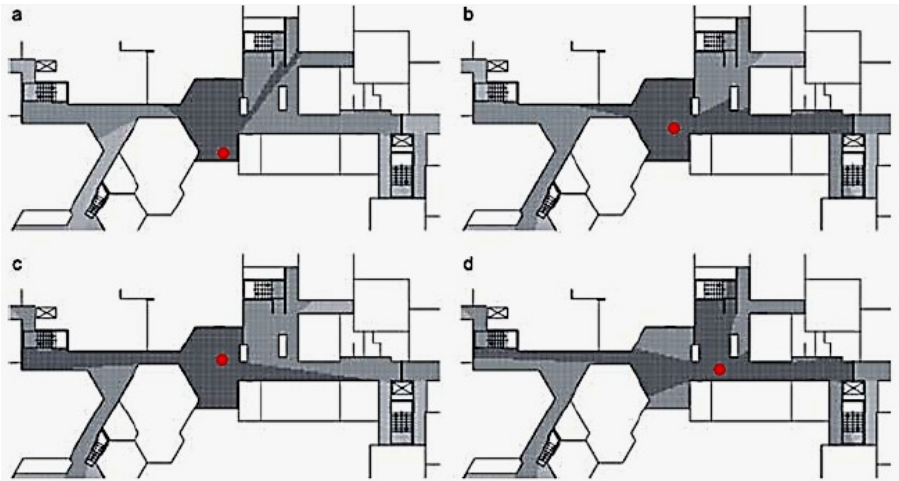
dove:

γ_i = *Clustering Coefficient*;

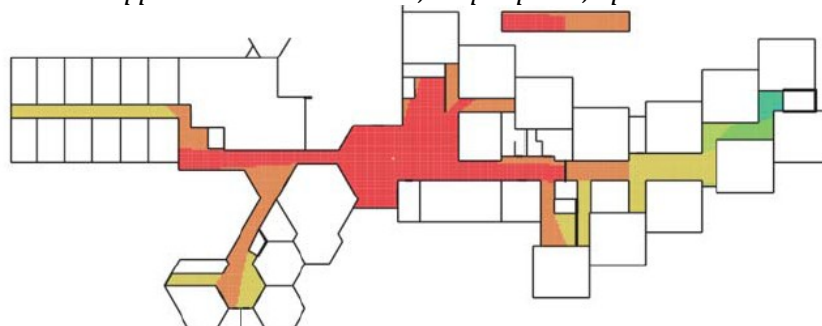
$E(I_i)$ = insieme degli archi effettivamente presenti all'interno dell'isovista dell' i -esimo vertice;

k_i = *Neighborhood Size* del vertice.

Il software per generare *Vga Maps* è rappresentato da *Depth Map*, package che permette all'utente per prima cosa d'importare layout bidimensionali in formato DXF e di riempire il layout mediante una matrice rettilinea di punti, utilizzabili per costruire *Visibility Graph* di cui si riportano alcune immagini nel seguito:



I punti rossi rappresentano l'utente dentro un edificio, mentre le campiture grigio scuro rappresentano la visuale che, da quel punto, è possibile ottenere.



Gradi di Visibility Graph percepiti dall'utente posizionato al centro della hall.



Visibility Graph Analysis del centro di Londra.



Visibility Graph Analysis del centro di Londra, calcolata sull'accessibilità.

1.1.2. Il variegato contributo di Michael Batty allo studio dei fenomeni urbani

Michael Batty¹³ è il responsabile del Centre for Advanced Spatial Analysis, un'iniziativa dell'University College London nata per sviluppare l'incontro tra tecnologie informatiche emergenti e diverse discipline che trattano temi quali la geografia, lo spazio, l'ambiente costruito. È un centro di ricerca interdisciplinare e, in quanto tale, vi lavora un gruppo di ricerca dal background vario, in grado di spaziare in molte discipline come archeologia, architettura, pianificazione; in tal modo, CASA è in grado di offrire soluzioni innovative per lo studio dell'ambiente costruito, e innumerevoli ricerche ne rappresentano la dimostrazione, in particolare gli otto softwares prodotti sul tema dello spazio urbano: (i) *DUEM CA Model*, (ii) *GMap Creator*, (iii) *Image Cutter*, (iv) *Isovist Analyst*, (v) *Photo Overlay*, (vi) *Ranck Clocks*, (vii) *Space Syntax*, (viii) *Von Thunen*.

Se *GMap Creator*, *Image Cutter* e *Photo Overlay* rappresentano applicativi operanti col software GoogleEarth e con l'applicativo di Google Maps Streetview per l'elaborazione di dati raster, gli altri programmi costituiscono un bagaglio utile in altri campi tra cui il più interessante è *DUEM CA Model*, che permette all'utente di sviluppare una varietà di differenti automi cellulari in ambiente 2D, popolabili e regolabili in modi diversi: la ricerca del centro spazia effettivamente da modalità geometriche, come lo studio della dimensione frattale applicata all'analisi territoriale, fino ad applicazioni a tecniche decisamente immerse nel filone dell'intelligenza artificiale (AI) e della vita artificiale (AL).

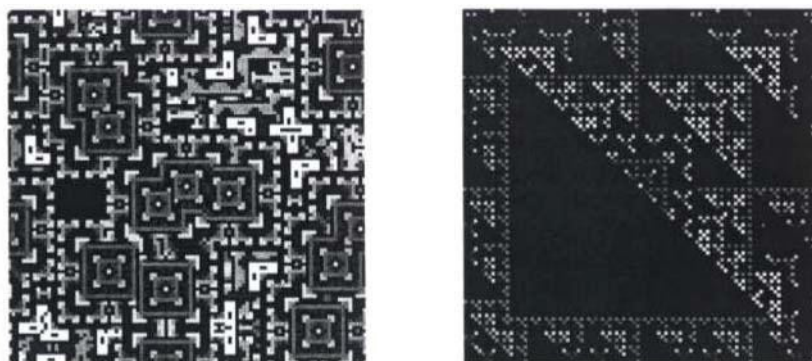
La geometria frattale

La geometria frattale studia oggetti morfologicamente irregolari ma che, tuttavia, presentano nella loro irregolarità una regolarità dei passaggi di scala; non è perciò interessante osservarli come geometrie euclidee, ma ha senso studiarne il comportamento ripetitivo a scale diverse, il che consente di descriverli matematicamente e di poterli generare computazionalmente; ha senso perciò utilizzare tali tecniche, che s'appoggiano ad applicativi come Fragstat (software per lo studio della geometria frattale creato al MIT), soprattutto nello studio dei caratteri formali perimetrali e superficiali d'una città, giacché la geometria frattale e i suoi indicatori sono infatti capaci di descrivere quanto una forma è frastagliata.

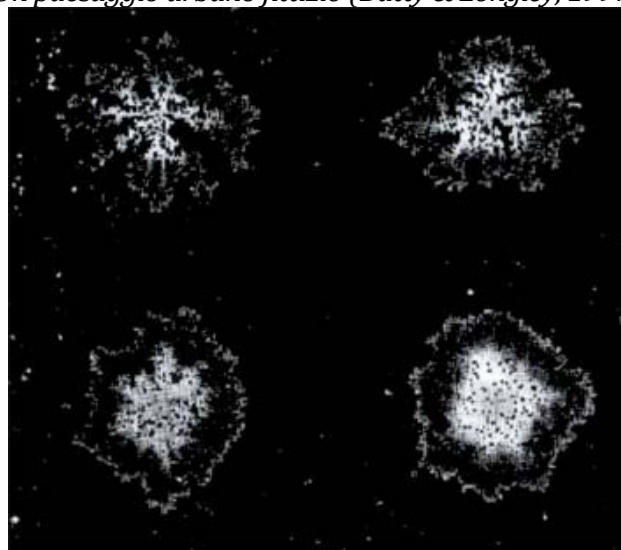


Tappeti frattali (Batty & Longley, 1997)

¹³ È architetto, pianificatore e geografo, ed è oggi ordinario di Pianificazione presso la Barlett School dell'University College London (UCL).



Un paesaggio urbano fittizio (Batty & Longley, 1997)



Simulazione della forma urbana, dalla città lineare alla città compatta (Batty & Longley, 1997)

Tuttavia, rimane incolmabile il vuoto relativo allo studio dei processi socio – economici, che la geometria frattale non è in grado di riempire trattando unicamente la forma; pertanto, sembra proprio del tutto inadeguata l’analisi frattale del territorio a vasta scala, a favore invece di un’analisi a scala di maggior dettaglio, per la quale tuttavia non esistono banche dati sufficientemente ricche e adeguatamente strutturate.

Per tali motivi, Batty & Longley si ritrovano in seguito a rivedere le posizioni precedentemente sostenute: *«The dilemma we face is that as we add spatial detail, the model we produce to explain such distributions becomes less plausible. What appears to be required is a much more coherent theory of fractal dynamics and geometry, but at a present time, this might be the wrong way forward. Fractal signatures may simply be ubiquitous phenomena, not significantly related to one another, that emerge everywhere as a result of geometric constraints. In short there may be no general theory of how space is structured in city and city systems that can be derived by finding some dynamics consistent with fractal scaling. Our own work [...] suggests that fractal are simply a measure of system structure rather than evidence of some grand underlying dynamics yet to be discovered and articulated»* (Batty, 2005, pag. 519)

La ricerca di Batty e del centro CASA s’è quindi allontanata dall’argomento frattale nel tentativo di trovare nuovi strumenti in grado di studiare le complessità urbane; la risposta è stata individuata negli automi cellulari e poi nei sistemi multi – agente.

Automi cellulari e automi cellulari urbani

Un automa cellulare (dall’inglese *Cellular Automaton* oppure *Automata*, abbrev. CA) è un sistema complesso discreto, consistente in una matrice di qualunque dimensione finita, costituita da celle ognuna delle quali può assumere un insieme finito di stati (ad esempio, “urbanizzato” o “non urbaniz-

zato”) e per ciascuna occorre anche definire l’insieme delle celle da considerarsi “vicine” (per esempio, tali sono due celle adiacenti, oppure a breve distanza).

A un tempo $t = 0$ s’assegna a ogni cella un determinato *stato*, il cui insieme costituisce lo stato iniziale dell’automa cellulare; dopo un tempo dato ogni cella cambierà stato contemporaneamente a tutte le altre, secondo una *regola* stabilita (e variabile a seconda dell’automa cellulare considerato), e il modo in cui una cella cambia stato dipende solo dal proprio stato attuale e dagli stati delle celle “vicine”.

L’idea fu originariamente sviluppata da Stanislaw Ulam e da John von Neumann nei primi anni cinquanta ed è fiorita con lo sviluppo delle teorie computazionali e le strutture hardware; un classico esempio d’automa cellulare è il gioco della vita ideato dal matematico inglese John Conway, composto da un insieme di posizioni occupate o meno, che hanno luogo su una matrice e sopravvivono o muoiono in base al numero di posizioni occupate, vicine tra loro.

Ogni CA possiede gli stessi elementi: un insieme di posizioni connesse, un insieme di stati in ogni posizione, regole d’aggiornamento per lo stato delle posizioni, e l’insieme A di stati che può assumere una cella in un Automa Cellulare (gli stati sono rappresentati dai caratteri assunti dalle porzioni di spazio dello scenario dell’automa, le celle) è rappresentato da:

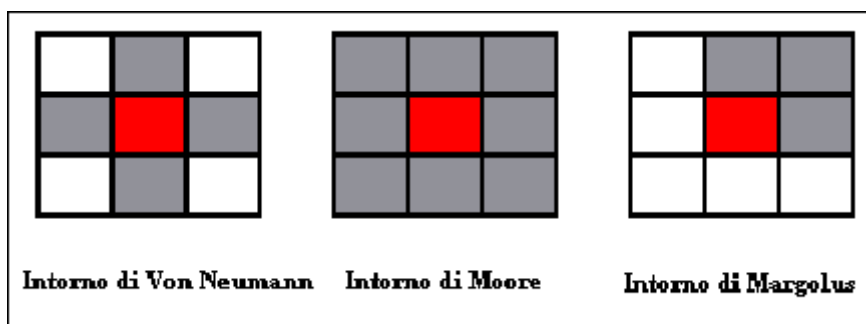
$$A = \{S1, S2, S3, \dots, Si, \dots, Sn-1, Sn\}$$

Ogni stato Si è caratterizzato da un numero d’ordine N , da un valore o carattere semantico V , eventualmente da un colore C , eventualmente da un valore numerico H , sicché sarà:

$$Si = s(N, V, C, H)$$

Possono essere definiti degli stati speciali, come il bordo dello scenario o lo stato qualsiasi, per un loro uso particolare nelle regole di trasformazione. Se in una regola compare lo stato bordo, il riconoscimento della cella bordo ha la precedenza sullo stato effettivo della regola. Se in una regola compare lo stato qualsiasi, non viene valutato lo stato effettivo di tale cella.

L’intorno di analisi è l’insieme delle celle dello scenario riferite a una data cella, da considerarsi nelle regole di trasformazione; la letteratura sugli automi cellulari identifica diversi intorni (nel caso bidimensionale, tra i più famosi quelli di Moore, di Von Neumann e di Margolus, dove la cella rossa è quella attiva, le celle grigie sono quelle dell’intorno da considerarsi nelle regole di variazione e le celle bianche sono quelle dell’intorno da non considerarsi nelle regole di variazione).



Esempi di intorni

Circa le regole di trasformazione d’una cella, esse ne prescrivono il cambiamento di stato in base a diversi parametri: lo stato corrente della cella, lo stato delle celle d’un intorno associato alla regola, eventuali condizioni d’esclusione di valori per gli stati delle celle dell’intorno, alcune condizioni speciali, la frequenza e la probabilità d’applicazione della regola: se k è il numero di stati per cella ed n è il numero di celle incluse nell’intorno, vi sono $[(k) k] n$ possibili regole.

Per un automa binario (come urbanizzato/non urbanizzato, morto/vivo), nell’intorno di Von Neumann (dove n è 4) insistono oltre 65.000 possibili regole, nell’intorno di Moore (con $n = 8$) 1.077; ma nelle applicazioni reali n è sensibilmente inferiore a quello potenziale, poiché solo una ridotta parte di regole è utile a spiegare le trasformazioni d’un particolare fenomeno; la forma generale d’una regola è quindi la seguente:

$$Ri = r [S(t), S(t+1), I, N, Ek, F, P]$$

dove:

$S(t)$ = stato della cella alla t -esima transizione;

I = stati delle celle dell'intorno;

N = stati di eventuale esclusione dall'intorno;

E_k = condizioni speciali;

F = frequenza di applicazione;

P = probabilità di applicazione;

Le condizioni speciali dipendono dalla presenza complessiva delle celle d'un determinato stato:

$$E1 = \text{num} [S_i(t)] > X * \text{num} [S_i(0)]$$

La regola speciale $E1$ è per esempio applicata se il numero di celle dello stato S_i al tempo di scansione (t) è maggiore di X volte il loro numero iniziale; se non sono previste condizioni speciali, la regola può applicarsi sempre (nel rispetto del soddisfacimento degli altri parametri di applicazione), con la frequenza F d'esecuzione d'una regola compresa tra 0 e 100, parametro che permette di stabilire la % di celle attive sul numero totale di celle potenzialmente attivabili (che possiedono, cioè, tutti i requisiti per trasformarsi da una scansione all'altra).

La probabilità P d'esecuzione d'una regola può individuarsi tra 0 e 1, agendo in cascata rispetto alla frequenza e permettendo di stabilire la % di celle che si trasformano sul numero totale di celle attivate dalla frequenza.

I risultati dell'analisi tramite automi cellulari s'ottengono osservando i cambiamenti dello scenario di partenza dopo le scansioni, generalmente una matrice bidimensionale omogenea di celle rettangolari, quadrate o esagonali, la cui dimensione è quindi determinata dal prodotto delle celle in larghezza per quelle in lunghezza, considerabile come matrice di valori:

$$K_i = k(i, j, v)$$

con i, j coordinate d'una cella nel sistema adottato come scenario, e $v(i, j)$ stato assunto dalla cella (Caja e Cislighi, 1999).

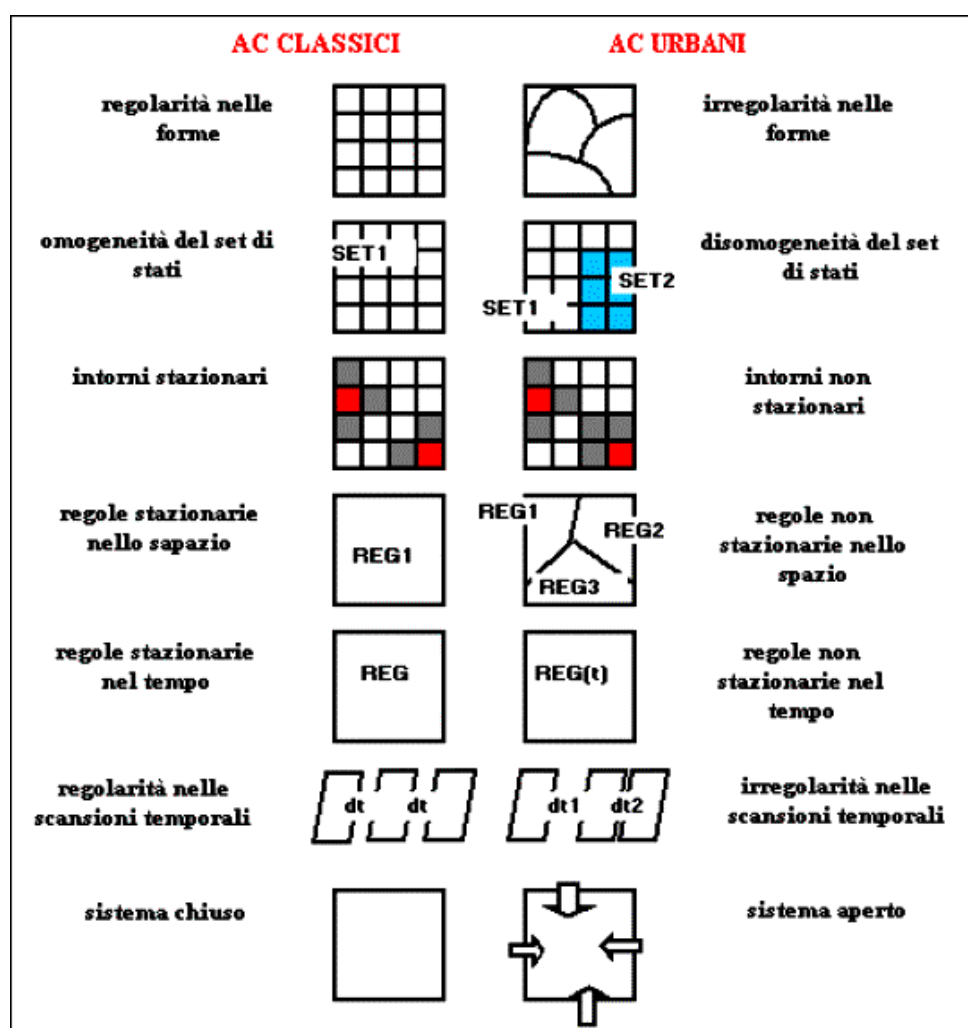
Per la loro natura discreta, le applicazioni di automi cellulari (CA) hanno trovato base fertile nella simulazione delle trasformazioni territoriali: si tratta di problemi complessi, difficilmente riconducibili a una teoria poiché le variabili distintive, come la popolazione o gli insediamenti, non si distribuiscono con modalità continue e uniformi ma si concentrano per motivi assai distanti; le prime applicazioni ai sistemi urbani riguardano modelli probabilistici di simulazione dei processi di crescita sviluppati negli anni sessanta (Chapin & Weiss, 1968), tra cui la modellizzazione dell'evoluzione urbana di Detroit attraverso lo spazio cellulare, dimostrata da Tobler (1970) con ulteriori approfondimenti di Couclelis (1985) nella simulazione del ciclo di sviluppo d'una città ideale¹⁴ e, negli anni '90, col crescente interesse verso le dinamiche spazio-temporali attraverso la teoria dei frattali, sono state ottenute applicazioni più interessanti, rivelate da una letteratura consolidatasi nell'arco di decenni: White & Engelen (1993), Cecchini e Viola (1992), Batty & Xie (1997), Coucleis (1997), Colonna (1998), Cecchini (1999), Torrens (2000), Batty (2010).

È una letteratura tanto ampia e variegata da indurre alcuni autori a teorizzare la necessità d'una disciplina a sé stante, che Batty & Xie identificano nell'*urban automata* (Cecchini e Plaisant, 2005); inoltre, Tobler (1979), Couclelis (1985), Batty (1997) hanno identificato alcuni principi che, nonostante vadano senz'altro seguiti dagli automi cellulari "ortodossi", sembra necessariamente il caso d'allentare per costruire modelli applicabili all'urbanistica; le convenzioni di fondo che accomunano i modelli di automi cellulari classici investono: (i) l'identificazione d'un piano (spazio) infinito; (ii) la stazionarietà spaziale degli intorni; (iii) la regolarità nelle forme; (iv) l'omogeneità spaziale; (v) l'invarianza spaziale e temporale delle regole; (vi) la chiusura rispetto a eventi esterni; (vii) la regolarità temporale¹⁵.

¹⁴ In realtà, Couclelis proponeva l'utilizzo di modelli di automi cellulari urbani come metafore della crescita urbana piuttosto che come veri simulatori.

¹⁵ Per regolarità nelle forme s'intende il fatto che la matrice è formata da celle uguali in dimensione e disegno; l'omogeneità spaziale investe la consapevolezza che le forme e gli stati possibili per una cella sono gli stessi in tutto lo spazio; come chiusu-

Affinché i modelli urbani e regionali basati sugli automi cellulari possano rivelarsi utili alle previsioni si debbono verificare due condizioni: (a) l'interattività, essenziale per esplorare le opzioni; (b) il realismo rispetto ai dati e alla struttura del modello¹⁶; per tale bisogno di semplicità, Batty propone un approccio puramente morfologico (Cecchini, 1999) e, infatti, circa le basi della dinamica del modello urbano, centrale negli AC, tutto è basato su semplici equazioni di reazione – diffusione: come in un qualsiasi AC, anche negli automi cellulari urbani (ACU) lo stato d'ogni cella dipende da funzioni che reagiscono in base a quel che è già stato attribuito a quella cella e a quanto succede nelle celle vicine in termini diffusivi: in un certo senso, tutta la dinamica si riduce a tale semplice constatazione (Batty & Xie, 1997).



















Confronto tra automi cellulari classici e automi cellulari urbani secondo Couclelis (1985)

Quindi dal punto di vista meramente formale, ossia guardando la città solo attraverso le dimensioni di forma contenente e forma contenuta, gli automi cellulari risultano facilmente applicabili dal momento che gli oggetti si distribuiscono nel tempo in maniera continua e prevedibile; i problemi sorgono invece quando vanno trattati dati che non si distribuiscono in modo continuo e uniforme come la produzione, il consumo, il capitale, la popolazione, i vincoli: è un problema complesso e difficilmente riconducibile a una teoria, anche solo descrittiva, che renda conto in modo sufficientemente esaustivo delle situazioni d'una realtà empiricamente osservabile (Cecchini, 1999).

ra viene inteso che l'evoluzione del sistema non può essere influenzata da altro che dai suoi meccanismi; la regolarità temporale sottintende che il tempo deve scorrere uniformemente.

¹⁶ Conseguenza della ricerca di realismo nella struttura del modello è la necessità di "rilassare" i principi ortodossi di base degli automi cellulari.

Il software *Dynamic Urban Evolutionary Model (DUEM AC Model)* permette appunto la creazione di automi cellulari urbani utilizzando come sfondo un file raster, utile a ricreare la matrice e le celle in base a cinque classi simulate d'uso del suolo¹⁷; nel programma è già impostato un buon numero di *regole* transazionali di default, modificabili direttamente dalla legenda delle classi d'uso del suolo¹⁸.

Intorno	Regola	Scenario iniziale	Scenario dopo 12 cicli di scansione	
	Cella: <i>morte</i> Celle intorno: 1 <i>vita</i> , 7 <i>morte</i> Variazione: <i>vita</i>		 prob. regola 100 %	 prob. regola 50 %
	Cella: <i>morte</i> Celle intorno: 1 <i>vita</i> , 1 qualsiasi, 6 <i>morte</i> Variazione: <i>vita</i>		 prob. regola 100 %	 prob. regola 50 %
	Cella: <i>morte</i> Celle intorno: 1 <i>vita</i> , 3 <i>morte</i> Variazione: <i>vita</i>		 prob. regola 100 %	 prob. regola 50 %
	Cella: <i>morte</i> Celle intorno: 1 <i>vita</i> , 1 qualsiasi, 2 <i>morte</i> Variazione: <i>vita</i>		 prob. regola 100 %	 prob. regola 50 %

Gli automi di Batty

Il modo più semplice per cominciare è quello di popolare l'ambiente con un set di usi collocati a random, osservandoli quindi crescere; dal momento che il sistema ne è capace, crescerà su principi logistici ma si ritroverà a girare intorno a limiti superiori, dal momento che la regola stabilisce guide e rallentamenti; uno dei fattori chiave del programma è quello di lasciare l'utente libero d'immaginare se le dinamiche di lungo termine siano fattibili rispetto alle regole locali di default; nulla è prestabilito, non esiste un manuale d'istruzioni e, del resto come in molte metodiche estimative urbane, si procede per tentativi: pertanto, se una regola si dimostra incompatibile e/o infattibile, è possibile modificarla tanto prima come durante il ciclo di scansioni.

<i>Stati delle celle</i>	<i>Regole</i>	<i>Fattori impattanti</i>
a) Residenza	1) Duplicazione	i) Età
b) Industria	2) Mutazione	ii) Intorno
c) Commercio	3) Sopravvivenza	iii) Limiti della mappa
d) Vuoto urbano	4) Morte	iv) Politiche
e) Strade		

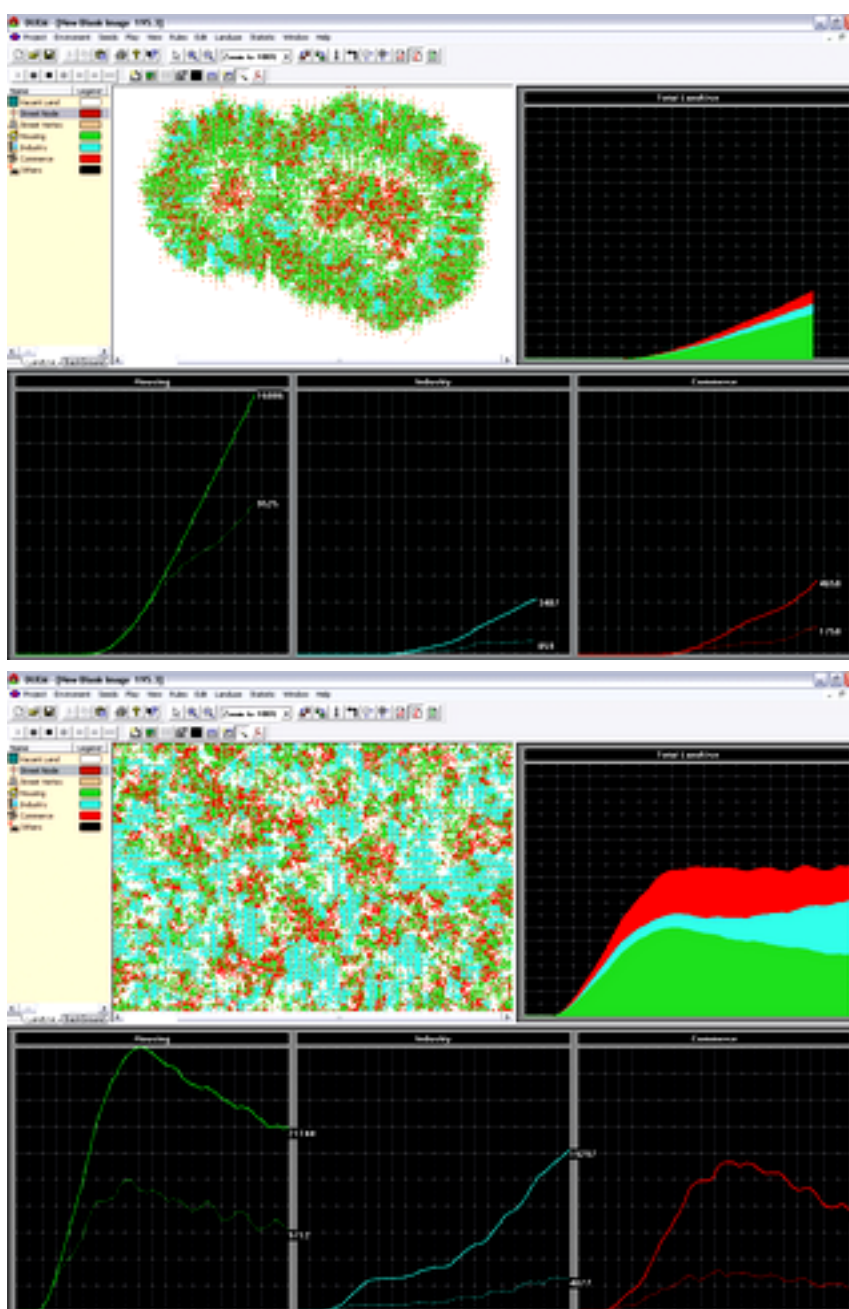
Componenti d'un automa cellulare

¹⁷ Residenza, industria, commercio, vuoti urbani e strade.

¹⁸ Per esempio è possibile modificarne l'influenza, un parametro fondamentali all'interno del modello, dal momento che descrive sia l'area di interesse, intesa come *neighbourhood* della cella, sia il periodo, sia il suo stesso decadimento in relazione alla distanza dalla cella.

Il principale scopo del software è quello di simulare una crescita urbana principalmente intesa come *Urban Sprawl*, dal momento che è stato realizzato con particolare riferimento al territorio sud – orientale dello stato americano del Michigan: ciò è possibile in quanto *Artificial Life*, strumento in grado di prevedere come le cinque categorie di *Land Use* si trasformino nel tempo nelle celle sulla base di un modello che opera alle tre scale *Local Neighbourhood, District, Region*.

Dynamic Urban Evolutionary Model è scritto in Visual C++ e consente libera interoperabilità con gli ambienti Gis attraverso l'importazione di file raster; si veda sotto la tipica schermata che consente agli utenti di "piantare" diversi semi dell'uso del suolo per poi osservare come l'ambiente evolva nello spazio e nel tempo (si comparino le figure successive); inoltre, il software è in grado di mostrare le diverse traiettorie dei cambiamenti dei diversi usi del suolo nel tempo.

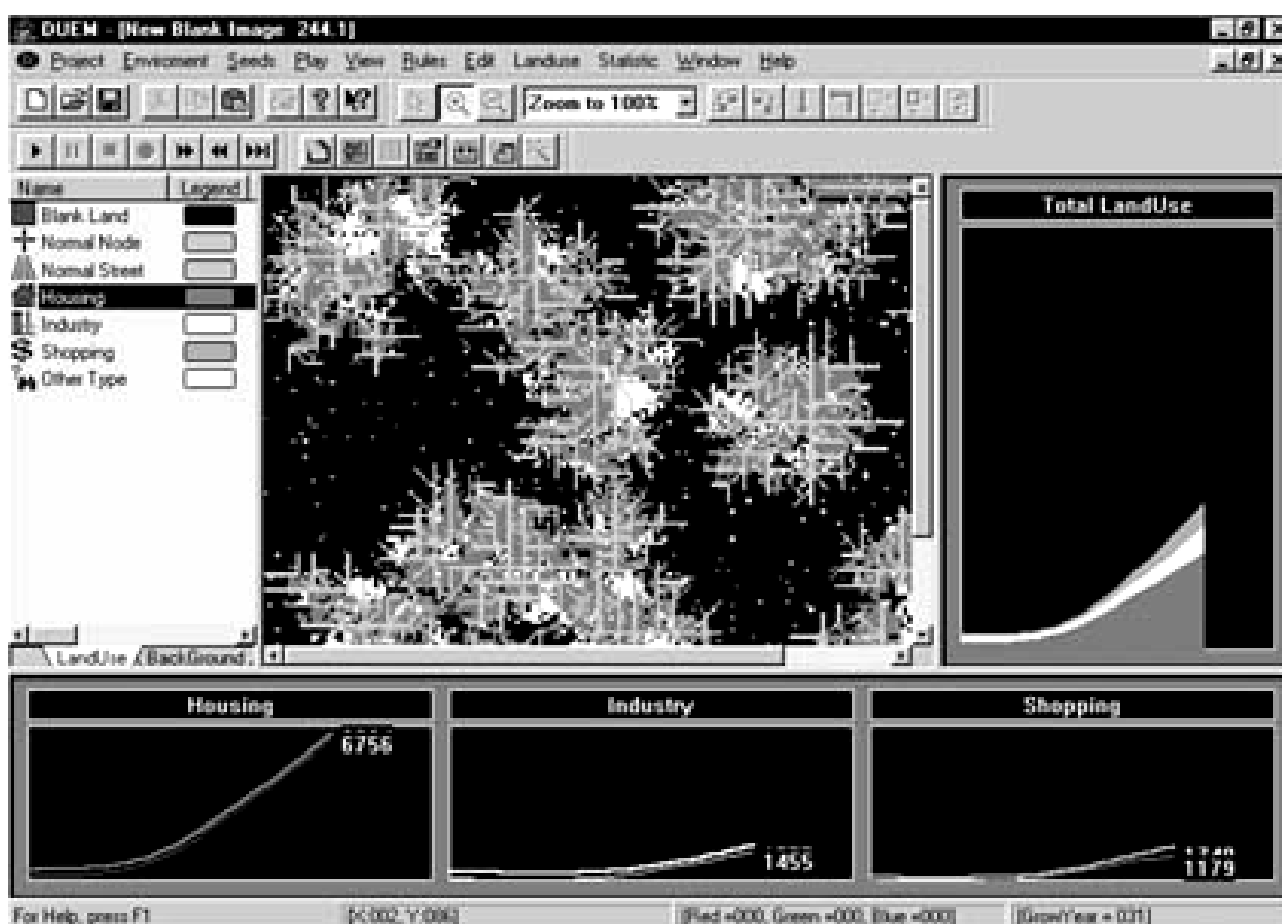


Schermata del sw DUEM¹⁹

¹⁹ Immagini scaricabili dal sito del centro Casa, <http://www.casa.ucl.ac.uk/>

L'interfaccia è in grado d'assemblare un grosso numero di informazioni disaggregate, compresi i trend statistici, in modo da renderli facilmente assimilabili e trattabili: è una caratteristica necessaria (se non addirittura fondamentale) per aiutare il funzionamento del modello, e svariate sono le applicazioni del software nell'analisi territoriale con interoperabilità in ambiente Gis tra cui, di particolare rilievo, quelle effettuate da Batty & Xie, 1997²⁰ e da Batty & Stanilov, 2010²¹: nel primo caso, le analisi si sono rivolte al cambiamento della distribuzione degli usi del suolo nel tempo e in prossimità di diversi sedimi urbani, con un'applicazione fittizia per studiare l'evolversi di un'inseminazione casuale del territorio, che le figure seguenti mostrano in tempi di scansione differenti: durante l'inseminazione molti dei semi non hanno incontrato le condizioni, previste prima dell'utilizzo del modello sulle strade e sulla crescita corrispondente; in particolare:

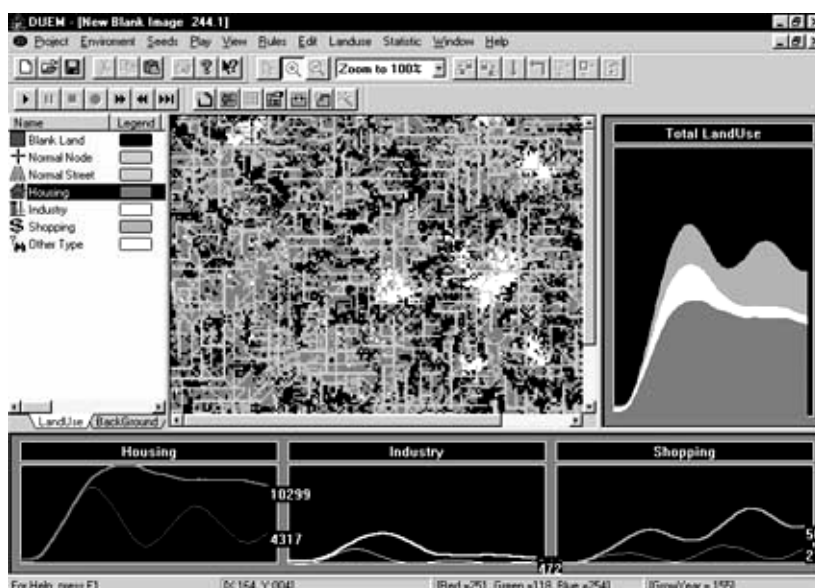
- la prima immagine (A) mostra la crescita esponenziale dopo 30 cicli di scansione, e si può notare come tutte le attività siano in aumento; infatti, dal momento che la simulazione continua, lo spazio comincia a ridursi e di conseguenza la crescita è inevitabilmente costretta;
- nella seconda immagine (B) invece è visibile la crescita esponenziale dopo 150 cicli di scansione; a questo stadio sono visibili picchi di attività, seguiti da piccole decrescite in grado di rigenerare più spazio: il sistema sta progredendo dallo stadio iniziale allo stadio maturo; questo ciclo non ha un termine preciso e, tuttavia, al suo interno si verificano situazioni di stabilità di durata variabile, non per forza a lungo termine;
- a seguire vi sarà la fase di declino, visibile dopo 377 scansioni nell'ultima immagine della serie (C) e, quindi, la fase di morte: il declino non avviene allo stesso modo per tutte le classi d'uso del suolo e, nel caso studiato, al ciclo di scansione 377 la residenza è in declino, mentre il commercio è in aumento (Batty e Xie, 1997).



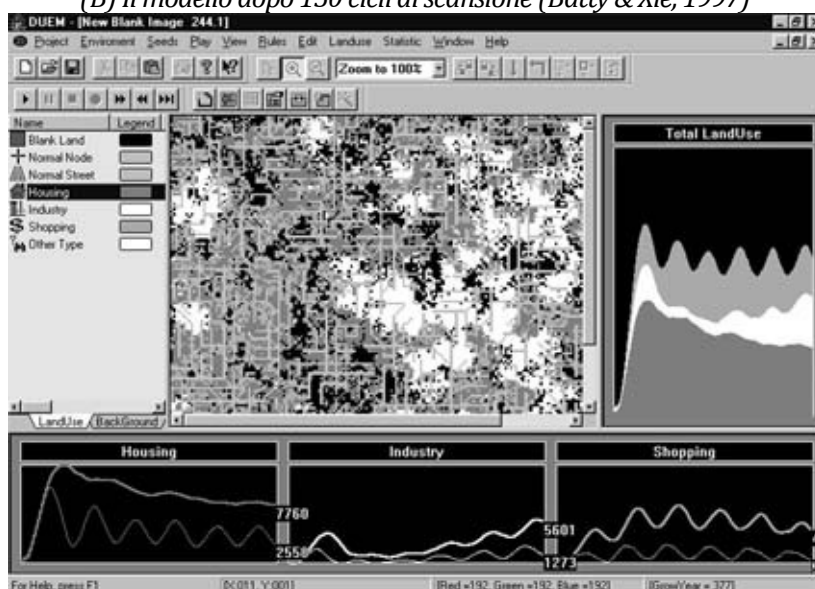
(A) Il modello dopo 30 cicli di scansione (Batty & Xie, 1997)

²⁰ «Modeling Urban Dynamics Through Gis - Based Cellular Automata».

²¹ «Exploring The Historical Determinants Of Urban Growth Through Cellular Automata».



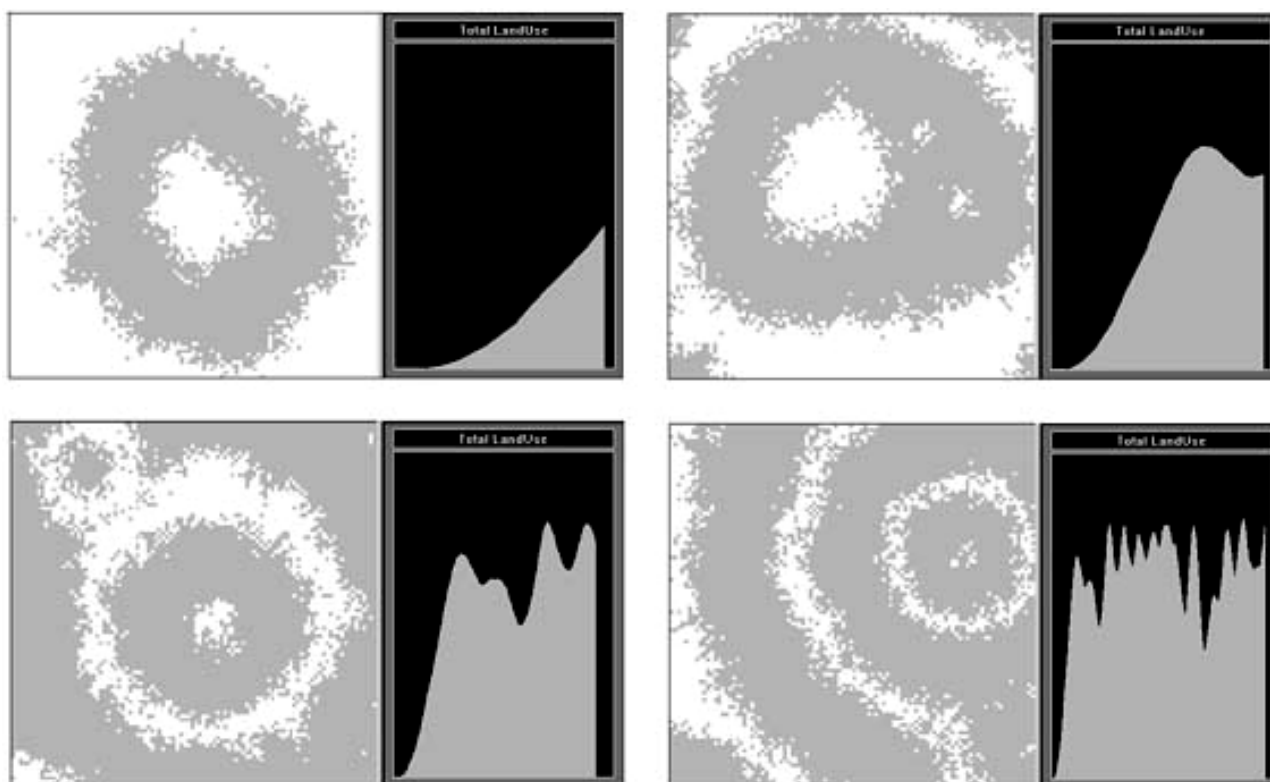
(B) Il modello dopo 150 cicli di scansione (Batty & Xie, 1997)



(C) Il modello dopo 377 cicli di scansione (Batty e Xie, 1997)

Un secondo tipo di analisi concerne le indagini relative alla creazione di un modello dinamico basato su una singola città in uno spazio dato, che ha generato la crescita logistica del tipo visto nelle precedenti immagini (A), (B), ma questa volta l'enfasi è sulla durata del periodo tra la fase di crescita attiva e lo spazio su cui essa avviene; Batty e Xie approfondiscono solo le trasformazioni urbane e i modi in cui siano in grado di generare nuove dinamiche di crescita, dal momento che anche in presenza di blocchi della crescita urbana il modello ne genera ulteriori, a volte concludendo il ciclo di vita per ricominciare dallo stadio iniziale.

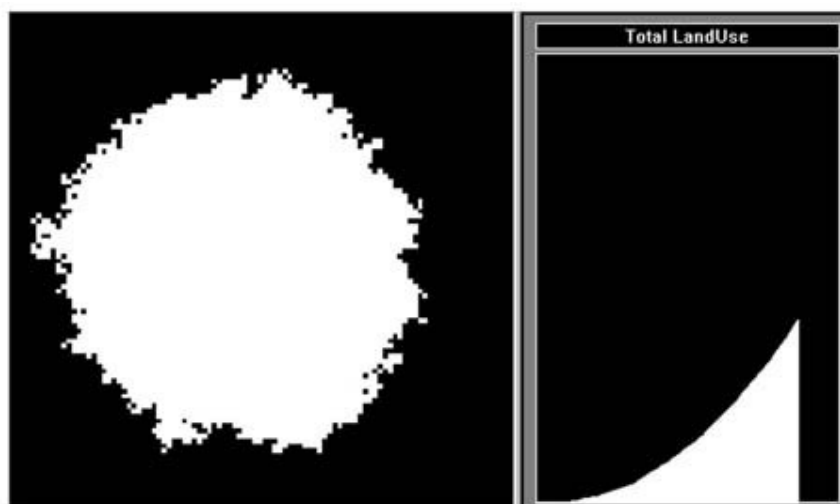
In breve, accade che il ciclo temporale sia coordinato con la collocazione spaziale: dal momento che la crescita s'espande dal centro della città verso l'esterno, in relazione alla distanza dal centro: il fenomeno è definito da Batty e Xie come "effetto dell'onda di trasformazione", un orologio pulsante che genera onde che arrivano ai punti nei quali sono stati seminati i semi all'inizio dell'analisi; nella figura seguente è possibile notare l'effetto: il sistema è settato a celle di passo 100×100 pixels, la fase di crescita dura 10 scansioni, la fase di maturazione altrettante, mentre non sono richieste strade né transizioni dall'uso residenziale ad altri usi; il secondo esperimento quindi mostra la relazione di equivalenza tra i tempi di scansione e la distanza dal centro di crescita urbana.

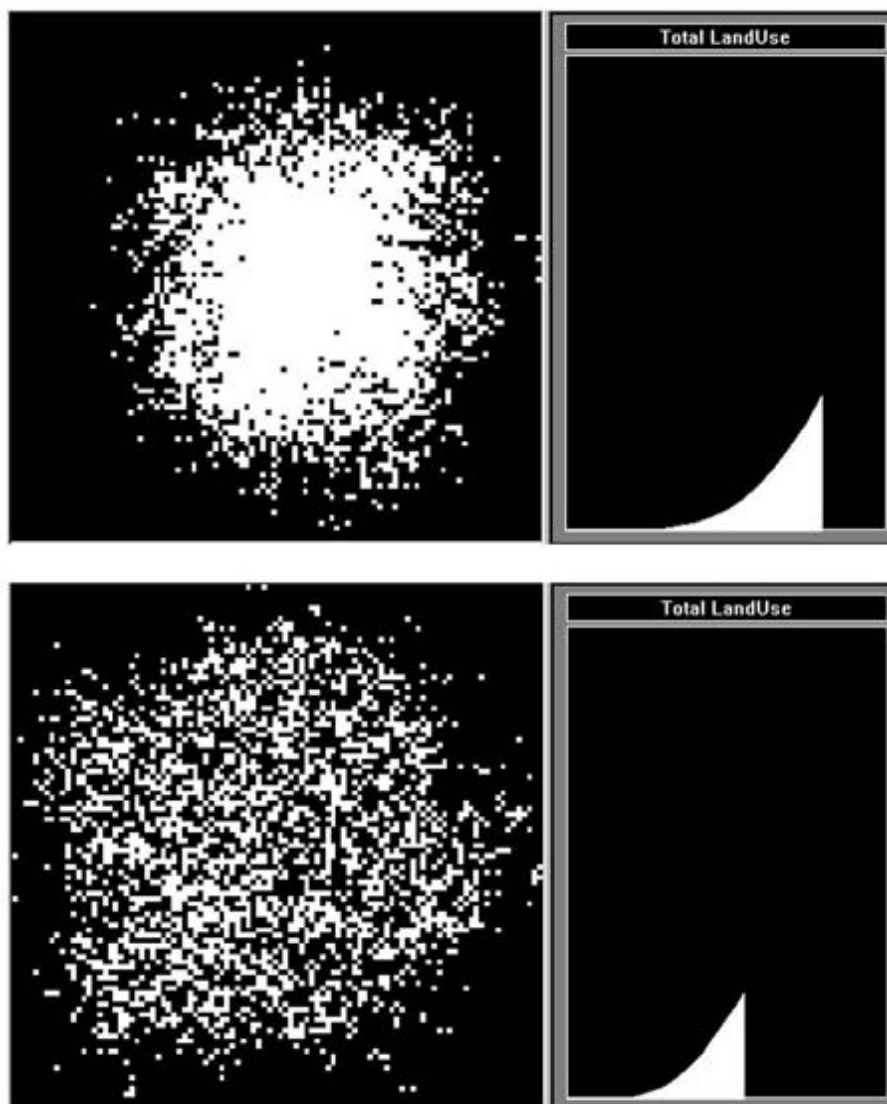


Onde di crescita urbana che riflettono i cicli di trasformazioni allo stadio maturo (Batty & Xie, 1997)

Il terzo esperimento presentato da Batty e Xie concerne la generazione di pattern a insediamento disperso settando parametri diversi: prima s' esegue la scansione di default ottenendo uno scenario compatto attorno a un seme centrale, quindi si modificano le impostazioni passando da un campo ristretto a celle di 5 x 5 pixel fino a un campo più vasto di passo 25 x 25; così il *Neighbourhood* passa da 3 x 3 a 10 x 10 con pendenza della distanza lineare = 0,1 generando un pattern più disperso, anche se risulta evidente che la dispersione reale non dipende dai terreni disponibili per le trasformazioni urbane; in seguito è generabile un pattern più disperso, assicurando un immediato passaggio dagli stadi di crescita e maturità a molti più terreni vuoti.

È interessante, nei modelli di AC per la simulazione di sistemi urbani, che un'azione locale può generare forme globali in grado d'evolvere o emergere spontaneamente senza nessun intento meccanicistico: le città rappresentano esempi d'antonomasia del fenomeno (Batty & Xie, 1997), e il caso di Limbiate può fornire materiale di studio in tale direzione.





La crescita urbana da pattern compatto a pattern disperso (Batty & Xie, 1997)

Il quarto esperimento, presentato nel paper, è relativo a una scala di applicazione diversa e introduce la sussistenza di soglie minime d'attività, necessarie in una regione affinché le città riescano a crescere: dato uno spazio di 257 x 350 pixels (l'impostazione di default del programma), sono casualmente collocabili isolati di differenti proporzioni d'uso del suolo, tuttavia tenendo conto del parametro, verificato empiricamente nel programma, per cui se più del 97% delle celle risulta in vuoto urbano, non è possibile generare alcuna città; affinché ciò avvenga è necessario ottenere un buon mix di funzioni iniziali, che Batty & Xie hanno individuato nel seguente, relativo alla creazione di 8 cluster:

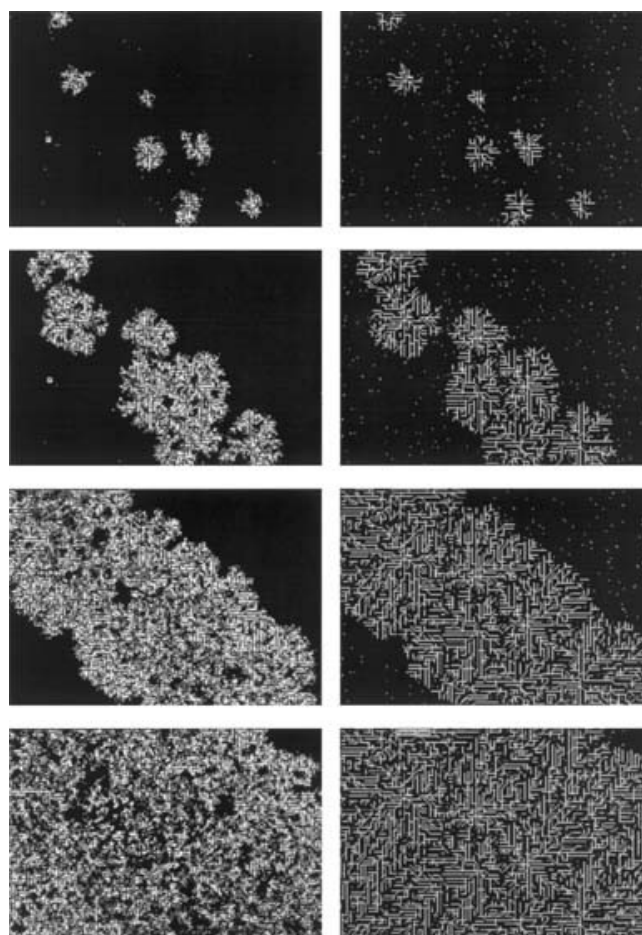
Uso del suolo	% celle
<i>Vacant/ vuoti urbani</i>	90%
<i>Residenza</i>	4%
<i>Industria e commercio</i>	2%

Parametri della ricerca su West London

Da tali parametri di partenza è stato possibile creare 25 nuovi cluster, e la fase successiva ha visto una riduzione di cluster generati, a parità di tempo poiché, riducendo il suolo libero, è minore la probabilità che avvengano delle urbanizzazioni; le medesime considerazioni valgono per lo studio, invece che d'un pattern urbanizzato, dello sviluppo d'un pattern lineare di strade.



La creazione d'un organismo urbano (Batty & Xie, 1997)



Dal compatto al disperso: il caso dell'evoluzione dell'urbanizzato e delle relative strade (Batty e Xie, 1997)

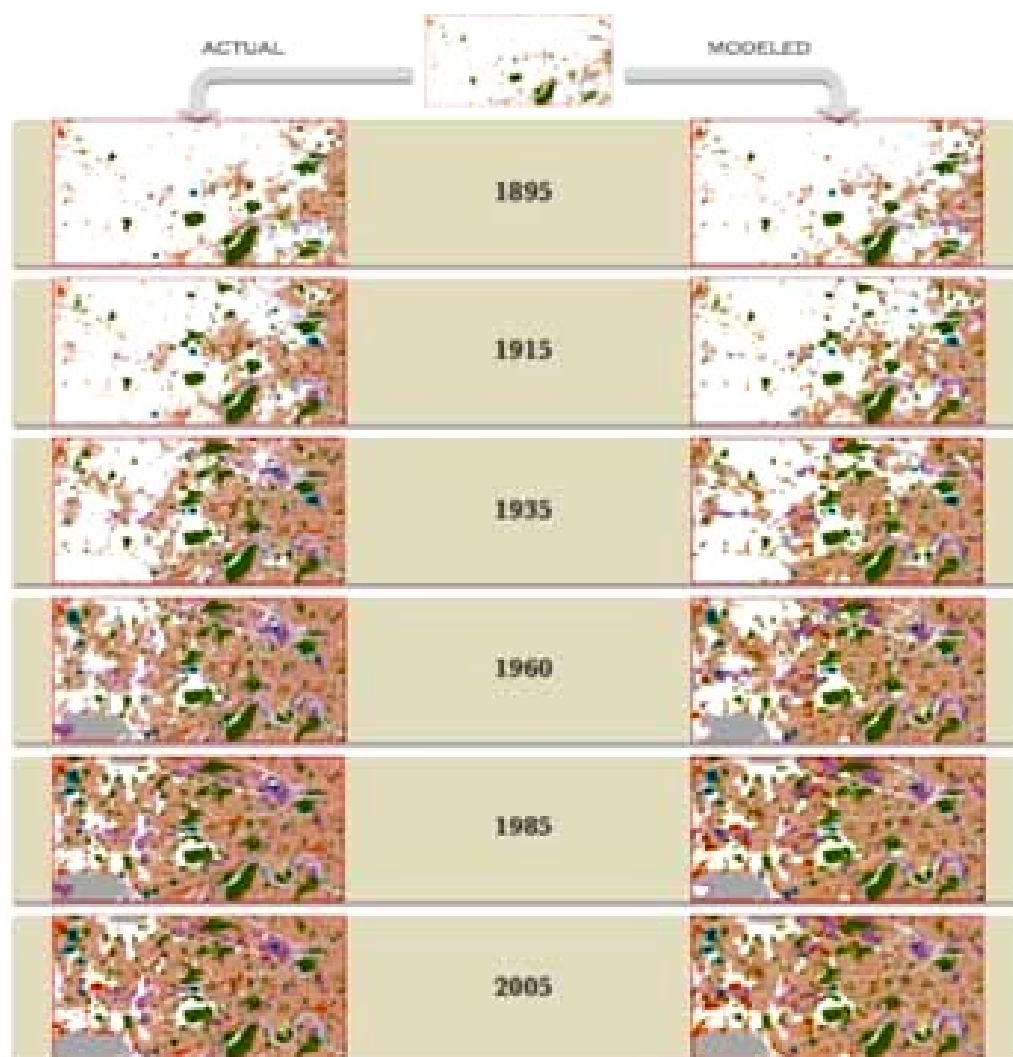
Il secondo paper presenta invece l'applicazione d'un automa cellulare per esplorare e individuare le determinanti di crescita urbana (Batty & Stanilov, 2010) nel caso di studio dell'area nord/ovest di Londra e l'ACU impiegato, in questo caso, è stato *Metronamica*, un automa rivelatosi più adeguato per studiare il territorio londinese (infatti, il software *Duem* nasce in particolare per lo studio delle aree disperse del Michigan, un ambiente ben diverso dal tessuto stratificato di Londra); l'intenzione qui non ha riguardato la previsione dei futuri cambiamenti nell'uso del suolo, ma il tentativo di definire un codice genetico, riconoscendo una particolare dinamica evolutiva attraverso lo sguardo delle soglie storiche; grazie a una banca dati ricca e ben strutturata, è stato possibile definire l'uso del suolo per diverse soglie storiche ottenendo previsioni virtuali per ognuna d'esse, da confrontare con lo sviluppo realmente avvenuto.

Il risultato ha confermato una crescita altamente dinamica per l'area studiata, oltre a una complessa configurazione del *land use*: è stato infatti possibile individuare tre periodi distinti di caratterizzazione tramite patterns: (*i*) una prima fase di *nucleizzazione* (1875 – 1915), (*ii*) una fase di *diffusione* (1915 – 1960) e una terza fase di *addizione* o *infill* (1960 – 2005); la sfida del modello era quella di riprodurre i

pattern individuati attraverso l'unico strato informativo dell'uso del suolo, trattato prima in ambiente Gis tramite il software ArcGis, e le analisi hanno confermato la presenza di relazioni consistenti tra la distribuzione degli usi del suolo e la loro prossimità rispetto alle strade principali, alle ferrovie e alle stazioni ferroviarie, ai cluster produttivi suburbani; tuttavia, ha anche rivisto alcune convinzioni sulla crescita urbana londinese, che vedeva una maggior diffusione nel periodo tra il 1935 e il 1960.

In realtà le analisi dimostrano come una crescita ancor più dispersa, in relazione alla distanza rispetto alle determinanti prima elencate, è avvenuta nel periodo tra il 1915 e il 1935.

In generale, un fatto decisamente interessante dello studio riguarda il paragone tra le previsioni delle soglie storiche e gli assetti reali, che risultano pressoché sovrapponibili, dimostrando che l'automa utilizzato è stato un valido strumento di simulazione.



Paragone tra gli usi del suolo reali (actual) e quelli previsti dal modello (modeled)

Sistemi multiagenti

Un altro tipo di modelli, temporalmente successivo agli ACU, viene utilizzato per modellare sistemi urbani in applicazioni di pianificazione territoriale: i sistemi multi - agente (MAS) che a livello più astratto rappresentano, a differenza d'una cella, un'unità d'elaborazione dotata della capacità di muoversi nello spazio circostante; effettivamente risultati recenti propongono un approccio unificato tra sistemi multi - agente e automi cellulare, col ruolo degli agenti (ovviamente) quello di ricreare la popolazione urbana simulando le azioni degli attori rilevanti nei processi di trasformazione urbana con

scelta concettualmente più plausibile, rispetto al considerare le transizioni di stato d'una cella unicamente seguendo il paradigma classico degli automi cellulari.

Nell'ambito del centro di ricerca CASA, lo studio delle città tramite MAS sta generando risultati per l'analisi di diverse componenti urbane, e non per la sola morfologia come accadeva invece nelle geometrie frattali²².

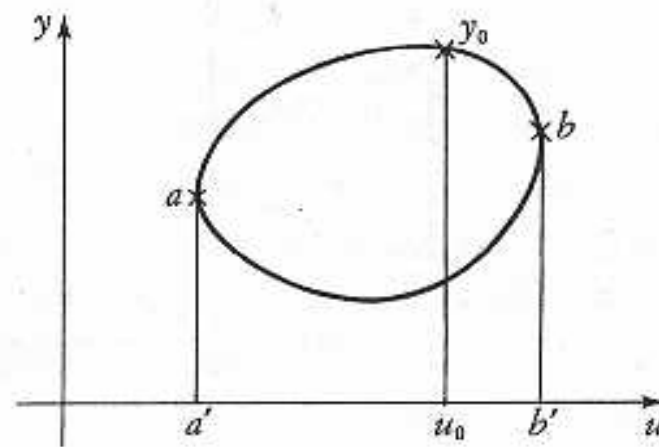
1.2. *Il contributo italiano*

Anche in sede italiana sono stati generati contributi all'arricchimento dello studio dello spazio configurazionale e all'analisi territoriale in genere; in particolare, vediamo qui i contributi di Crotti, Cutini, Ratti, Diappi, Griguolo e Cecchini.

1.2.1. *La scuola di Sergio Crotti e lo studio della morfogenesi urbana*

Sergio Crotti²³ ha sviluppato originali studi sulla progettazione architettonica e urbana in rapporto alla morfogenesi insediativa, avviando una discussione sul ruolo del progetto architettonico come elemento di modificazione degli assetti urbani, intendendo per *morfogenesi* un processo trasformativo comportante modificazioni in un sistema, che passa dalla condizione di stabilità a una instabile per poi riportarsi a uno stato consolidato stabile, che in futuro potrebbe essere nuovamente trasformato; la nozione richiama gli studi del matematico René Thom, che ha osservato l'instabilità di sistemi matematici introducendo la teoria delle catastrofi, che descrive come un sistema passi dalla stabilità a una condizione instabile nel punto di catastrofe in cui il sistema collassa²⁴.

In $u = b'$ il sistema è distrutto poiché in b la funzione non è derivabile:



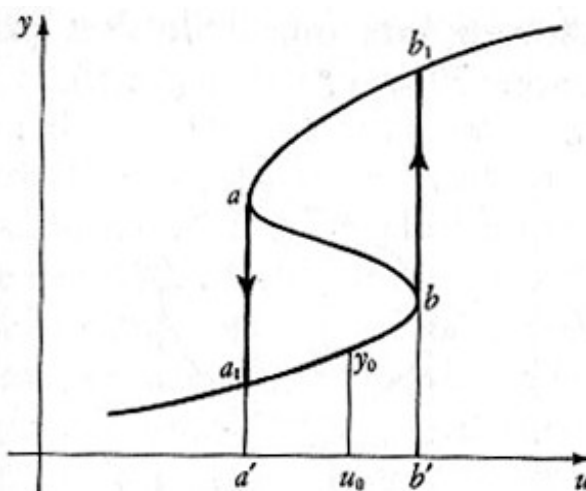
Catastrofe nel senso usuale

ma Thom introduce invece un nuovo concetto di catastrofe, considerato non come un momento di morte del sistema ma d'evoluzione, genesi di qualcosa d'altro: una catastrofe in senso thomiano è il punto di svolta d'un processo morfogenetico, manovra di sopravvivenza d'un sistema sfrattato dalla sua abituale caratteristica; ed effettivamente, come si può vedere in figura successiva, in $u = b'$ il sistema non si distrugge grazie a un salto brusco da b a b_1 :

²² I risultati ottenuti riguardano: "Constructing and Implementing an Agent - Based Model of Residential Segregation through Vector Gis" (Crooks, 2008); "Building 3D Agent - Based Models for Urban Systems" (Crooks *et al.*, 2010); "Modeling Urban Growth: An Agent Based Microeconomic Approach to Urban Dynamics and Spatial Policy Simulation" (Kim & Batty, 2011).

²³ Professore emerito nel Politecnico di Milano.

²⁴ Nella matematica classica per punto di catastrofe s'intende un punto non derivabile della curva descrittiva del sistema.



Catastrofe nel senso thomiano

Crotti riprende tali teorie nell'analisi territoriale, imprimendo la sua concezione morfogenetica in situazioni in cui *“gli elementi e le parti instabili che precedono la conformazione stabilizzata provengono essi stessi dalla destabilizzazione o destrutturazione di precedenti forme relativamente instabili”*; la costruzione dello spazio consiste (Crotti, 1994) nel far *“convergere”* tutte le determinazioni progettuali verso la coincidenza dell'integralità morfologica, della complessità tipologica e dell'appropriatezza tecnologica: **i)** indagando la relazione tra struttura urbana e studio delle sue trasformazioni; **ii)** considerando come le determinazioni spaziali conseguano all'interazione dei fattori strutturali oggettivi di ordine fisico/formale, sociale/utilitario e produttivo/realizzativo; **iii)** agendo per intorni locali, circoscritti, discreti ma tali da indurre modificazioni estese tramite *nessi relazionali e luoghi notevoli*.

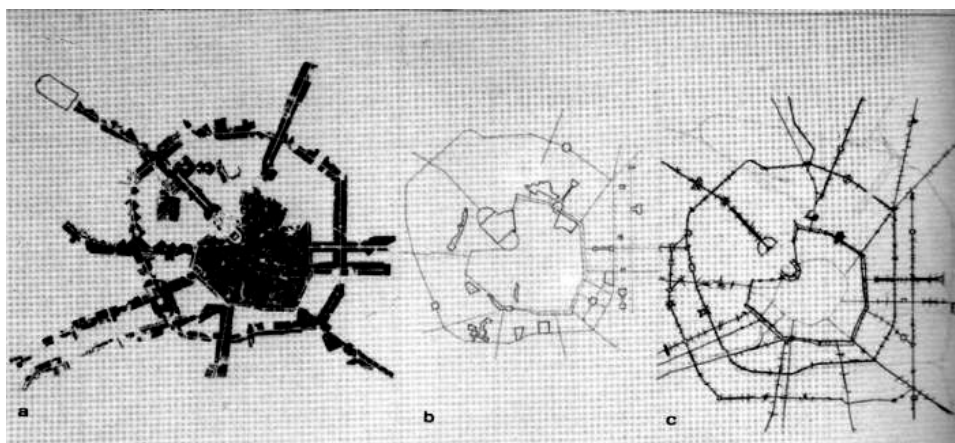
Crotti denuncia una mancanza di formalizzazione dello sforzo teorico, consistente nella ricerca modellistica sperimentale dei nessi intercorrenti tra configurazioni insediative assegnate e processi modificativi dello spazio, che il paradigma progettuale può rivelare sviluppando un idoneo formalismo della sequenza descrittiva/interpretativa/operativa, indirizzata al controllo dell'assetto finale in rapporto allo stato iniziale del campo (Crotti, 1986).

Osservando i sistemi urbanizzati, il procedimento riconosce *“intorni singolari”* in cui le interazioni dei fattori strutturali (fisici, sociali, produttivi) inducono situazioni caratteristiche, tendenti a esprimere localmente un ruolo discriminante nella dinamica complessiva e individuandosi quindi come punti di riferimento, *“luoghi notevoli”* dello spazio, risultanti delle *“variabili insediative”* (Crotti, 1986); ma la elevata complessità urbana non consente facili operazioni di formalizzazione, e una prima difficoltà incontrabile nel tentativo di descrivere lo spazio è quella di ridurre le variabili insediative secondo linguaggi di traduzione uniformi: in effetti, interrogare un sistema complesso, variabile ed esteso, quale la struttura urbana significa rivolgere domande specifiche e adottare procedure selettive, attente alle differenze ma capaci di ricondurre a omogeneità gli esiti interpretativi.

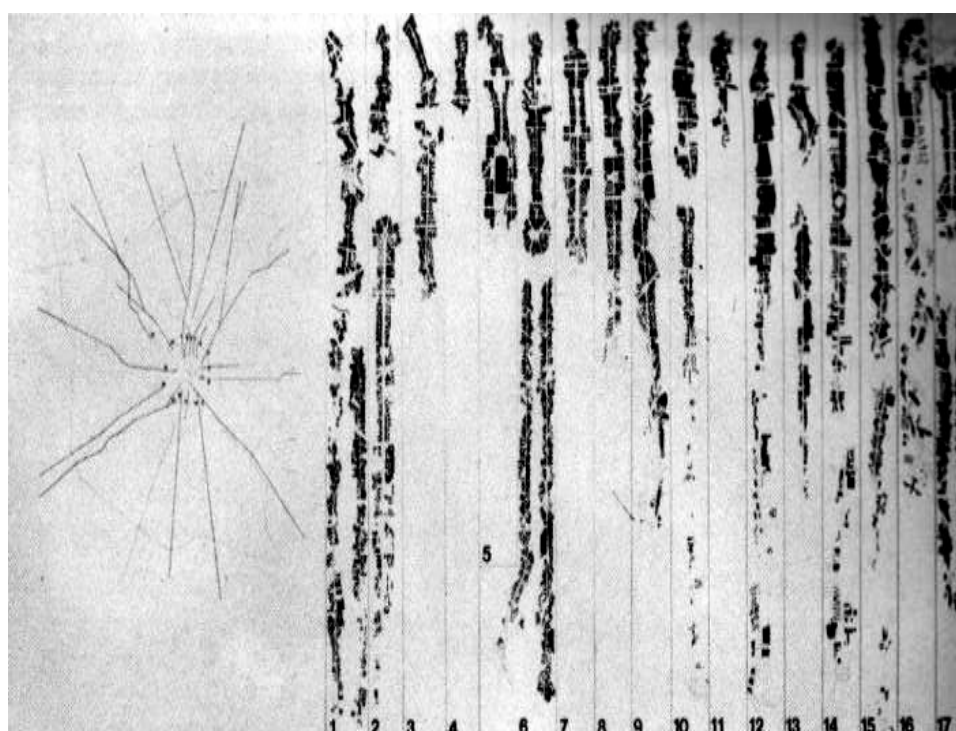
Ulteriore elemento di complessità è dato dalle mutazioni temporali dell'organismo urbano: infatti, alla osservazione del quadro insediativo in vista delle sue trasformazioni si constata un'influenza dei fattori strutturali oggettivi delle configurazioni spaziali non percepibile, né valutabile, né controllabile in linea diretta: allo spazio fisico è assegnato un effettivo ruolo strutturale in cui si materializzano i molteplici, eterogenei, contraddittori processi di produzione e riproduzione insediativa (Crotti, 1988) in seno a un *“sistema dinamico”*, nella cui fisicità si riconoscono impressi tutti gli strati storici dell'abitato e si vedono iscritte le loro stesse potenzialità di mutamento.

È qui che s'introduce la dimensione morfogenetica d'un territorio: il disegno della città non viene più pensato rispetto a un modello di riferimento fisso, presupposto e compiuto, ma nel suo processo di formazione, deformazione e trasformazione: si tratta di liberare le virtualità formali del processo generativo (morfogenetico, appunto) che agisce per intorni locali, circoscritti, discreti, tuttavia inducendo modificazioni strutturali assai estese che toccano i contenuti qualitativi, prescindendo dalle scale

dimensionali dell'intervento e sostenendo i nessi relazionali intercorrenti tra i diversi componenti del quadro, che trascrivono la natura polisemica dello spazio (Crotti, 1988); alla decifrazione del contesto urbano sono dunque necessarie le procedure di trascrizione del suo impianto fisico, elaborabili secondo letture che attraversano i paesaggi concatenati e susseguenti dell'analisi descrittiva, della interpretazione storico critica, dell'operazione progettuale, configurandosi tutti come momenti selettori. La fase descrittiva permette d'individuare intorni significativi delimitati, che assumono emergenza strutturale, che pertanto sono denotabili come luoghi notevoli e che Crotti definisce "*campi perimetrati*"; per esempio, in un sistema dinamico urbano sono individuabili campi relazionali con elevati gradi d'interazione tra parti costitutive, parti labili e legami intercorrenti, mentre il campo perimetrato è costituito da una specifica sezione urbana²⁵.



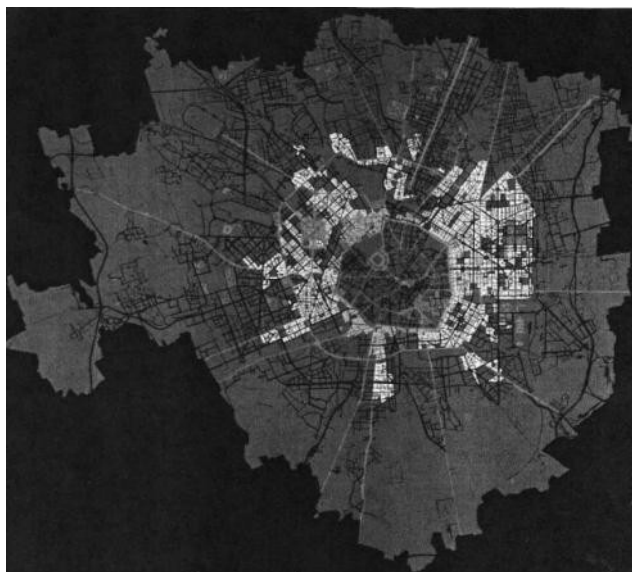
Analisi morfologica con il sistema di aste, nodi, assi (Crotti, 1988)



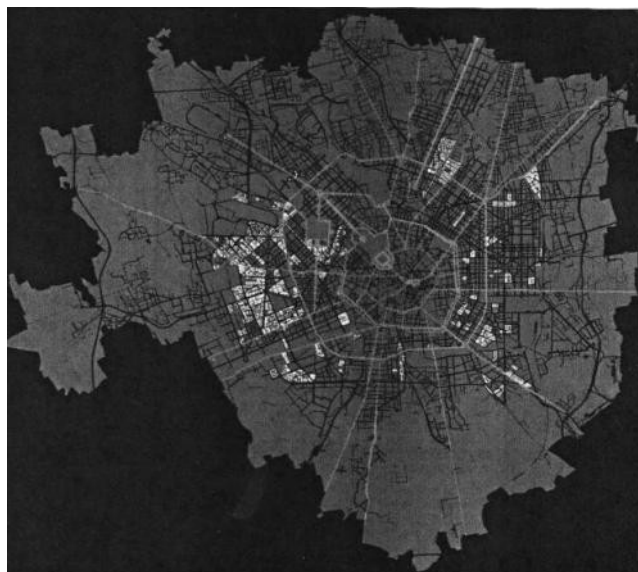
Analisi dell'armatura urbana milanese: gli assi radiali (Crotti, 1988)

²⁵ Le applicazioni individuate da Crotti investono l'analisi morfologica e dell'armatura urbana, la prima volta a individuare la struttura portante del sistema, i suoi sottoinsiemi morfologicamente definiti, i nessi relazionali attraverso i parametri dello spazio edificato, degli spazi aperti o ineditati e dei tracciati di relazione, la seconda consiste nell'identificazione di sistemi di aste, nodi urbani, assi concentrici e assi radiali, costituenti l'armatura urbana d'un ambito spaziale.

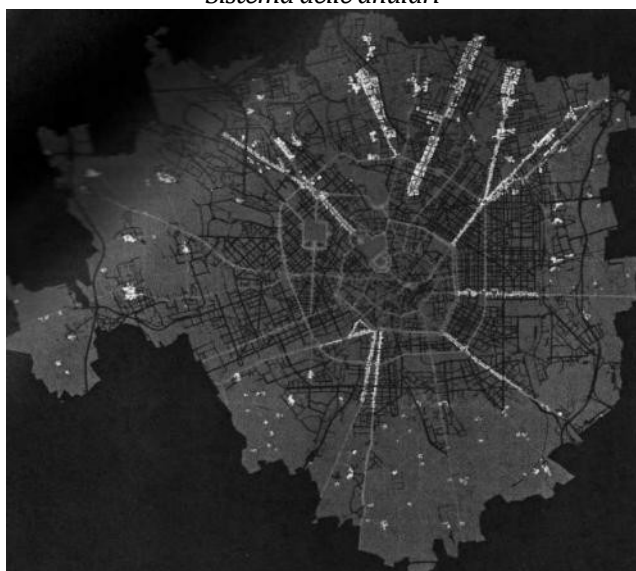
Tali interpretazioni non appaiono sistematizzate né presentano l'utilizzo di software per oggettivare i risultati e, tuttavia, risultano di grande impatto visivo, anche se molti dubbi emergono per la difficoltà di determinare i campi perimetrali; in ogni modo, un'interessante applicazione dei metodi della scuola di Crotti emergono nelle analisi del Piano delle regole del Pgt di Milano a cura di Ilaria Valente (2005) la cui tassonomia è stata intesa come strumento rappresentativo costituito da una sequenza di diagrammi che selezionano identità ed evidenze entro il mosaico delle configurazioni urbane individuate, facendone conseguire il rilievo e la denominazione di "tessiture consolidate" la cui identità è rilevabile grazie al mantenimento e alla persistenza di caratteri morfotipologici e di "ambiti di labilità", quelle situazioni di forte instabilità morfologica che si presentano sia nelle aree di frangia sia nei margini urbani interni.



Sistema delle anulari



Isolati a tessitura



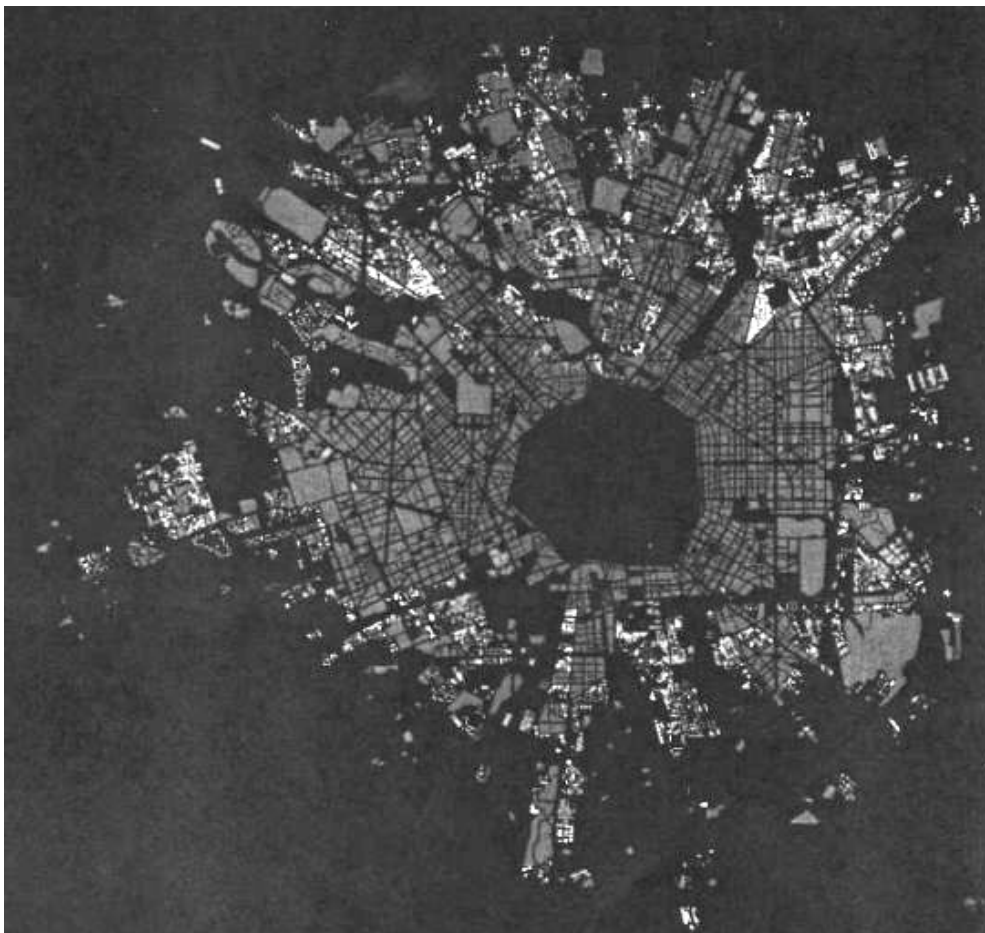
Sistema delle radiali



Insiemi urbani (Peep)

La tassonomia delle configurazioni (Valente, 2005)

Per la messa a punto della tassonomia, la Valente analizza la struttura dello spazio abitato, intesa come il nesso intuibile tra spazio costruito, spazio aperto e armatura dei tracciati viari e di relazione, ottenendo così un composto di configurazioni consolidate e labili, nella lettura simultanea della complessità dei caratteri della morfologia urbana.



La tassonomia delle configurazioni labili (Valente, 2005)

Il campo applicativo della descrizione morfologica milanese è l'insieme di tessuti disposti fuori dalle mura spagnole, che delimitano il nucleo storico consolidato; in considerazione di tal matrice formativa, la descrizione assume *"l'isolato come unità morfologica caratteristica"* del tessuto milanese e la configurazione delle maglie d'ampliamento disegnate dai piani regolatori permette d'individuare nella tassonomia degli ambiti consolidati le radiali storiche, i nuclei consolidati, le cascine e gli insediamenti rurali; un sistema morfologico appoggiato alla tessitura delle radiali è quello composto dalla costellazione degli insiemi urbani, costituiti dai quartieri pianificati dell'edilizia pubblica, a cui s'aggiungono le nuove polarità urbane costituite dal ridisegno delle aree industriali dismesse (come Santa Giulia), e i differenti strati dei disegni consolidati si sovrappongono e interferiscono, introducendo *"limiti di forma"* tra configurazioni a costituire un mosaico di tessiture dalla grana complessa, sostenuto dai capisaldi dei grandi impianti e servizi urbani (Valente, 2005).

I *"limiti di forma"* costituiscono le linee di confine delle tessiture consolidate lungo cui si dispongono, come cunei o bordi destrutturati, le configurazioni marginali e di frangia, di cui è stata messa a punto una *"tassonomia delle configurazioni labili"* che costituisce il negativo urbano di quelle consolidate: esse presentano differenti gradi d'instabilità dovuti alla destrutturazione del nesso spaziale tra le componenti della morfologia urbana, in particolare tra edificato e spazi liberi che, in tali configurazioni, perdono i loro connotati relazionali diventando sia contenitori indifferenti di oggetti edilizi sia spazi residui risultanti dalla frammentazione della grana tissutale.

Le configurazioni labili si presentano sia negli *"ambiti di frangia"*, dove si riscontra la rarefazione dei disegni e della logica insediativa, sia nei *"margini urbani interni"* individuando, altresì, altri sottoinsiemi morfologici quali gli *"insediamenti industriali e produttivi"*, le *"edificazioni a tessitura aperta residuale e di riempimento"*, gli *"isolati a saturazione mista"* e gli *"isolati a saturazione mista compresi tra le radiali storiche"*, oltre alla *"edificazione aperta dispersa"* e alle *"aree labili rade"*.

1.2.2. Valerio Cutini e le origini dell'analisi configurazionale²⁶

“Inutilmente, magnanimo Kublai, tenterò di descriverti la città di Zaira dagli alti bastioni. Potrei dirti di quanti gradini sono le vie fatte a scale, di che sesto gli archi dei porticati, di quali lamine di zinco sono ricoperti i tetti; ma so già che sarebbe come non dirti nulla. Non di questo è fatta la città, ma di relazioni tra le misure del suo spazio e gli avvenimenti del suo passato” (Italo Calvino, *Le città invisibili*).

In questo libro indubbiamente viene richiamata la *Space Syntax* di Hillier, e il richiamo ha luogo da parte di Cutini (della Facoltà d'Ingegneria dell'Università degli Studi di Pisa, da anni impegnato sul tema dell'analisi degli insediamenti urbani e dei loro processi evolutivi, *“per trovare quello che calzasse meglio su una realtà che a sua volta era sempre fatta di tante realtà diverse, nel tempo e nello spazio”*, ancora secondo Calvino).

Viene qui assunta la mutevolezza come elemento base dell'analisi, in situazioni “locali e limitate” come quella del centro storico di Limbiate, che verrà successivamente esaminato; in tale metodo d'indagine, lo spazio aperto è definito principalmente dai suoi perimetri (le strade, le piazze, i parchi, i giardini) da apprezzarsi e viverli dalle diverse popolazioni che lo percorrono e che si spostano; il primo passaggio dell'analisi è quello d'identificare il tessuto fisico urbano come pannello di quinta del sistema, in cui si svolgono le interazioni tra i soggetti, in un'origine dell'analisi configurazionale che muove dallo stesso spazio stabilito dagli studi hilleriani, dal fatto che i due layout – quello materiale degli edifici e quello immateriale delle attività – siano correlati e integrati: lo spazio urbano diventa l'elemento, l'oggetto privilegiato dell'analisi, la base di tutte le analisi.

Quando Hillier si occupa di *Space Syntax*, la «*sintassi spaziale*», egli attribuisce allo spazio una specifica essenza strutturale delle relazioni tra le sue componenti che, nell'interpretazione di Cutini, viene trasformata nell'«*analisi configurazionale*» soprattutto per evidenziare la necessità dell'utilizzo di modelli quantitativi idonei a misurare le proprietà fisiche d'un aggregato urbano e i fenomeni che v'insistono, insieme alla localizzazione delle attività nell'accezione del rinascimentale Leon Battista Alberti per cui *“la città è come una grande casa e la casa a sua volta è come una piccola città”*.

I principali punti dell'impostazione configurazionale interessano la comprensione della geografia interna degli aggregati insediativi e la simulazione degli effetti delle trasformazioni come strumento di valutazione e verifica della pianificazione; il primo steep punta perciò l'attenzione sullo spazio urbano come vera e propria matrice dei processi che vi s'ingenerano, delle interconnessioni con i suoi elementi costitutivi, della matrice urbana facilitatrice del movimento “naturale” che crea localizzazioni privilegiate: in base appunto alla matrice urbana tale fenomeno susciterà momenti di crescita, identificando luoghi privilegiati dentro la città attraverso un effetto moltiplicativo, ripreso dalla visione hilleriana, a partire da una matrice urbana costituita dal complesso di tutti gli spazi pubblici e dallo spazio costruito come contenitore delle attività.

L'elemento principale che caratterizza, secondo l'approccio configurazionale, lo spostamento è la frequenza con cui, nel suo corso, si deve mutare la propria prospettiva visuale (*Viewsheds*), e il momento in cui l'osservatore raggiunge la visuale completa del tracciato verrà comunque percepito come il più vicino ed accessibile.

La scomposizione dello spazio urbano

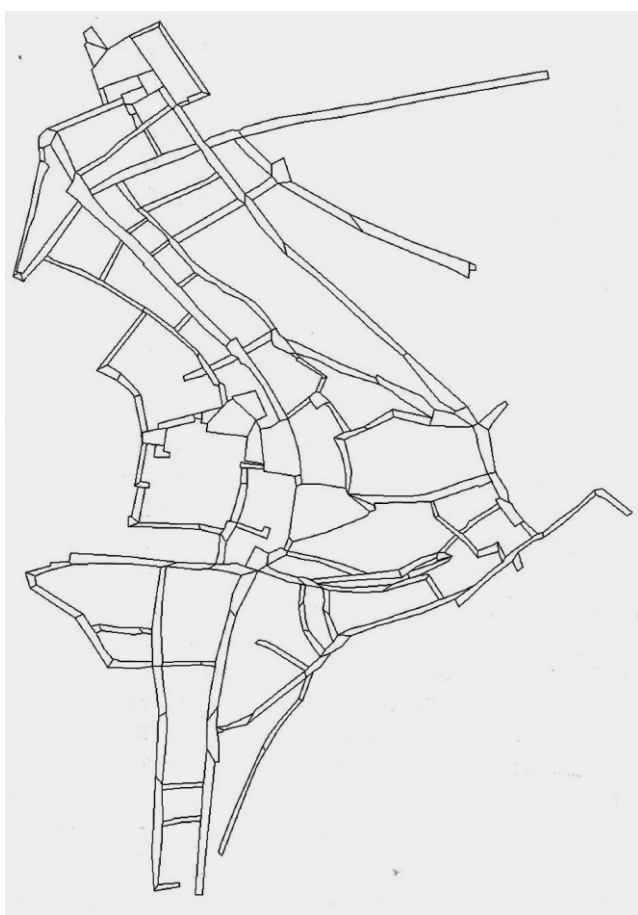
Si tratta di definire quali elementi individuare nel *continuum* per assoggettarli all'analisi relazionale; rappresenta elemento base dell'analisi lo spazio convesso come luogo dei punti in condizione di mutua visibilità, in quanto ogni suo punto è visibile al suo interno; una sintesi dei fattori fondativi configurazionali concernerà perciò: **i**) il riconoscimento dello spazio urbano (nel nostro caso, il riconoscimento del centro storico di Limbiate); **ii**) l'assunzione della matrice urbana (principalmente attraver-

²⁶ Tecnica analizzata e approfondita all'interno del libro: *“La rivincita dello spazio urbano. L'approccio configurazionale allo studio e all'analisi dei centri abitati, Valerio Cutini.”*

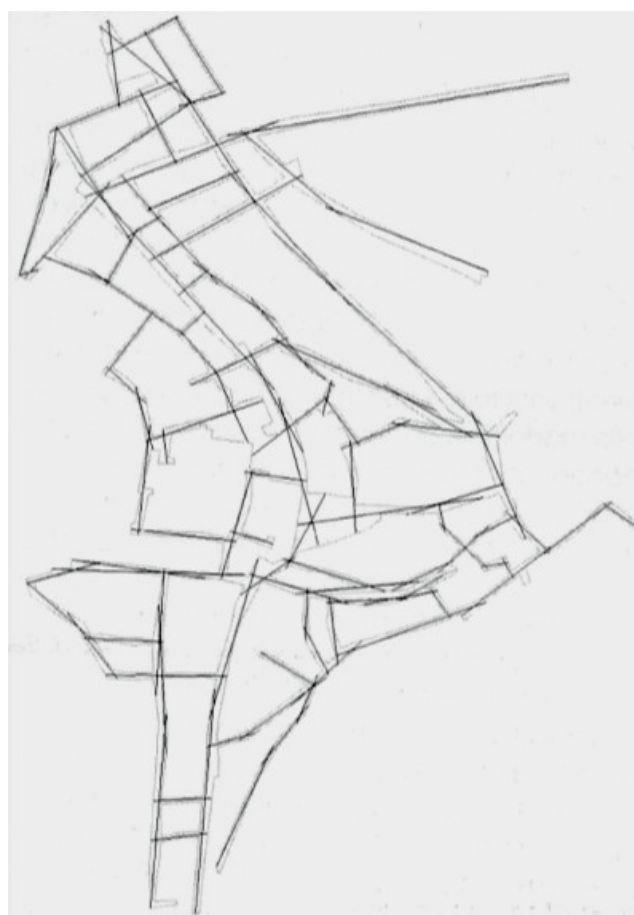
so l'utilizzo dello stradario comunale); **iii**) le relazioni spaziali tra gli elementi della matrice; **iv**) le ipotesi d'esistenza del movimento naturale; **v**) la percezione visiva dello spazio nella matrice.

Tre gli aspetti da chiarire nell'analisi formalizzata da Cutini: **x**) come discretizzare la matrice urbana; **y**) quale rapporto spaziale va assunto come relazione di sistema; **z**) quali i parametri quantitativi più idonei; e, inoltre, due modalità analitiche principali per rispondere, riprese da Hillier: **a**) l'*Axial Analysis*, **b**) la *Visibility Analysis*.

Con l'*Axial Analysis* il tracciato rettilineo viene perciò assunto come elemento nodale dell'articolazione dello spazio, e il secondo passo ridurrà la dimensione urbana al rango d'un sistema discreto e unidimensionale, costituito da segmenti lineari interconnessi (il che avrà luogo anche per il caso studio di Limbiate), insieme alla costruzione d'una mappa di angoli convessi composta da segmenti (*Axial Lines*): aiuta, a semplificare l'operazione, immaginare tale mappa come fili invisibili tesi tra uno spazio convesso e l'altro, in un assetto in cui le nozioni di percezione visiva e spostamento si correlano attraverso l'*Axial Map*, generando una matrice urbana disaggregata in un complesso di *Lines* rappresentative dello spazio in studio (come negli esempi sottostanti).



Spazi convessi della matrice urbana



Axial Map dell'area studio

La costruzione dell'Axial Map

In questo caso, quindi, solo gli spazi convessi percepibili da altri spazi della matrice saranno visti come ambiti interni al sistema; la profondità fra linee (distanza che separa coppie di linee) verrà identificata col numero di linee interposte lungo il percorso più breve tra una e l'altra, e attraverso tali grafi di rappresentazione dell'*Axial Map* non si perderanno tutti gli aspetti morfologici, trasformabili in numeri attraverso i successivi procedimenti di natura quantitativa.

La connettività, elemento base dell'analisi, è definita come il numero delle *Lines* direttamente connesse a una linea, che può variare tra 1 (percorso a cul de sac) e $k-1$ (linea connessa a tutte le altre del si-

stema), mentre il valore di controllo è il grado di controllo che una determinata linea esercita sui percorsi in entrata verso le *Lines* connesse.

Ultimo elemento necessario all'analisi è l'indice d'integrazione d'una linea, definito con la sua profondità media rispetto alle altre dell'*Axial Map*, stabilendo quindi le linee più integrate e quelle più segregate (in base alla profondità di queste ultime), in maniera da poter confrontare organismi urbani di differenti grandezze o esiti di progetto dello stesso aggregato (sulla base d'un concetto ripreso da Hillier): in una situazione in cui le linee possiedono un'integrazione nulla (pari a 0) si tratta d'un caso di assoluta simmetria di tali linee (in altre parole lo spostamento non comporta utilizzo d'altre linee) mentre, dove l'indice è unitario, si presenta una situazione d'assoluta asimmetria²⁷.

La corrispondenza tra integrazione e attività urbane

Il maggiore apporto dello studio di Cutini investe l'identificazione dei caratteri base di tali tecniche e delle loro potenzialità, limiti e prospettive: le *Liner Analysis* e *Graph Analysis* dietro all'evidente differenza operativa servono a rappresentare fenomeni insediativi di simile portata, pur muovendo da due punti diversi (nel primo caso riferendosi allo spazio convesso, nel secondo all'interesse per il vertice). Quanto lega tali tecniche è la valenza configurazionale, ossia l'insieme dei parametri il cui valore dipende dal rapporto tra gli elementi sistema, privilegiando perciò l'indice d'integrazione.

Alcuni esempi in Toscana (tra gli altri S. Gimignano) identificano la centralità principale con la chiesa storica o col palazzo pubblico, in maniera da renderli comparabili con l'effettiva collocazione del centro configurazionale rispetto all'*Axial Map*, per poi identificare le *Integration Lines* (vale a dire le linee con più alto valore d'indice d'integrazione).

Si può concludere dunque come le attività più importanti d'un centro cittadino risultino strettamente connesse agli indici configurazionali, e ciò permette d'affermare che le ragioni localizzative di diverse attività pubbliche vanno ricercate nell'articolazione della matrice dei percorsi, che contengono al loro interno le ragioni della propria geografia insediativa; è possibile perciò identificare uno strettissimo rapporto di correlazione tra l'andamento dell'indice di integrazione locale e la ripartizione dei flussi di movimento pedonale, giacché in molti casi tale indice sembrerebbe riprodurre la distribuzione della densità di movimento pedonale sui tronchi viari.

Alcuni dubbi sono insorti circa l'efficacia e l'utilità delle tecniche di analisi configurazionale per vasti aggregati urbani, al posto della loro più limitata applicazione per i centri storici; ma questo problema non sembra inficiare il nostro campo d'indagine sullo spazio comunale di Limbiate, il cui nucleo storico e la parte di territorio urbanizzata non sono così estese da generare intoppi all'applicazione del software d'analisi configurazionale.

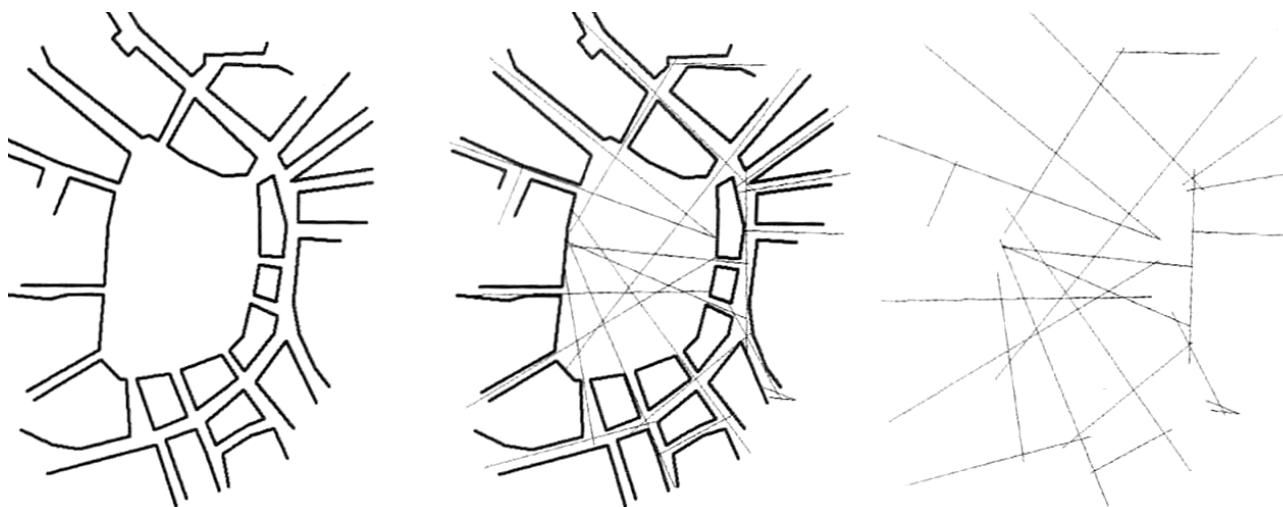
Altri nodi sono rappresentati dalle presenza di attività non configurazionali, vale a dire tutte le attività collocate in aree a debole rilevanza configurazionale e, quindi, la cui collocazione rispetto alla matrice urbana è sostanzialmente indifferente; rilevante è perciò in questo caso il ruolo del pianificatore nella considerazione di diverse logiche d'azione e di possibili alternative, nella prospettiva del decentramento delle attività verso nuove centralità o, altrimenti, nel contrasto allo svuotamento dei centri storici e dei nuclei originari.

Limiti dell'applicazione configurazionale

Nella *Linear Analysis* sembra mancare, principalmente, una corrispondenza tra gli elementi del sistema degli oggetti (le linee) e gli spazi materiali; infatti, riconducendo la matrice a un quadro topologico monodimensionale, le piazze come elemento spaziale non esistono più nel disegno urbano, mentre in diversi casi si può criticare anche il fatto che la costruzione della matrice urbana rimanga arbitraria e

²⁷ La rappresentazione più intuitiva viene effettuata col software *Depthmap* che, con le linee di colori diversi, ne rappresenta il livello di segregazione maggiore o minore attraverso differenti colori a partire dal rosso, che identifica il livello minore di segregazione.

discrezionale: nell'esempio successivo della piazza del Campo a Siena si constata in effetti la scomparsa della percezione dello spazio centrale e, quindi, se non si partisse dall'immagine A sarebbe impossibile riconoscere che la figura C rappresenta una piazza di rilevanza così elevata come quella di Siena.



Scomparsa della piazza del Campo nella costruzione dell'Axial Map di Siena (cfr. i diversi passaggi nelle figg. A, B, C)



VGA per il centro storico di San Gimignano

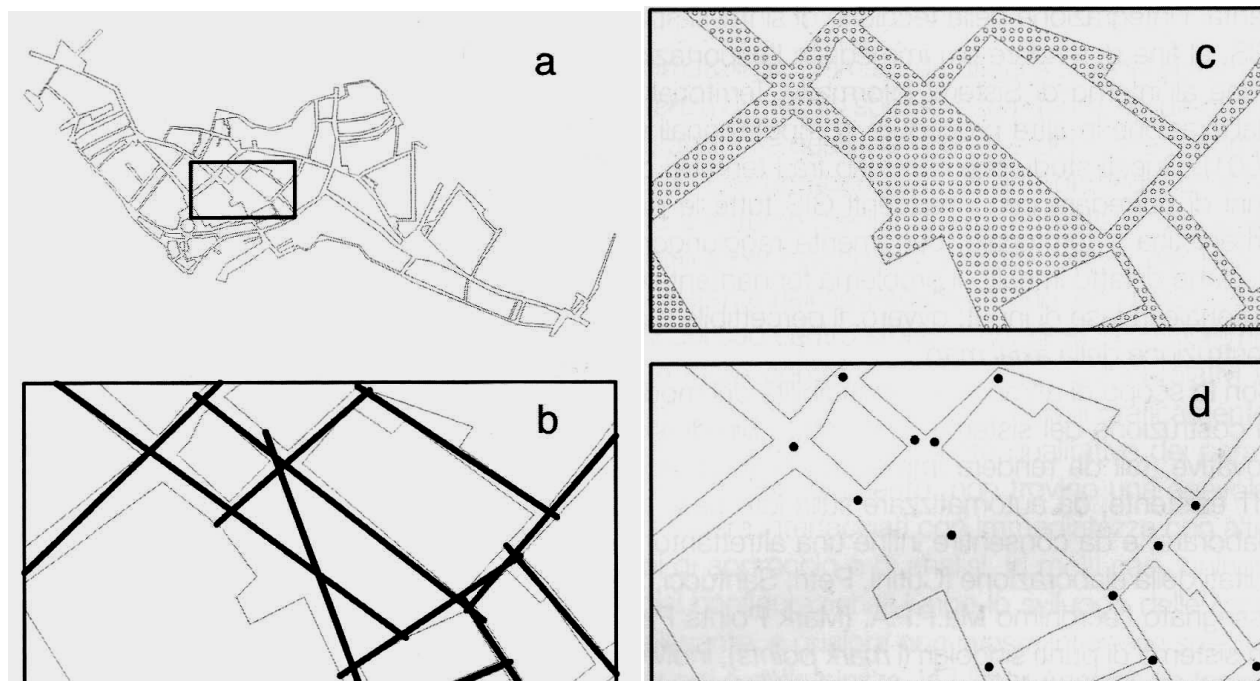
Tale problema, che indubbiamente ingenera particolare problematicità nel corso dell'analisi, può trovare una qualche forma risolutiva attraverso un'applicazione di *Visibility Graph Analysis*, rappresentando l'assetto spaziale in base alla densità informativa che s'intende raggiungere ed eliminando ogni forma d'interpretazione soggettiva nella percezione della valenza configurazionale delle piazze e di tutti gli spazi aperti che presentino le medesime caratteristiche.

La *Visibility Graph Analysis* si configura quindi come una rappresentazione degli ambiti secondo la loro potenzialità e vocazione spaziale a costituire luoghi d'incontro e interazione, come qui di lato per il caso del centro storico di San Gimignano.

Queste analisi permettono di evidenziare il fenomeno dello *Shifting* delle centralità, con lo spostamento o l'attrazione d'attività verso aree marginali o viceversa, permettendo quindi di porre maggiore attenzione verso gli spazi degradati o con minor livello di potenzialità spaziale (come s'evince nel caso applicativo del Piano regolatore generale di Grosseto); l'unico limite riscontrato per tali tipi di applica-

zioni risulta quello dell'applicabilità preferenziale nei confronti di complessi edificatori più contenuti, a causa dell'altissima quantità di dati che è necessario riuscire a gestire nel software.

Altre applicazioni esaminate concernono l'utilizzo dei *Mark Point* col package Ma.P.P.A operando su un sistema di punti, individuati automaticamente nella maglia dei percorsi viari in base ai nodi interattivi tra i tronchi viari.



Esempi di riduzione della matrice urbana mediante Axial Analysis (b), VGA (c), Ma.P.P.A (d) ripresa dalla parte urbana di Volterra, rappresentata nell'immagine (a).

1.2.3. Carlo Ratti e la critica al modello hilleriano: la questione della bidimensionalità e della Topological Analysis

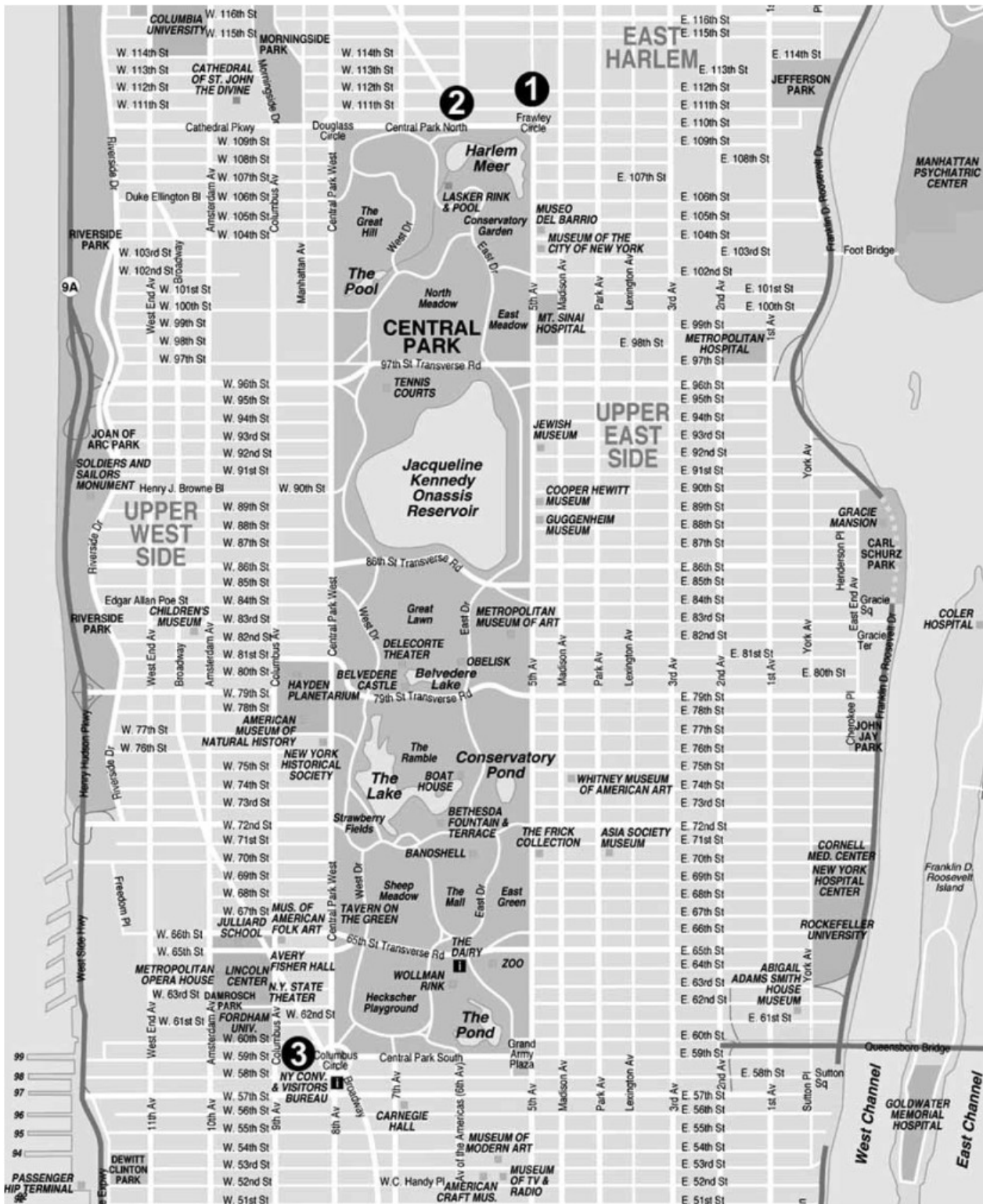
La Topological Analysis

Carlo Ratti, professore nel Massachusetts Institute of Technology nonché direttore del MIT Senseable City Lab, muove alcune critiche sostanziali alle teorie anglosassoni della *Space Syntax*: innanzitutto riconosce la prima grande contraddizione caratterizzante dell'*Axial Analysis*, vale a dire una rappresentazione topologica della città che ne esclude qualsiasi informazione metrica: “*Convincing a pedestrian that his urban movement strategy is not based on a metric but on topological distance might prove as difficult as convincing a New Yorker living on Fifth Avenue, between 111th and 112th Streets that going to Central Park North round the corner (two changes of direction in the Axial Map) or to Columbus Circle (a few miles away, but still two changes of direction) is the same*”²⁸ (Ratti 2004, 490).

Va ricordato comunque che il ricorso alla visione topologica deriva, da un lato, dall'attenzione verso l'assetto relazionale piuttosto che verso la consistenza morfologica dello spazio urbano e, dall'altro, dall'importanza che la teoria configurazionale attribuisce alla percezione visiva degli spazi, contro la rigida determinazione della loro misura metrica; di conseguenza la *Space Syntax* assume che i comportamenti degli individui sulla scena pubblica siano strettamente correlati alla percezione visiva del-

²⁸ “*Convincere un pedone che le strategie di spostamento non si dovrebbero basare su distanze metriche ma topologiche potrebbe essere difficile quanto convincere un Newyorkese che abita nella Fifth Avenue, tra la 111th e la 112th, che andare a Central Park Nord, dietro l'angolo (due cambi di direzione nell'axial map) o andare al Columbus Circle (qualche miglia più lontano, ma sempre due cambi di direzione) è la stessa cosa*”.

lo spazio, piuttosto che alla valutazione razionale (e talvolta fuorviante) della sua misura geometrica.



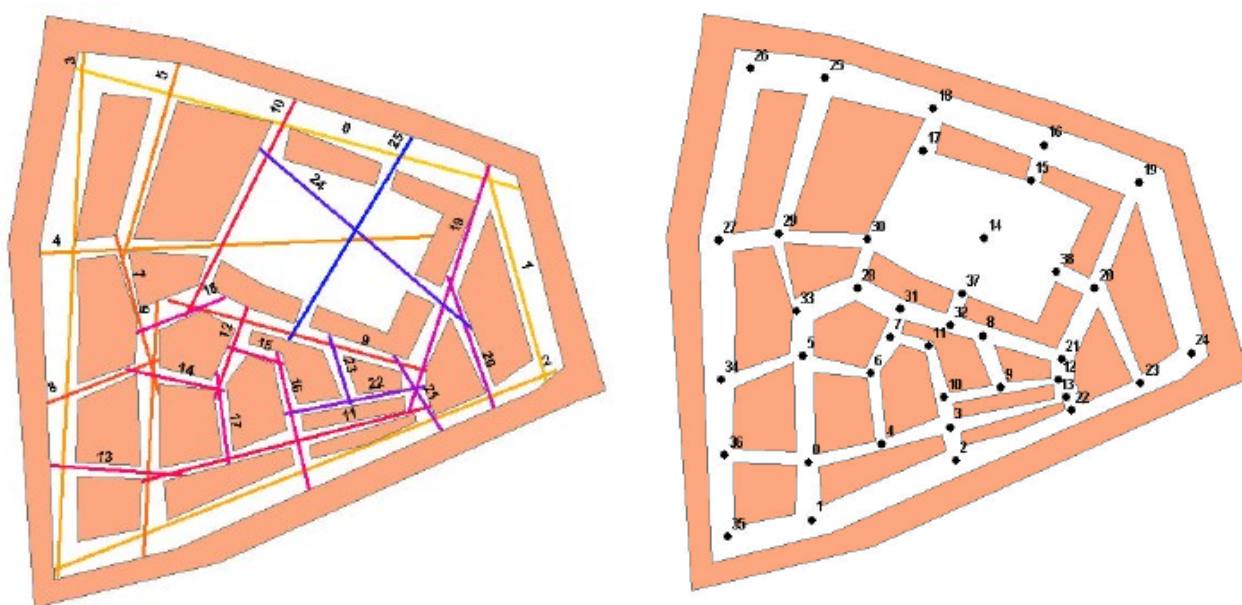
Mapa di Manhattan, particolare su Central Park.

Ratti e altri autori propongono alcuni tentativi di contemperare la visione topologica, caratteristica intrinseca dell'analisi configurazionale hillieriana, con l'esigenza di non sottostimare l'impedenza spaziale fra localizzazioni dentro la matrice urbana; in tali tentativi s'inserisce Ma.P.P.A. (*Mark Points Pa-*

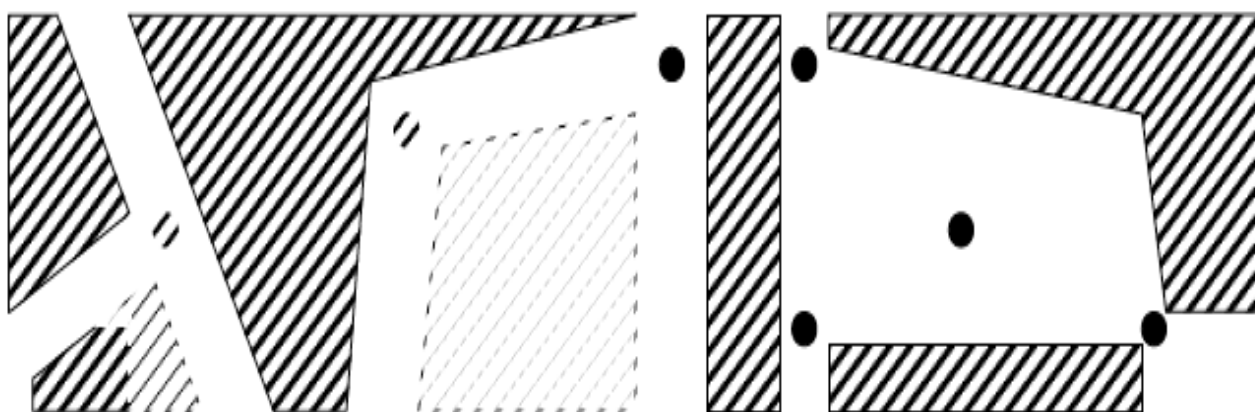
parameter Analysis)²⁹ che opera su un sistema di punti singolari (i *mark points*), individuati automaticamente dalla maglia dei percorsi viari in base a determinati requisiti:

- i. punti d'intersezione fra gli assi dei tronchi viari;
- ii. punti di cambio di direzione dell'asse stradale;
- iii. punti centrali di piazze;
- iv. punti d'accesso alle piazze;
- v. punti di corrispondenza della massima lunghezza del tronco viario;
- vi. punti di variazione della pendenza del tronco viario (Cutini 2010, 109).

Una volta costruiti i punti caratteristici, viene avviata la stima della visibilità d'ogni punto rispetto a tutti gli altri (creando una matrice d'intervisibilità), oltre al calcolo della connettività e della profondità globale, quest'ultima calcolata applicando l'algoritmo di Floyd alla matrice d'intervisibilità; si costruisce con tale operazione, per ogni nodo, la struttura delle interrelazioni rappresentabile con un grafo ad albero che evidenzia i vari strati di profondità e le relazioni di visibilità fra i nodi.

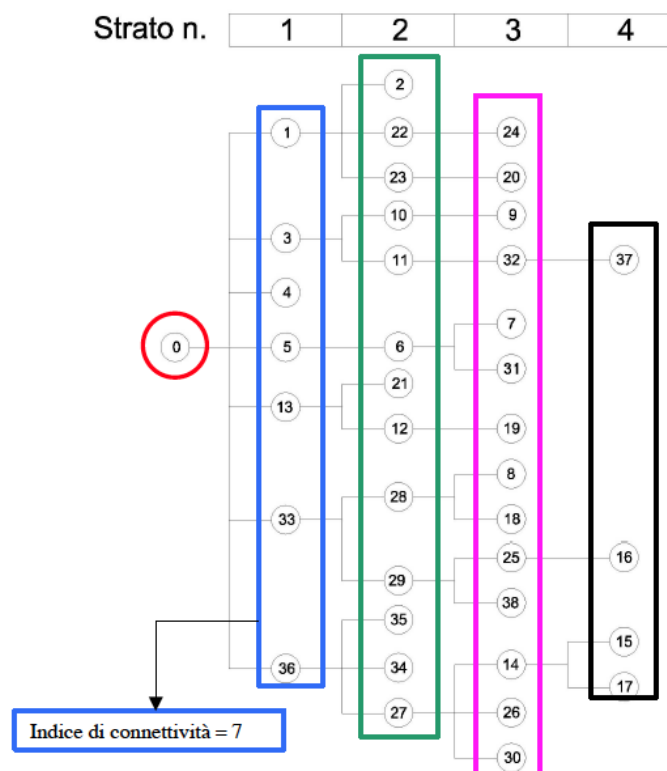


Esempi di restituzione mediante Axial map e Ma.P.P.A (punti caratteristici in uno spazio urbano fittizio).

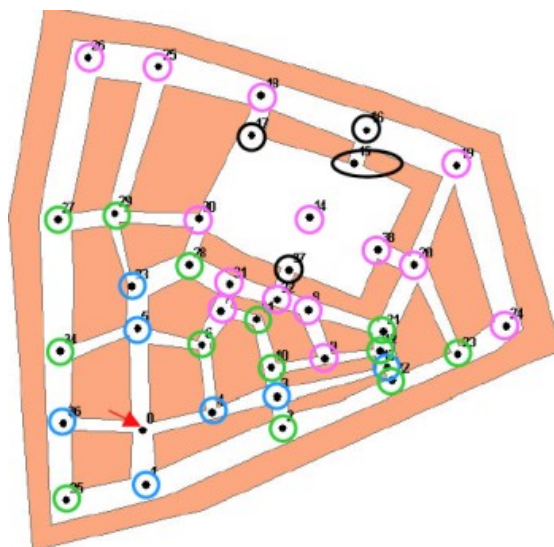


Alcuni esempi di punti caratteristici: risulta evidente che l'assunzione dei mark points come elementi del sistema indubbiamente altera la natura dell'Axial Map originaria; è invece del tutto distaccata dalla maglia dei tronchi viari.

²⁹Ripreso da Cutini V., 2010, *La rivincita dello spazio urbano: l'approccio configurazionale allo studio e all'analisi dei centri abitati*, Plus: Pisa University Press, Pisa.



*Grafo di connettività relativo al nodo 0 con i vari livelli di visibilità (strati).
Il nodo 0 avrà quindi un indice di connettività pari a 7, in relazione al livello 1 di visibilità.*



Rappresentazione su mappa dei vari strati viari relativi al nodo 0.

Pertanto il numero dei nodi del primo strato coincide con la connettività del nodo in esame, mentre è possibile calcolare la profondità globale mediante:

$$P_i = \sum_{j=1}^t n_j * j$$

dove:

P_i = profondità globale del punto i ;

n_j = numero di punti caratteristici allo strato;

t = numero di strati.

Per esempio, relativamente al nodo 0 si avrà:

$$P(0) = (7 * 1) + (13 * 2) + (14 * 3) + (4 * 4) = 91$$

La profondità locale, invece, per esempio relativa al livello 2, può essere calcolata considerando solamente i nodi relativi allo strato 2, sempre utilizzando la formula precedente; poi verrà calcolata la profondità media globale, con:

$$P_i^m \frac{P_i}{n - 1}$$

dove:

P_i = Profondità globale del punto i ;

n = numero totale di punti caratteristici.

Dalla profondità media globale o locale sarà quindi possibile ricavare rispettivamente l'indice di integrazione globale e locale, attraverso:

$$I_k = \frac{2 * P_k^m - 1}{n - 1}$$

dove:

I_k = indice di integrazione globale/locale del punto caratteristico k ;

P_k^m = profondità media globale/locale del punto caratteristico k ;

n = numero totale di punti caratteristici.

In breve, questo tipo di approccio tenta in qualche modo di ovviare alla questione della dimensione topologica frazionando le *Axial Lines* in una successione di segmenti di lunghezza ridotta, in modo tale da rendere gli esiti dell'analisi poco dissimili da quelli risultanti dall'apprezzamento metrico delle distanze.

La questione della bidimensionalità

Un ulteriore tema su cui Ratti si sofferma nella critica alla *Space Syntax* si concentra sulla mera articolazione planimetrica (bidimensionale) degli spazi, escludendo a priori la terza dimensione dall'analisi dello spazio urbano e l'effetto determinato dall'orografia del suolo sui valori degli indici configurazionali: occorrerebbe invece ritenere fondamentale la presenza di più attività in un edificio più alto e, di fatto, la disomogenea distribuzione delle attività nell'insediamento giacché, infatti, se non si tiene in considerazione l'altezza dell'edificio, si verificherà una mancanza d'equilibrio fra il movimento attratto dall'attività e il movimento naturale dettato dalla matrice urbana (anche se il fatto non sminuisce in alcun modo le applicazioni configurazionali, in quanto "esso rappresenta una situazione del tutto normale in cui la localizzazione variegata dei volumi, destinazioni e attività sul suolo urbano in effetti non segue che in parte la vocazione funzionale che la configurazione della matrice assegna ai suoi singoli spazi"³⁰).

In secondo luogo Ratti mostra l'incapacità dell'analisi configurazionale d'includere, nei suoi risultati, l'effetto derivato dalla pendenza dei tronchi viari: sembra necessario chiedersi in che misura tale pendenza influisca, positivamente o meno, sull'utilizzo dei percorsi e se non generi, di fatto, una penalizzazione delle attività economiche insediate, rispetto alla configurazione dello spazio urbano.

Per ovviare a tale mancanza dell'analisi configurazionale, Ratti suggerisce la possibilità di importare nelle applicazioni sulla matrice urbana gli output del DEM (*Digital Elevation Model*), rappresentando gli insediamenti abitati in cui, oltre alla consistenza planimetrica, insista anche l'altezza d'ogni fabbricato disposto lungo la matrice; in tal modo sarà possibile, secondo Ratti, una rapida esplorazione delle proprietà metriche – e non soltanto topologiche – dello spazio urbano.

³⁰ Cfr. Cutini, 2010.



Un esempio di Digital Elevation Model realizzato in ambiente Gis, mediante l'applicativo ArcScene.

1.2.4. Arnaldo Cecchini e lo studio degli automi cellulari nell'analisi territoriale

Arnaldo Cecchini ha sviluppato lo studio degli automi cellulari per l'analisi urbana, ritenendo inadatti i modelli omnicomprensivi nei conti del/col sistema urbano, che deve scontrarsi con un enorme numero di variabili e relazioni: nell'affrontare la vita artificiale che appare in grado di descrivere in modo efficace il sistema urbano (Cecchini *et al.*, 1999), l'autore considera invece particolarmente efficace, per descrivere i fenomeni che hanno luogo nello spazio (anche in uno spazio astratto), gli automi cellulari sviluppando, nel gruppo di lavoro del Daest dello Iuav, diversi softwares utili per diverse analisi urbane, in particolare AUGH! e Aures.

AUGH!, Automi Urbani Generati con Help! in linea

AUGH! è un sistema finalizzato alla costruzione di automi cellulari afferenti a diversi contesti, attraverso un'interfaccia utente semplice e flessibile: poiché un automa cellulare è definito fondamentalmente da uno *scenario* (composto da un insieme di celle d'una determinata forma e stato) e da un insieme di *regole* (che definiscono la variazione delle celle in relazione a determinate condizioni), la costruzione d'un automa è rappresentata in AUGH! come la costruzione d'un *Progetto* attraverso la composizione di quattro elementi: un *insieme di Stati della cella*, un *insieme di Regole di variazione della cella*, un *Intorno di analisi* delle celle (la cui composizione determina le condizioni di variazione) e uno *Scenario*.

AUGH! consente di costruire nuovi Progetti (automi cellulari) componendo elementi dei quattro tipi precedenti, eseguendoli e archiviandoli, modificando Progetti costruiti in precedenza, in seno agli elementi delle Regole e degli Scenari.

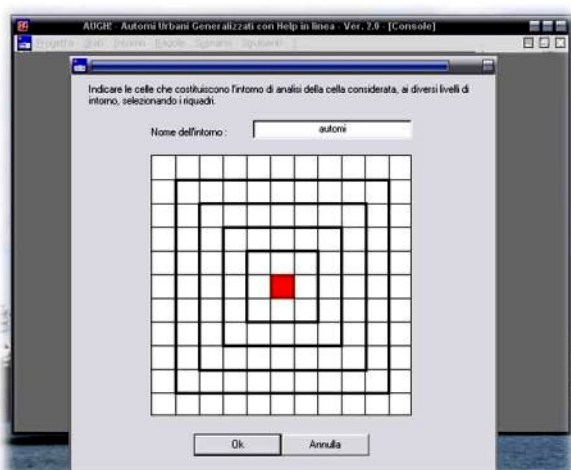
Il package AUGH! consente inoltre di costruire e modificare separatamente gli elementi che compongono un Progetto: permette quindi di preparare e modificare insiemi di Stati della cella, Intorni di analisi, Regole di variazione e Scenari.

Altri strumenti sono disponibili, come registrazione e reports delle esecuzioni, funzioni di import - export di elementi, interfacce con database esterni.

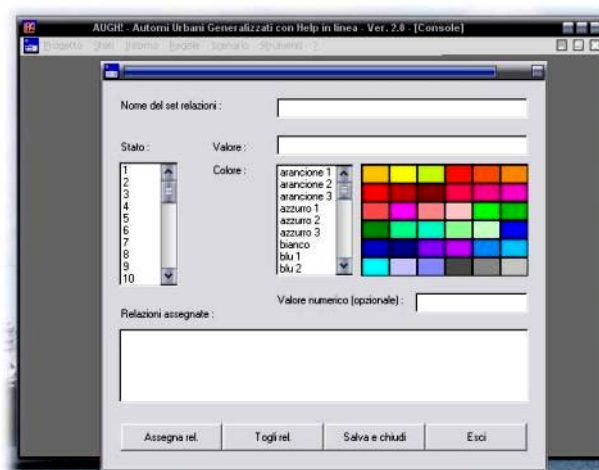


Interfaccia del sw AUGH!

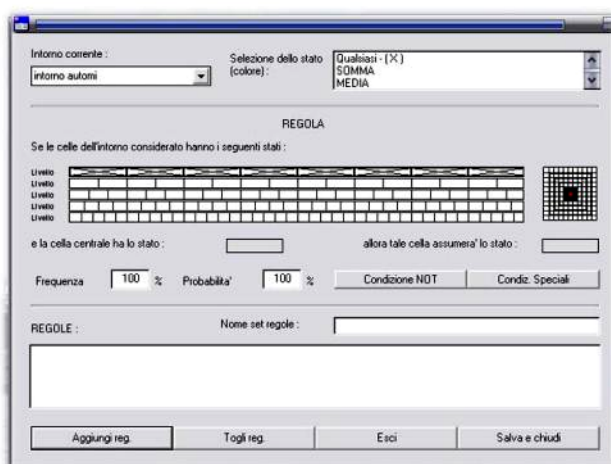
Il sistema AUGH! è stato realizzato nell'ambito della ricerca iniziata alla fine del 1993 presso il Laboratorio di simulazione Stratema del Daest dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia riguardante gli automi cellulari, ed è costruito in linguaggio Prolog per personal computer in ambiente Windows (Cecchini, 1999).



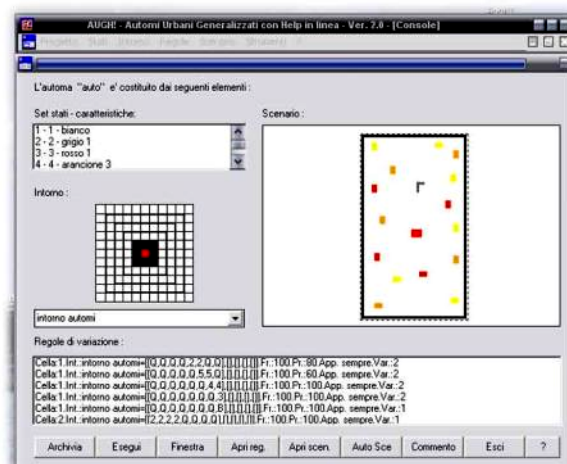
La definizione dell'intorno³¹



La definizione degli stati

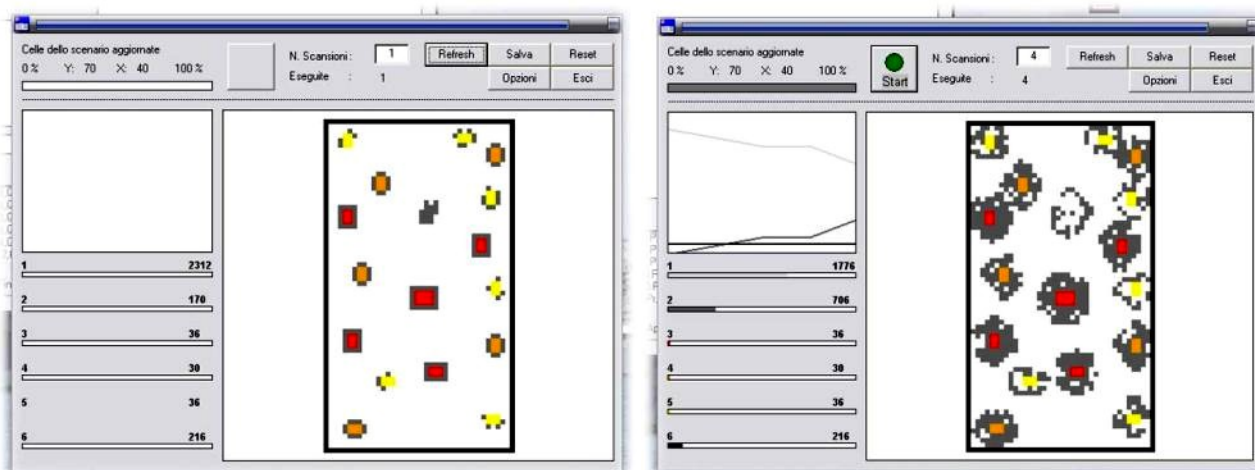


La definizione delle regole



L'impostazione di un progetto

³¹ Le immagini relative al software AUGH! sono state recuperate online all'indirizzo: http://xoomer.virgilio.it/mea_faber/universita/semplologia.htm.



Il primo ciclo di scansione

Quarto ciclo di scansione

AuReS Automa sulla Rendita Specializzato

AuReS è un package finalizzato alla simulazione della trasformazione di valori urbani di diverso tipo (valori immobiliari, valori di rendita, valori del degrado, ecc.), distribuiti su scenari spaziali bidimensionali, attraverso l'applicazione di regole di trasformazione dei valori stessi basate sulla teoria degli automi cellulari, nell'ipotesi che evoluzioni complesse di sistemi a livello globale possano venire generate dalla composizione d'un gran numero di trasformazioni semplici a livello locale.

Un Automa AuReS è definito fondamentalmente da uno scenario (composto da un insieme di celle di una determinata forma e stato) e da un insieme di regole (che definiscono la variazione delle celle stesse in relazione a determinate condizioni); è quindi costituito attraverso la composizione di tre elementi: un insieme di Stati della cella, un insieme di Regole di variazione della cella e uno Scenario.

Gli Stati della cella di AuReS sono definiti inizialmente, risultando cioè comuni a tutti gli automi costruibili; anche le Regole di variazione della cella di AuReS sono stabilite inizialmente e comuni a tutti gli automi AuReS che possono essere costruiti, ma ogni automa può contenere tutte le regole oppure un loro sottoinsieme, di volta in volta differente; gli Scenari vengono invece creati ex novo, dipendendo dal contesto considerato; ogni automa AuReS contiene uno scenario creato appositamente o in precedenza per un altro automa, e uno scenario può quindi essere comune a più automi AuReS (Cecchini, 1999), consentendo di costruire nuovi automi attraverso la composizione di elementi dei tre tipi precedenti, di eseguirli e di archivarli, di modificare automi precedenti negli elementi delle Regole e degli Scenari.

AuReS consente inoltre di costruire e modificare separatamente gli scenari, di utilizzare come scenari mappe di distribuzione spaziale di valori reali (ad esempio mappe di prezzi, o valori immobiliari), di relazionare mappe vettoriali Cad agli scenari e di registrare, per successive visualizzazioni e report, la esecuzione di automi; si tratta d'un approfondimento del più generale package di progettazione di automi cellulari AUGH! (Automi Urbani Generalizzati con Help in linea), e molti caratteri di AUGH!, dall'interfaccia utente al motore inferenziale, si ritrovano in AuReS, applicato alla trasformazione dei valori immobiliari di Mestre, il cui esito ha evidenziato una maggiore omogeneità tra le aree di valore diverso e la variazione di valore di aree vicine a interventi urbani o di riqualificazione residenziale.

1.2.5. Lidia Diappi e la tridimensionalità degli automi cellulari

È uno studio effettuato in seno al progetto Murst 99 inteso: *“Ingegneria della conoscenza nel processo di pianificazione territoriale”*, coordinato da Lidia Diappi³² col contributo di F. Semboloni³³, ge-

³² Politecnico di Milano, Diap.

³³ Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione.

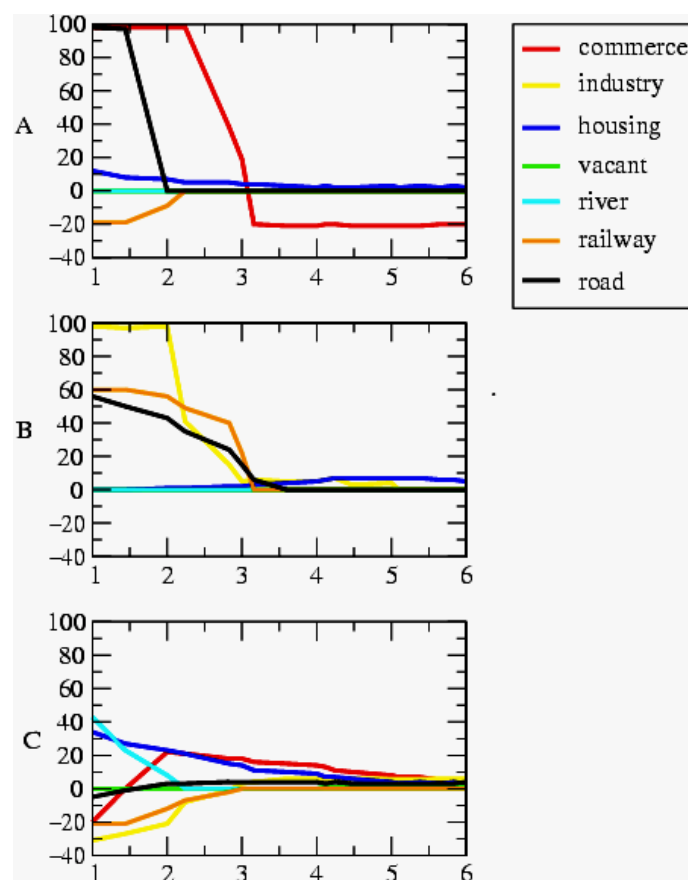
nerando la costruzione di modelli di dinamica urbana e regionale quale sistema complesso e auto-organizzato, e coinvolgendo i criteri dello sviluppo urbano sostenibile in relazione soprattutto alle città di medie dimensioni: il paper muove dall'analisi degli automi cellulari, ripresa dal lavoro di Michael Batty, esaminandone l'utilità per l'indagine delle dinamiche spazio-temporali discrete in ambiente 2D; all'atto della loro applicazione al sistema urbano, la difficoltà è quella di non poterne rappresentare la variazione di densità e la commistione funzionale per cui il problema è stato affrontato attraverso uno spazio analitico tridimensionale, inserito in un contesto dove si possano studiare i caratteri dei cluster ottenuti e i possibili sviluppi con l'introduzione d'alcuni vincoli di piano, riprendendo il metodo proposto da White, Engelen & Uljee (1997).

L'automa cellulare nel caso d'un pattern 3D viene concepito come matrice di maglie cubiche su tre dimensioni, e ogni cella può assumere sette stati³⁴: se una cella con stato tra 1 e 3 è considerevole edificata, e se ogni cella viene individuata da tre indici uno dei quali rappresentativo dell'altezza (k), ovviamente una cella con $k > 1$ non potrà ritenersi edificata se la cella sottostante non è edificata.

Per ogni cella edificata viene identificato un costo di costruzione in funzione di k , a ogni cella è associata la potenzialità di passare dallo stato p a quello q , con $1 \leq p \leq 4$ e $1 \leq q \leq 3$, calcolata come nel seguito dove P è il potenziale di transito dallo stato p allo stato q della cella:

$$P_{p,q} = vS_{ijk} \left(1 + \sum_{r,d} m_{q,r,d} I_d \right) + H_p - C_k - F_{q,k},$$

Partendo dal punto che il contesto in cui viene fatta la simulazione è teorico, le quantità globali di attività sono assegnate, mentre la loro distribuzione spaziale è calcolata da un modello durante 100 iterazioni; i parametri $m_{q,r,d}$ sono stabiliti dal modello di White, 1997 qui di seguito riportato.



Modello di White : la variazione dei pesi $m_{q,r,d}$

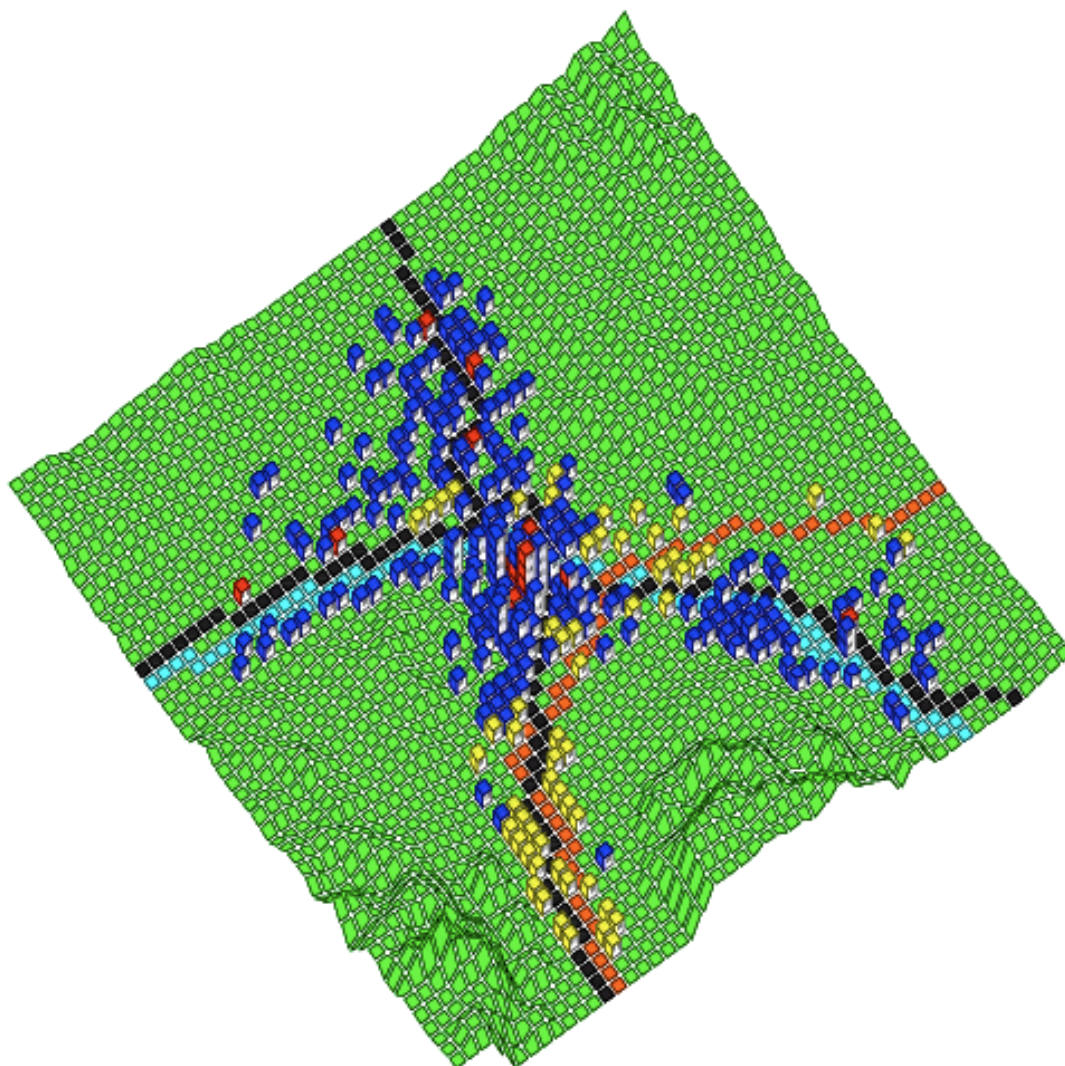
³⁴ Commercio (1) industria (2), residenza (3), vuota (4), fiume (5), ferrovia (6) e strada (7).

Il numero massimo dei piani è limitato a 10, e i parametri relativi a C_k e F_k ; sono mostrati nella seguente tabella.

k	C_k	$F_{k,1}$	$F_{k,2}$	$F_{k,3}$
1	10	0	0	0
2	9	2	10	5
3	8	2	10	5
4	10	2	10	5
5	14	2	10	5
6	19	2	10	5
7	26	2	10	5
8	35	2	10	5
9	45	2	10	5
10	60	2	10	5

Numero massimo di piani coi relativi parametri

Il risultato dopo 50 interazioni è rappresentato nell'immagine sottostante: il suolo è rappresentato in verde, le strade in nero, la ferrovia in arancione e il fiume in celeste; gli edifici commerciali sono rossi, quelli industriali gialli e quelli residenziali blu; in conclusione un modello 3D non solo è più realistico ma permette di cogliere meglio la dinamica urbana, dal momento che ammette una variazione di densità del costruito tra le celle.



1.2.6. *Silvio Griguolo e le analisi geostatistiche tramite Addati*³⁵

Silvio Griguolo³⁶ è il creatore del pacchetto statistico *Addati* finalizzato alle analisi multivariate; in particolare l'estensione per Windows Xp, *Addawin*, è in grado d'effettuare i due tipi di analisi fattoriali delle componenti principali (ACOMP) e delle corrispondenze (ACORR); ambedue accettano l'input d'una tavola (anche molto estesa) di dati ed esplorano le relazioni intercorrenti tra i suoi elementi (righe e colonne) allo scopo di riconoscere un numero limitato di nuove variabili soggiacenti (*fattori*), sufficienti a riassumere gli aspetti più rilevanti della descrizione con una perdita di dettaglio accettabile ruotando, rispetto alla nuvola, il sistema di riferimento nello spazio geometrico in cui il fenomeno è rappresentato, e generando rispettivamente i due esiti seguenti:

	<i>Tipi di variabili</i>		
	<i>Quantitative (ACOMP)</i>	<i>qualitative ACORR</i>	
		<i>Ordinali</i>	<i>Nominali</i>
Hanno senso operazioni aritmetiche sui valori?	Sì	No	No
I valori sono ordinati?	Sì	Sì	No
Tipi di Valori	Numerici	Codici alfanumerici	Codici alfanumerici

Il modello da seguire per predisporre le analisi in Addati

L'analisi delle componenti principali

L'analisi delle componenti principali, o ACOMP, analizza una tavola di descrizione costituita da variabili quantitative o binarie (categoriali con due categorie); quelle binarie, incluse nella tavola da analizzare, vengono ricodificate per cui ognuna d'esse viene convertita in una nuova variabile con valore 1 per le unità che assumono la prima categoria, 0 per le altre, quali che siano i codici originari, trattabile come quantitativa ed elaborata con ACOMP; inoltre tutte le variabili vengono standardizzate dal programma: ognuna avrà media 0, varianza 1, e la stessa importanza nell'analisi.

I limiti di questo tipo d'applicazione stanno nella preparazione della tavola da diagonalizzare, che viene preparata via via che vengono letti i casi (records) presenti nel file dei dati; il tempo di calcolo aumenta proporzionalmente al numero dei casi, mentre l'esigenza di memoria dipende solo dal numero degli indicatori da memorizzare, aumentando invece col numero delle variabili trattate (le colonne della tavola), tanto attive come supplementari: di fronte a una diagnostica di memoria insufficiente è giocoforza ridurre il numero delle variabili complessive anche se, con tavole di dimensioni usuali, il problema non dovrebbe porsi (infatti, si ricordi che *Addati* è stato utilizzato per analizzare una tavola di circa cinque milioni di unità statistiche, con una ventina di variabili).

Poiché il programma è in grado di trattare un numero elevato di variabili (dell'ordine delle centinaia), ridurre il numero è consigliabile più per la necessità d'ottenere risultati organicamente interpretabili che per i limiti di memoria e, pertanto, è utile sottolineare che una corretta analisi delle componenti principali avverrà solo dopo numerosi tentativi di semplificazione del modello, e mai al primo colpo, proprio per la sua natura selettiva.

Il programma esegue la standardizzazione automaticamente, coi valori d'ogni variabile traslati in modo tale che la loro media sia nulla, ossia che ogni valore è sostituito dalla sua differenza rispetto alla media corrente della variabile; inoltre, per ogni variabile la scala di misura viene opportunamente cambiata dividendo tutti i suoi valori per la deviazione standard, così che tutte vengano ad assumere

³⁵ Le informazioni teoriche riguardanti l'utilizzo del software *Addati* sono state estratte dal manuale, scaricabile presso la pagina personale di Silvio Griguolo: http://circe.iuav.it/~silvio/addawin_site/Manuale_Addawin.pdf.

³⁶ Professore di Tecnica e pianificazione urbanistica presso la Facoltà di Pianificazione dell'Iuav, Venezia.

varianza unitaria e la stessa rilevanza nell'analisi.

L'analisi delle correlazioni

La tavola standard, analizzata mediante un'*analisi delle corrispondenze*, considera le contingenze ottenute incrociando due variabili categoriali: laddove abbiano rispettivamente n e p categorie, la tavola di contingenza ottenuta viene ad avere n righe e p colonne, e la generica cella (i, j) conta le unità che prendono simultaneamente la categoria i della prima variabile e la j della seconda; altre tavole solo apparentemente di struttura diversa possono essere pensate come tavole di contingenza, potendosi trattare con un'analisi delle corrispondenze, ottenute accostando fianco a fianco più tavole di contingenza che contano le stesse unità, oppure tavole binarie ottenute a partire da tavole di descrizione qualitativa convertendo le variabili categoriali di descrizione in forma disgiuntiva completa (binaria). In una tavola di contingenza righe e colonne hanno un ruolo simile e sono trattate allo stesso modo da ACORR, per analizzare la somiglianza tra le righe (rispetto alle colonne) e tra le colonne (rispetto alle righe), oltre alle relazioni intercorrenti tra righe e colonne.

La distanza tra due punti – profilo viene calcolata modificando l'usuale formula pitagorica nota come distanza del *chi - quadro*: ACORR tratta la tavola dei profili in un modo molto simile a quello di ACOMP, determinando gli assi fattoriali e i corrispondenti autovalori su cui basa l'interpretazione, purché vengano comunque tenute ben presenti le seguenti differenze:

- i) in ACORR, diversamente da ACOMP, le righe e le colonne giocano un ruolo del tutto simmetrico; le tavole dei contributi di riga e di colonna, scritti su ACORR.OUT, vengono interpretate esattamente allo stesso modo ma, poiché ACORR non standardizza le colonne, non viene stampata alcuna tavola di correlazione e si preferisce considerare la forte o debole associazione tra due linee (righe o colonne) rispetto alla totalità delle linee dell'altro insieme;
- ii) in ACORR il primo autovalore (detto triviale o banale) vale sempre 1, e non riveste interesse alcuno poiché rappresenta una semplice conseguenza della trasformazione compiuta sulla tavola di partenza per passare ai profili; viene dunque ignorato, mentre tutti gli altri autovalori (significativi) sono compresi tra 1 e 0;
- iii) il numero degli autovalori non nulli è in generale diverso da quello che ci si aspetterebbe dalle dimensioni della tavola dei dati; infatti l'entità della rappresentazione, determinata dal numero delle colonne, è solo apparente (e ridondante) e, in ogni riga d'ogni singola tavola di contingenza, i valori delle celle raggiungono lo stesso totale, cioè il numero delle unità contate, facendone conseguire che le colonne non sono linearmente indipendenti, e riducendone l'effettiva dimensione dello spazio rappresentativo.

La classificazione non gerarchica

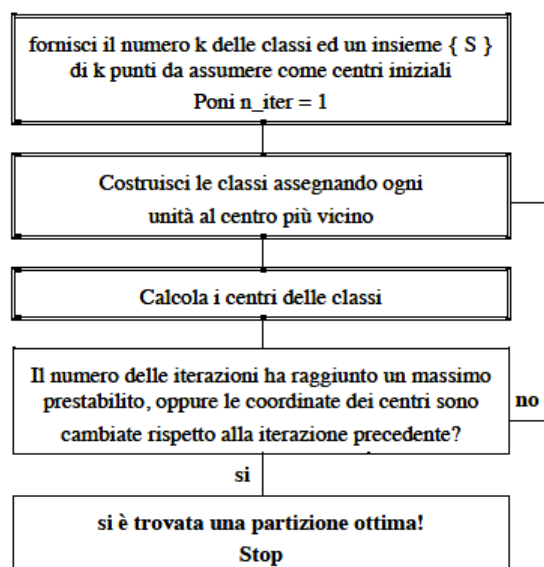
Lo scopo d'una classificazione numerica è di raggruppare unità a comportamento simile in un numero limitato di gruppi (chiamati anche classi o clusters); la similarità tra due unità può venire osservata direttamente (ad esempio ponendo domande specifiche nel corso di un'inchiesta) oppure a partire da un insieme di variabili osservate che offrano un'opportuna descrizione degli oggetti analizzati.

Si considerino per esempio le province d'un Paese, descritte dalla serie del loro reddito medio pro capite durante un certo numero di anni: quali province hanno evoluzione simile? Non esiste una risposta assoluta: i risultati dipendono dal metodo utilizzato e sono, almeno in parte, soggettivi, nel senso che potremmo avviare tutti i possibili confronti a coppie tra le province, ordinando poi le coppie secondo un livello decrescente di similarità percepita, ma sappiamo che quest'ultima dipende dalle variabili considerate e, quindi, dalla particolare descrizione adottata nell'analisi: due comuni possono avere popolazioni molto simili dal punto di vista della struttura demografica, ma presentare invece differenze sostanziali per quanto concerne il livello di scolarizzazione o l'occupazione.

Ecco dunque che sussistono molti modi possibili per definire il livello di similarità di due oggetti. Coerentemente con la rappresentazione geometrica adottata in *Addati*, dove ogni unità statistica è vista come un punto in uno spazio che ha tante dimensioni quante sono le variabili attive, si assumerà per la classificazione la stessa nozione di distanza già introdotta per le analisi fattoriali: una distanza euclidea (dopo la standardizzazione) per le variabili quantitative (trattate con ACOMP), una distanza del chi – quadro nel caso di variabili qualitative (trattate con ACORR), nella consapevolezza che la distanza esprime un indicatore complesso, che si forma attraverso i contributi di tutte le variabili, assunto convenzionalmente come un indicatore di dissimilarità al considerare due unità più simili tra loro di altre due quando i loro punti rappresentativi giacciono più vicini (nello spazio di rappresentazione) di quelli rappresentativi delle altre due unità.

Si possono identificare due grandi insiemi di metodi di classificazione, *gerarchici* e *non – gerarchici*; ambedue lavorano in modo iterativo ripetendo una sequenza d’operazioni prestabilita – che dipende dall’algoritmo scelto – fino a raggiungere un’opportuna configurazione finale, pur ambedue però presentando vantaggi e svantaggi; vengono qui privilegiati quelli non gerarchici, dove si determina una partizione iniziale coil numero di classi desiderato; la sua qualità viene poi migliorata mediante opportune riattribuzioni delle unità prossime ai confini tra le classi, quando ciò porti a un aumento nel valore della funzione – obiettivo, che misura la bontà della partizione; il processo di riallocazione continua fino a raggiungere una configurazione finale non più ulteriormente migliorabile da piccoli spostamenti locali, e la partizione ottenuta costituisce un ottimo locale, dipendendo dalla configurazione inizialmente assunta e dal numero di classi richieste; non si può escludere che possano esistere altre partizioni, anche molto migliori, con lo stesso numero di classi, ma non sono tuttavia raggiungibili a partire dalla partizione corrente e operando solo riassegnazioni locali.

L’input della routine di classificazione è rappresentato da una tavola di coordinate fattoriali registrate da ACORR o ACOMP dopo aver analizzato una tavola di variabili quantitative o categoriali, o un insieme di tavole di contingenza affiancate; l’algoritmo di Diday, che riassegna iterativamente le unità alle classi fino al raggiungimento d’una partizione localmente ottima, richiede una decisione a priori sul numero dei gruppi e, quando esso non s’attaglia alla struttura di similarità dell’insieme da segmentare, viene forzata una partizione che può a volte risultare fuorviante e che comunque – rappresentando un ottimo locale e non globale – dipende dalla scelta dei centri attorno ai quali le unità sono aggregate secondo un criterio di minima distanza; possono concepirsi varie strategie per scegliere i centri, ma in generale cambiando i centri iniziali cambia il risultato; per superare, almeno in parte, il problema, *Addati* ipotizza una strategia di classificazione che usa in modo integrato procedure gerarchiche e non.



Schema dell’algoritmo di classificazione non gerarchica di Diday.

1.3. Network insediativo e accessibilità: la *Multiple Centrality Assessment*

In termini formali, un network può essere rappresentato come un grafo $G = (N, K)$, entità definita da due insiemi distinti N e K , espressivi d'un insieme non vuoto di N nodi e K archi congiungenti coppie di nodi (se tra i nodi i e j esiste un arco, essi saranno adiacenti o connessi; in un grafo si considera la possibilità di pesare ogni arco attraverso valori, nel caso dell'analisi *Mca* stabiliti dalla lunghezza metrica d'ogni arco e, in tal caso, il grafo sarà definito come spaziale o geografico).

In un grafo pesato la lunghezza di percorso minimo tra due nodi è stabilita come la somma minima delle lunghezze degli archi tra tutti i possibili percorsi del grafo che connettono un nodo a un altro mentre, nel grafo non pesato è semplicemente data dal numero minimo di passaggi (*Steps*) da un nodo all'altro; il percorso L avrà così una lunghezza caratterizzante, definita come la lunghezza media dei percorsi minimi (con media calcolata su tutte le coppie di nodi del network), e con:

$$L = \frac{1}{N(N-1)} * \sum_{i \neq j \in N} d_{ij}$$

dove L = misura della proprietà connettiva del network.

Il limite derivante dall'adozione di tale indice si presenta nel caso di grafi non connessi, in cui sarebbe necessario porre artificialmente l'assunto che il valore di d_{ij} sia finito anche quando non esiste alcuna connessione tra i e j ; per ovviare al problema è stata introdotta l'efficienza globale E_{glob} che, al pari di L , misura quanto bene i nodi d'un network comunicano tra loro e stima, appunto, l'efficienza nella comunicazione tra due nodi del grafo come inversamente proporzionale alla distanza minima che connette i due nodi con $\varepsilon_{ij} = 1/d_{ij}$; nel caso di due nodi non connessi si avrà $d_{ij} = +\infty$ e, di conseguenza, l'efficienza $\varepsilon_{ij} = 0$; l'efficienza globale del grafo sarà pertanto uguale alla media di ε_{ij} calcolata su tutte le coppie di nodi³⁷.

Verranno nel seguito descritte le quattro principali famiglie degli indici di centralità, tutti basati sul concetto di efficienza globale, secondo la teoria del *Multiple Centrality Assessment*.

Essere vicino agli altri: C^D e C^C

La centralità di grado C^d esprime l'idea che i nodi siano tanto più importanti quanto più grande è il numero d'archi che vi convergono; dunque, il grado d'un nodo i è uguale al numero di archi che vi incidono (o al numero di nodi primi, vicini ad esso), ed è definito nei termini della matrice di adiacenza dalla seguente relazione:

$$K_j = \sum_{j \in N} a_{ij}$$

La centralità di vicinanza (*Closeness*) C^c è basata sulla nozione di percorso minimo (*Geodesic*) d_{ij} e dunque, in un grafo pesato, sulla somma minima delle lunghezze degli archi attraverso tutti i possibili percorsi del grafo che connettono i e j ; la centralità di *Closeness* del punto i è definita da:

$$C_i^c = L_i^{-1} = \frac{N-1}{\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} d_{ij}}$$

dove L_i è la distanza media tra il nodo i e tutti gli altri nodi, con misura significativa solo per i nodi connessi, a meno che non s'assuma artificialmente che d_{ij} sia uguale a un valore finito in assenza di connessione tra i nodi i e j .

³⁷ Nei sistemi metrici (tradotti in grafi pesati) è possibile normalizzare il risultato dividendo il valore dell'efficienza globale d'un network per l'efficienza globale teorica d'un sistema completo in cui l'arco, che connette due generici nodi j e i , è presente con distanza uguale a quella euclidea (metrica, non misurata in linea d'aria) tra i e j .

Essere tra gli altri: C^B .

La centralità di medietà (*Betweenness*) C^B esprime l'idea che le interazioni tra due nodi non adiacenti siano dipendenti dai nodi intermedi, i quali possono esercitare un ruolo strategico controllandoli o influenzandoli: il concetto è esemplificabile assumendo che la comunicazione avvenga solo lungo i percorsi minimi e perciò, se n_{jk} è il numero di percorsi minimi tra j e k , ed $n_{jk}(i)$ è il numero di percorsi minimi tra j e k passanti per il nodo i , la centralità di *Betweenness* del nodo i è definita (Freeman, 1979) come:

$$C_i^B = \frac{1}{N-1} \frac{1}{(N-2)} \sum_{\substack{j,k \in N \\ j \neq k; k \neq i}} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}}$$

e dunque C_i^B assume valori compresi tra 0 e 1 e raggiunge il valore massimo quando i insiste su tutti i percorsi minimi tra j e k .

Essere raggiungibili linearmente dagli altri: C^S

La centralità di direttività (*Straightness*) C^S proviene dall'idea che l'efficienza nella comunicazione tra due nodi i e j sia uguale all'inverso della lunghezza del percorso minimo d_{ij} (Latora e Marchiori, 2001); così l'efficienza C^E del nodo i può essere espressa dalla relazione:

$$C_i^E = \frac{\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} \frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} \frac{1}{d_{ij}^{Eucl}}}$$

dove d_{ij}^{Eucl} è la distanza euclidea tra i nodi i e j lungo una linea retta virtuale.

La centralità C^S di *Straightness* è una variante dell'efficienza C^E dovuta a una differente normalizzazione (Vragovic et al., 2004), e la *Straightness* del nodo i è desumibile da:

$$C_i^S = \frac{\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} \frac{d_{ij}^{Eucl}}{d_{ij}}}{N-1}$$

che esprime quanto i percorsi reali, che connettono il nodo i con tutti gli altri nodi della rete, devino dai percorsi lineari virtuali.

Essere critici per gli altri: C^I

La centralità d'informazione C^I , misurata per il nodo i , esprime la caduta nell'efficienza complessiva del network causata dalla rimozione dal sistema G degli archi incidenti in i , con:

$$C_i^I = \frac{\Delta E_{glob,2}}{E_{glob,2}} = \frac{E_{glob,2}(G) - E_{glob,2}(G')}{E_{glob,2}(G)}$$

dove G' rappresenta il network, con N nodi e K archi, ottenuto dalla rimozione da G degli archi incidenti nel nodo i ; la rimozione di alcuni archi nel grafo produce impatti significativi rispetto al nodo di incidenza, generando un aumento della lunghezza dei percorsi minimi; di conseguenza, l'efficienza del nuovo grafo $E_{glob,2}(G')$ è minore di quella del grafo originario $E_{glob,2}(G)$.

L'indice C_i^I è normalizzato in modo da assumere valori da 0 a 1, ed è direttamente collegato con gli altri tre indici di centralità C_i^D , C_i^C e C_i^B ; comunque, C_i^I dipende anche dalle lunghezze dei nuovi percorsi minimi alternativi, utilizzati quando il nodo i è disattivato, mentre nessuna informazione su tali percorsi è invece contenuta in C_i^D , C_i^C e C_i^B .

1.4. L'interpretazione dei risultati e la costruzione della matrice limiti/opportunità

Dalle analisi configurazionali alla teoria di Multiple Centrality Assessment

La *Multiple Centrality Assessment* si configura come un'applicazione di analisi urbana, territoriale e spaziale fondata sulla scienza dei sistemi complessi a rete, e si rivela particolarmente utile in seno alla pianificazione urbana sostenibile; vediamone sinteticamente alcuni aspetti, nel seguito.

1.4.1.1.

Il grafo primiale: utilizzare la tecnica di rappresentazione standard della rete urbana e superare il Length Problem attraverso l'introduzione della dimensione metrica dello spazio geografico

È noto che *Mca* rappresenta la maglia dei percorsi urbani mediante applicazioni di grafi in cui la rete stradale viene rappresentata tramite archi e le sue intersezioni tramite nodi; tale tipo di rappresentazione³⁸ è stata definita "diretta" o *primiale* mentre, inversamente, le classiche rappresentazioni tratte dalle teorie configurazionali (*Space Syntax*) rappresentavano le strade come nodi e le intersezioni tramite archi del grafo, con rappresentazione "indiretta" o *duale* (Porta, 2006).

Il primo dei motivi per cui l'analisi *Mca* utilizza un'applicazione primiale del grafo presuppone il possesso d'una base di strati informativi codificati secondo lo standard più diffuso e comunemente utilizzato nella pianificazione dei trasporti e del *geo - mapping* in tutto il mondo, il cosiddetto "*road - centerline - between - nodes*" (Dalton *et al.*, 2003) mentre la rappresentazione duale implicherebbe, come nel caso dello *Space Syntax*, una nuova costruzione grafica del sistema per ogni applicazione: si riscontrano quindi insuperabili differenze tra *Space Syntax* ed *Mca* (ovviamente in favore della seconda) sul piano dell'affidabilità, del contenimento temporale dell'immissione dei dati, della controllabilità dei risultati ottenuti, della fattibilità finanziaria.

Ma non è solo questo: il superamento del *Length Problem*, insito nella teoria dello *Space Syntax*, è fondato sul fatto che la centralità viene calcolata direttamente su ogni nodo del grafo (e quindi, indirettamente, su ogni arco come media della centralità dei due nodi): il "*Connectivity Graph*", derivato direttamente dalle *Axial Maps* di *Space Syntax*, descrive infatti la strada come identità costante lungo una pluralità d'intersezioni, il che significa che la sua centralità rimane forzatamente costante nonostante la strada scambi in molti punti intermedi col resto del sistema; il *Length Problem* risultante mostrerà significative ricadute sulla mappa di centralità che, in tal modo, non potrà dar conto delle variazioni intervenute sulla stessa strada man ch'essa interseca altre strade, fatto assai problematico nel caso di strade lunghe che attraversano spazi urbani differenti; ma un ulteriore problema, riscontrato in *Space Syntax*, riguarda il modello "*generalizzante*" che fa dipendere la distribuzione spaziale delle centralità nel network dal flusso naturale dei valori centrali dell'intero sistema, quando è ampiamente noto che la nozione di "centrale" non dipende solo dalle condizioni strutturali del sistema ma è, piuttosto, determinata dall'identità/complessità/interesse d'una strada in base all'entità di intersezioni sussistenti; nel caso di *Space Syntax*, quindi, la predominanza della linearità (per cui a due segmenti, separati da un'intersezione, viene attribuita la stessa identità laddove siano disposti lungo il medesimo asse) riduce di molto l'efficacia d'un apparato analitico per molti aspetti, invece, rivelatosi pionieristico e promettente.

1.4.1.2.

Distanza metrica: migliorare il realismo dell'analisi collegando i fattori cognitivi e performativi dei comportamenti sociali

Ciò che, per le teorie configurazionali, viene definito "*distanza*" è riferito al numero di *Steps* (isospazi) incontrati tra un nodo e un altro qualsiasi del sistema; *Mca*, invece di adottare la distanza topologica,

³⁸ Considerata la "mediazione" tra le dimensioni geografiche (euclidee) e quella del grafo (non euclidea).

utilizza quella metrica³⁹ e, dunque, mentre in un network geografico la distanza d tra due nodi y e j è, mettiamo, pari a 153,45 metri (vale a dire la somma della lunghezza metrica degli archi connettivi di y e j lungo il percorso minimo), in un network topologico (o relazionale) essa è, per esempio, 3 (il numero di nodi o passaggi o *Steps* incontrati lungo il passaggio da y e j , rappresentativo del minor numero di passaggi, nodi o *Steps*).

Tali caratteristiche permettono a *Mca*, di conseguenza, d'adattarsi direttamente all'ambiente d'analisi spaziale Geographical Information System poiché, al confronto del valore della lunghezza tra due strade, poniamo rispettivamente di 10 metri e di 1 km dal medesimo nodo d'origine O , *Mca* ne stimerà una distanza coerente col reale (al contrario della teoria configurazionale che, nel caso di sussistenza dello stesso numero di cambi di direzione, le considererebbe come distanze identiche).

Un assunto caratterizzante di Multiple Centrality Assessment è l'interesse sul comportamento dell'utenza urbana, che le scienze umane ritengono influenzabile dai soli processi cognitivi (connessi, cioè, alla percezione spaziale), l'urbanistica dalle sole modalità performative (concernenti i termini d'uso empirico della città); ma, per la *Mca*, non è soltanto la dimensione cognitiva la sola responsabile del comportamento e, per ricavarne un quadro esaustivo, sarà anche utile considerare quella performativa.

1.4.1.3.

Indici multipli di centralità: abbandonare i modelli generalizzanti per superare l'effetto bordo

Vengono riconosciute, nell'ambito delle analisi *Mca*, quattro famiglie di centralità a cui corrispondono quattro differenti modi d'essere centrali: "essere vicini a", "essere tra", "essere raggiungibili in modo diretto da", "essere critici per"; tale tassonomia differenzia *Mca* da *Space Syntax* (che fa assumere importanza preponderante – almeno nel caso dei sistemi di strade urbane – all'unico indice d'integrazione, la *Closeness*), e la differenza fondamentale risulta appunto la scelta di *Mca* d'evitare qualsiasi forma di generalizzazione: *Space Syntax* infatti, nella procedura di costruzione dell'*Axial Map*, funziona come modello generalizzante nel caso, per capirci, di due (distinte) strade adiacenti che corrisponderebbero a un'unica entità superiore se parallele e rettilinee, impostazione che comporta infatti diversi problemi pratici (primo fra tutti il *Length Problem* di cui prima s'è detto); o, ancora, nel caso del cosiddetto effetto bordo, un problema che altrimenti (se non fosse stato superato dalle analisi configurazionali di *Multiple Centrality Assessment*) avrebbe reso l'intero modello privo di significato e inutilizzabile agli effetti applicativi.

L'effetto bordo rappresenta una distorsione della mappa di centralità, tale per cui i valori alti vengono distribuiti nel centro geometrico dell'immagine principalmente per il fatto che il network rappresenta solo una parte del sistema reale, artificialmente separata dal sistema tagliando le connessioni di bordo, poste così dal taglio in condizione marginale rispetto all'universo considerato mentre i nodi più centrali acquisiscono uno stato d'ancor maggiore centralità per il solo fatto di risultare geometricamente centrali nell'inquadratura, costituita dal taglio: nella più parte dei casi, infatti, si tratta appunto di una pura distorsione della realtà, che andrà crescendo quanto più lo spazio di bordo soggetto all'effetto s'estenderà verso il centro del sistema analizzato; oltretutto, l'effetto bordo tenderà ad aumentare considerevolmente con la frammentazione del network, e varierà grandemente a seconda dell'indice di centralità utilizzato: la centralità di *Closeness* è molto sensibile all'effetto bordo a tal punto che, su grafi frammentati, risulterà impossibile utilizzarla per la preponderanza di tale distorsione.

È per questo che in *Space Syntax*, interamente basata sull'indice d'integrazione (*Closeness*), risulta essenziale ridurre la frammentazione del grafo, ottenuta con il preliminare impiego d'una procedura generalizzante (appunto l'*Axial Mapping*); in tal caso, infatti, l'adozione della misura del *Radius Radius*

³⁹ La prima è tipica dell'*Axial Analysis* (e, dunque, degli studi sociali e biologici), la seconda utilizza metodi delle scienze spaziali come l'analisi urbana e territoriale, la pianificazione dei trasporti, la geografia.

*Integration*⁴⁰ determinerà per ogni linea del sistema l'integrazione riferendosi al minor raggio possibile, uguale per tutte le linee centrali o periferiche che esse siano.

Invece, nel caso di *Mca* il problema viene risolto alla radice evitando d'impiegare analisi di *Closeness* se non alla dimensione locale dov'essa mantiene tutta la sua affidabilità: nell'analisi locale, infatti, la centralità d'un nodo non viene calcolata rispetto a tutti gli altri nodi del sistema ma riferendosi solo a quei nodi alla distanza *d* dal nodo dato, ed evidenziando così una scala di comunità (quartiere, ambito o zona) rappresentativa di una struttura urbana letteralmente diversa, quanto a proprietà fondamentali, dal livello urbano, metropolitano o territoriale⁴¹.

Confronti possibili tra analisi configurazionali e Multiple Centrality Assessment: la costruzione della matrice limiti/opportunità

La ricerca (che ha generato le schematizzazioni successive) è stata suddivisa in due principali livelli:

- x) il confronto puntuale dei principali indicatori per ciascuna teoria dell'analisi morfologica, in base:
 - i) alla definizione dell'indicatore; ii) alla sua formalizzazione matematica; iii) alla descrizione dei valori ottenuti; iv) all'esame dei principali vantaggi o svantaggi dell'indicatore;
- y) la comparazione del carattere generale delle teorie secondo: a) la disciplina d'origine; b) la tecnica di rappresentazione spaziale; c) la risoluzione d'alcuni problemi (*Length Problem*, effetto bordo); d) la generalizzazione dello spazio; e) l'unità di misura delle distanze; f) il livello discrezionale nella costruzione grafica del sistema.

La scelta di confrontare gli indicatori (livello particolare) in termini speditivi, prima di passare alla comparazione generale tra le due teorie, trae motivo dalla preliminare consapevolezza che il confronto tra gli indicatori non avrebbe offerto differenze particolarmente significative per il successivo loro riversamento nelle analisi sullo spazio urbano di Limbiate.

Confronto degli indicatori fra le teorie configurazionali (*Axial Analysis* e *Visual Graph Analysis*) e la teoria di *Multiple Centrality Assessment*

<i>Analisi configurazionali</i>		<i>Multiple Centrality Assessment</i>
<i>Axial Analysis</i>	<i>Vga</i>	<i>Mca</i>
Indice di connettività	Neighbourhood size	Centralità di grado
<i>Definizione:</i> numero di linee direttamente connesse a un'altra linea	<i>Definizione:</i> numero di vertici direttamente visibili da un altro vertice	<i>Definizione:</i> numero di archi che convergono in un nodo
<i>Formulazione (non rilevata):</i> è espressa come numero di <i>Lines</i> a profondità 1 rispetto alla <i>Line</i> considerata. Il valore della connettività varia fra 1 (minimo) e $k - 1$ (massimo, corrispondente a una <i>Line</i> connessa a tutte le altre del sistema)	<i>Formulazione:</i> $N_i = (v_j : e_{ij} \in E)$ dove: e_{ij} = relazione fra i vertici v_i e v_j appartenenti all'insieme E	<i>Formulazione:</i> $C_i^D = \frac{k_i}{N - 1} = \frac{\sum_{j \in N} a_{ij}}{N - 1}$ La normalizzazione di quest'indice è tale per cui C^D prende valori compresi fra 0 e 1, ed è pari a 1 quando un nodo è connesso a tutti gli altri nodi del grafo
<i>Descrizione:</i> un elevato indice di connettività rivela che la <i>Line</i> in esame presenta numerose aperture prospettiche e rivela, perciò, un'elevata disponibilità di spostamento verso altre <i>Lines</i>	<i>Descrizione:</i> a elevati valori dei risultati corrisponderanno elevati livelli d'intervisibilità (mediante isovista) tra il punto considerato e qualsiasi altro punto della matrice	<i>Descrizione:</i> i maggiori valori ottenuti esprimeranno il numero di connessioni d'un vertice col resto del sistema

⁴⁰ Vale a dire assumendo come raggio della circonferenza topologica di riferimento, per calcolare l'indice d'integrazione, la profondità media dell'intero sistema rispetto all'integratore principale;

⁴¹ Ma anche alla scala globale le analisi *Mca* potranno trovare applicazione, evitando l'effetto bordo attraverso l'adozione degli altri indici territoriali di centralità, che evidenziano performance quasi del tutto insensibili al problema considerato

Principale svantaggio: non è possibile verificare come il grado di connettività si distribuisca lungo l'arco della linea in quanto l'analisi configurazionale considera le strade come punti o nodi (<i>Lenght Problem</i>)	La questione del <i>Lenght Problem</i> non si pone in quanto la densità di punti a copertura dello spazio ben descrive la variazione del livello di centralità lungo tutto il suo svolgimento	Anche in questo caso viene risolta la questione del <i>Lenght Problem</i> in fase di costruzione del grafo primale: infatti, la centralità viene misurata su ciascun nodo del grafo e, di conseguenza, anche sulla congiungente come media della centralità dei due nodi adiacenti
---	---	--

Indice di scelta globale	Indicatore di riferimento mancante	Betweenness
<i>Definizione:</i> esprime la frequenza con cui una linea ricade entro percorsi di minor lunghezza (topologica) che connettono tutte le linee nel sistema.		<i>Definizione:</i> descrive la centralità come controllo o influenza d'un nodo intermedio nei confronti d'altri non adiacenti, assumendo che la comunicazione avvenga solamente lungo i percorsi più brevi
<i>Formulazione (non rilevata):</i> è calcolato come la somma del rapporto dei percorsi minimi fra due nodi (j e k) che passano per un terzo (i), e tutti i percorsi più brevi fra gli stessi nodi che non passano per (i)		<i>Formulazione:</i> $C_i^B = \frac{1}{N-1} \frac{1}{N-2} \frac{n_{jk} i}{n_{jk}}$ con $j, k \in N, j \neq k; j, k \neq i$ dove n_{jk} = numero di percorsi tra i nodi j e k $n_{jk}(i)$ = numero di percorsi minimi tra j e k passanti per il nodo i
<i>Descrizione:</i> un valore alto dell'indice indicherà che una linea si trova su tutti i percorsi che connettono ogni coppia di <i>Lines</i>		<i>Descrizione:</i> l'indicatore raggiunge il valore massimo (variabile fra 0 e 1) quando i insiste su tutti i percorsi minimi tra j e k
La discriminante tra i due indicatori è definita dalla misura della distanza: per l'analisi configurazionale (Indice di scelta globale) risulta la distanza topologica, per l'analisi <i>Mca</i> (<i>Betweenness</i>) la distanza è definita in termini di lunghezza metrica		

Indice d'integrazione	Indice d'integrazione	Closeness
<i>Definizione:</i> descrive la condizione dell'accessibilità media d'una linea rispetto all'intero sistema (vale a dire la profondità media, misurata topologicamente, tra un punto e un altro del sistema)	<i>Definizione:</i> descrive la condizione dell'accessibilità media (in termini di isovista) d'un punto rispetto all'intero sistema, vale a dire la profondità media misurata topologicamente (numero di <i>steps</i>) tra un punto e un altro del sistema	<i>Definizione:</i> descrive il livello di centralità all'interno del network, esprimendo quanto una strada sia vicina alle altre del network (sulla base della nozione di percorso minimo)
<i>Formulazione:</i> viene calcolato considerando la profondità media in <i>steps</i> (topologica, o non pesata) d'una linea rispetto a tutte le altre dell' <i>Axial Map</i> ; è esprimibile attraverso: $D_M = D_T / k - 1$ dove $k - 1$ = numero complessivo di <i>Lines</i> dell' <i>Axial Map</i> meno la linea considerata. Per tener conto delle differenze riscontrabili nello studio delle differenze con altri centri urbani di altre di-	<i>Formulazione:</i> viene calcolato considerando la profondità media in <i>steps</i> (topologica, o non pesata) di un punto rispetto a tutti gli altri; è esprimibile attraverso: $D_M = D_T / k - 1$ dove $k - 1$ = numero complessivo di punti nel <i>Visibility Graph</i> meno il punto considerato	<i>Formulazione:</i> viene calcolato considerando la somma minima delle lunghezze degli archi (distanza metrica, o pesata) di tutti i possibili percorsi all'interno del grafo, attraverso: $C_i^C = L_i^{-1} = \frac{N-1}{d_{ij}}$ con $j \in N; j \neq i$ dove: L_i = distanza media tra il nodo i e tutti gli altri nodi

<p>mensioni viene considerata la seguente formula di asimmetria relativa:</p> $RA = 2 (D_M - 1) / (k - 2)$ <p>dove: D_M = profondità media della linea in esame, K = numero totale delle linee del sistema</p>		
<p><i>Descrizione:</i> dà conto della facilità con cui una linea è raggiungibile dalle altre (in termini di cambio di prospetto stradale)</p>	<p><i>Descrizione:</i> dà conto della facilità con cui un punto è visivamente raggiungibile dagli altri (in termini di cambio di isovista)</p>	<p><i>Descrizione:</i> questo parametro è fondamentale per capire quanto un nodo sia determinante per un'efficiente comunicazione all'interno d'un network</p>
<p>Per questo indice è possibile risolvere il così detto "effetto bordo" mediante l'applicazione del <i>Radius Radius Integration</i>, vale a dire assumendo la profondità media dell'intero sistema rispetto all'integratore principale come raggio della circonferenza topologica di riferimento per il calcolo dell'indice d'integrazione</p>	<p>Nel caso delle <i>Visual Graph Analysis</i>, si considerano le intervisibilità rispetto alle porzioni intraurbane più caratterizzate dai flussi di movimento naturale; sarà pertanto verosimile riscontrare inferiori valori d'integrazione nelle porzioni più periferiche; il problema dell'<i>effect edge</i> non sussiste, venendo analizzati i <i>vertices</i> e non le singole <i>Lines</i></p>	<p>Il problema dell'effetto bordo viene risolto impiegando l'analisi di <i>Closeness</i> non su scala globale ma locale con raggio 200 e 400 m (Porta, 2006); inoltre, è possibile ovviare al problema tramite l'adozione d'un confine comunale più ampio, in modo tale da poter esportare fuori dal confine i "valori difettosi"</p>

Valore di controllo	Valore di controllo	Minimum Spanning Tree (betweenness)
<p><i>Definizione:</i> indica quanto una determinata linea sia fondamentale per gli spostamenti di altre linee afferenti</p>	<p><i>Definizione:</i> tale indice è determinato dall'unione dei valori reciproci, nella <i>Neighborhood Size</i>, dei vertici connessi</p>	<p><i>Definizione:</i> il concetto si traduce nella particolarità di alcuni archi e nodi del grafo, caratterizzati per grado di <i>Betweenness</i> particolarmente elevato, attestando il loro carattere particolare di strutturare l'intero grafo</p>
<p><i>Formulazione:</i></p> $I = \sum 1/n$ <p>dove n = indice di connettività delle linee adiacenti a quella in esame</p>	<p><i>Formulazione:</i></p> <p>poiché le isoviste dei vertici tendono a sovrapporsi, nell'operazione di calcolo del parametro si considererà l'unione anziché la somma di isoviste con:</p> $C_i = k_i / \sum V(\Gamma_i): v_j \in (\Gamma_i)$	<p><i>Formulazione:</i></p> <p>esprime l'idea che le interazioni fra due nodi non adiacenti siano dipendenti dai nodi intermedi in grado di giocare un ruolo strategico per il loro controllo</p>
<p><i>Descrizione:</i> i valori superiori all'unità corrisponderanno a livelli elevati del valore di controllo; viceversa, per valori inferiori a 1 corrisponderà un debole valore di controllo. Il dato fornisce comunque indicazioni a livello locale.</p>	<p><i>Descrizione:</i> in questo caso i valori variano tra 0 e 1, e a elevati suoi valori corrispondono elevati valori di controllo</p>	<p><i>Descrizione:</i> i valori variano tra 0 e 1 e raggiungono l'entità massima quando il nodo in esame insiste su tutti i percorsi minimi tra due nodi di riferimento</p>
<p>Le differenze più significative vengono riscontrate in modo particolare nella definizione delle unità di misura, poiché le analisi configurazionali sono basate su misure di distanza topologica (connettività e <i>Neighborhood Size</i>) mentre, nell'<i>Mca</i>, in lunghezza metrica per descrivere i valori dei percorsi</p>		

Convex Articulation Index	Indicatore di riferimento (mancante)	Indicatore di riferimento (mancante)
<i>Definizione:</i> indica il grado d'articolazione degli spazi convessi, vale a dire il grado di sincronia (quantità di relazioni) d'uno spazio convesso (spazio pubblico) rispetto agli edifici		
<i>Formulazione:</i> <i>Convex Articulation</i> = numero di spazi convessi / numero di edifici totale		
<i>Descrizione:</i> quanto maggiori saranno i valori del risultato, tanto minore sarà il grado di sincronia di determinati spazi rispetto all'intero sistema.		
I valori, identificati da questo indicatore, esprimono particolarità assenti nelle altre due teorie e, perciò, è interessante adottarlo nello studio del paesaggio urbano, in particolare studiando, per gli edifici d'interesse estetico – architettonico, la possibilità di valorizzare le situazioni di mancata visibilità o segregazione visiva rispetto all'intero sistema insediativo degli spazi pubblici		

Le differenze più significative tra le teorie configurazionali (Space Syntax) e la teoria di Multiple Centrality Assessment (Mca)

Analisi configurazionali (Space Syntax e Vga)	Multiple Centrality Assessment
<i>Disciplina d'origine</i>	<i>Disciplina d'origine</i>
L'analisi configurazionale manifesta radicate connessioni con la psicologia ambientale e, più in particolare, con gli studi riguardanti la teoria della percezione (e i derivanti processi cognitivi)	L'analisi Mca deriva le sue tesi dalla sociologia strutturale, che indaga le relazioni sussistenti fra un determinato gruppo d'attori in una rete sociale, la cui posizione centrale sia determinata dal numero e tipo di connessioni nel network (processi cognitivi e performativi)
<i>Tecnica di rappresentazione dello spazio urbano</i>	<i>Tecnica di rappresentazione dello spazio urbano</i>
Grafo duale: rappresentazione della rete stradale urbana tramite nodi (<i>nodes</i>) e delle sue intersezioni/incroci tramite archi (<i>edges</i>)	Grafo primiale: rappresentazione della rete stradale urbana tramite archi (<i>Edges</i>) e delle sue intersezioni/incroci tramite nodi (<i>Nodes</i>)

È stato prima constatato come il primo dei motivi d'adozione del grafo primiale da parte dell'analisi Mca presupponga una base informativa codificata secondo lo standard più diffuso e comunemente utilizzato nella pianificazione dei trasporti e del *geo - mapping* in tutto il mondo, vale a dire il *Road - Centerline - Between - Nodes* mentre, al contrario, la rappresentazione duale implica una costruzione grafica del sistema dedicata ex novo per ogni applicazione⁴².

Rispetto all'obiettivo prefissato dal lavoro sul caso di Limbiate, sarà pertanto conveniente riferirsi alla teoria che più s'adatta agli standard internazionali di rappresentazione e d'efficacia analitica.

Il Length Problem	Il Length Problem
Il <i>Connectivity Graph</i> , derivato direttamente dalle <i>Axial Maps</i> di <i>Space Syntax</i> , descrive una strada come identità costante pur sulla base d'una pluralità d'intersezioni	La centralità è calcolata direttamente su ogni nodo del grafo e, quindi, indirettamente su ogni arco come media della centralità dei due nodi

⁴² Facendo riscontrare, quindi, notevolissime differenze sul piano dell'affidabilità, fattibilità finanziaria e controllabilità dei dati ottenuti.

Dunque abbiamo visto come, nell'applicazione dell'analisi configurazionale di *Space Syntax*, il valore di centralità d'una strada rimanga forzatamente costante nonostante essa possa scambiare in molti punti intermedi col resto del sistema, e abbiamo anche constatato come il *Lenght Problem* risultante produca significative artefazioni sulla mappa di centralità, che non può rendere conto delle variazioni sopravvenienti sulla strada man mano ch'essa interseca altre strade; il che è assai poco realistico nel caso di strade lunghe che attraversano spazi urbani differenti.

L'analisi *Vga* (*Visual Graph Analysis*) supera il problema tramite la rappresentazione delle isoviste e dei corrispondenti indicatori attraverso elementi puntuali; *Mca* (*Multiple Centrality Assessment*) perfeziona il passaggio indicando i valori di centralità per ogni nodo e arco mediante il calcolo della media tra i due nodi adiacenti a ogni arco esaminato: rispetto allo scopo del lavoro su Limbiate (dove si procede alla scala dell'edificio e della parcella catastale), converrà scegliere la teoria che offra il maggior grado di dettaglio possibile.

<i>La generalizzazione dello spazio</i>	<i>La generalizzazione dello spazio</i>
Nel caso dell'analisi configurazionale di <i>Space Syntax</i> due strade diverse, separate da un'intersezione, vengono rappresentate come un'entità unica se risultano lungo lo stesso asse.	Nel caso dell'analisi <i>Vga</i> (<i>Visual Graph Analysis</i>) ogni strada è descritta dal proprio arco, col conseguente annullamento della generalizzazione geografica; tuttavia, non vengono caratterizzati morfologicamente gli spazi bidimensionali (piazze, spazi aperti).

La distribuzione spaziale delle centralità nel network non dipende, per *Space Syntax*, dal flusso naturale dei valori centrali né soltanto dalle condizioni strutturali del sistema, poiché le centralità vengono largamente determinate dall'estensione dell'identità stradale in base al criterio di linearità mentre *Mca*⁴³ rappresenta, al contrario la realtà geografica degli insediamenti: nel primo caso, le analisi sono finalizzate all'identificazione degli aspetti cognitivi dello spazio (percezione dell'utente) ma, come s'è visto, occorre rilevare al contempo anche i processi performativi degli utenti senza ricorrere ad alcun tipo di generalizzazione; al contrario, *Visual Graph Analysis* rappresenta l'unica soluzione per non generalizzare gli spazi bidimensionali, discretizzando l'intero spazio su una matrice ortogonale di maglia definita.

<i>La definizione delle distanze</i>	<i>La definizione delle distanze</i>
Ciò che, per le teorie configurazionali, viene definito come distanza è riferito agli <i>steps</i> o numero di isospazi che s'incontrano tra un nodo e un altro qualsiasi del sistema (distanza topologica).	La misura delle distanze avviene mediante l'adozione di unità metriche.

Pur risultando comunque minimo lo spazio discrezionale, nelle analisi configurazionali viene criticata la possibilità dell'analista di ricorrere a scelte soggettive; come mostra la figura successiva, mantenendo la medesima lunghezza il segmento 1 può essere disegnato nella posizione originaria (in nero) oppure rappresentato in rosso ma, con quest'ultimo cambiamento, si viene a perdere (nell'area cerchiata in verde) la preesistente intersezione fra linee assiali variando così molti valori dell'indice di integrazione (la *Multiple Centrality Assessment* permette, evidentemente, di limitare il margine d'arbitrarietà) mentre, per la *Vga*, l'unica operazione soggettiva resta la scelta d'una densità di punti idonea a descrivere l'insediamento senza pesare troppo sui tempi d'elaborazione della macchina.

Per quanto concerne la discrezionalità nella costruzione dell'*Axial Map*, Hillier ribadisce che, per uno stesso spazio, sono associabili più *Convex Maps* ma, senza dubbio, il risultato consisterà sempre e comunque in un'unica *Axial Map* poiché quest'ultima non è certo ottenibile in modo deterministico attraverso una *Convex Map* (Cutini, 2010).

⁴³ *Multiple Centrality Assessment*.



Un esempio di dato d'input per l'Axial Analysis effettuata manualmente

<i>Livello di discrezionalità</i>	<i>Livello di discrezionalità</i>
Costruendo un' <i>Axial Map</i> nel rispetto di tutte le regole della sua costruzione (prese nel minor numero, della maggior lunghezza, e avendo cura che coprano tutti gli spazi convessi) difficilmente si lascerà spazio a operazioni discrezionali (o, comunque, si limiteranno al massimo le scelte soggettive)	La discrezione nella <i>Multiple Centrality Assessment</i> è in buona sostanza nulla in quanto la rappresentazione del grafo primiale descrive necessariamente la realtà geografica dello spazio urbano

Limiti e opportunità dei modelli considerati rispetto agli scopi dell'indagine

Occorre ora stabilire quale delle due teorie⁴⁴ permetta di far meglio emergere i tratti caratterizzanti della struttura urbana di Limbiate e, in tale direzione, occorrerà stimare:

- a) i *gradi di centralità locale e globale* rispetto all'accessibilità esistente nell'armatura insediativa; l'indicatore più rilevante delle indagini configurazionali è quello d'integrazione, che stima la misura topologica della profondità d'uno spazio rispetto agli altri nel cambio della prospettiva visuale; è vero che le parti di network urbano, meno influenzate dai cambi di prospettiva, sono rappresentate dai tracciati approssimativamente rettilinei ma sembra altresì opportuno non solo considerare l'andamento d'un tracciato ma anche la sua lunghezza effettiva; di conseguenza, la misura di centralità che più s'adatta è la *Multiple Centrality Assessment* e il corrispondente indice di *Closeness*; la lunghezza euclidea riveste comunque un buon ruolo nello studio dell'assetto morfologico - strutturale urbano, esprimendo un percorso che le analisi configurazionali definiscono di valore elevato (il massimo valore) d'integrazione; anche in questo caso, una rilettura dell'indice di *Straightness* in *Mca* consentirebbe in sostanza d'esprimere il medesimo concetto: quanto, cioè, il percorso reale si discosti da quello più rettilineo, aspetto compreso (con l'indice di *Straightness*), tra 0 e 1 dove i percorsi di valore 1, rettilinei, sono assimilabili ai più integrati anche nell'ottica della profondità topologica, tipica delle analisi configurazionali⁴⁵;

⁴⁴ La teoria configurazionale (*Space Syntax*) e quella di *Multiple Centrality Assessment (Mca)*.

⁴⁵ Emerge dunque l'affidabilità che *Mca* può offrire anche in termini di percezione e processi cognitivi; ulteriore elemento di attenzione è l'«effetto bordo», risolto da ambedue le famiglie di teorie spaziali, ma bisogna precisare un ulteriore aspetto: la difficoltà di decidere in termini oggettivi il valore del *Buffer* da considerare nella costruzione del grafo primiale rispetto al confine dell'intero territorio comunale nelle analisi *Mca*; in una varietà di casi studio considerati, il valore del buffer viene fissato tra 600 e 1.000 m.

- b) la *distribuzione spaziale delle attività*, concorrenti a generare centralità; si noti come le centralità urbane dettate da processi cognitivi siano ben descritte dalle analisi configurazionali che, infatti, definiscono porzioni di spazio più accessibili, configurate come attrattori di possibili servizi, e più si prestano quindi a descrivere i comportamenti pedonali; in realtà se guardiamo al bacino d'utenza dei servizi in generale, l'orizzonte medio è relativamente ampio né può comprendere solo il movimento pedonale e, di conseguenza, l'analisi *Mca* meglio si presta alla descrizione degli spostamenti in termini globali, mentre le analisi configurazionali potranno trovare utilizzo a livello locale⁴⁶;
- c) il *paesaggio urbano* e i derivanti livelli di vitalità, vivibilità, qualità, *appeal*; in questo caso, studiare il paesaggio è ancor più significativo dopo l'introduzione dell'aspetto della percezione visuale (anche in ossequio alle prescrizioni regionali del Ppar lombardo) e, nella descrizione del valore paesaggistico, la distanza metrica non appare così significativa quanto piuttosto il punto di vista del fruitore; tuttavia, nell'analisi *Axial Map* il *Lenght Problem* indice generalizzazioni troppo marcate, limite superato da *Vga* peraltro con l'ulteriore limite (tra l'altro, anch'esso comune alle *Axial Maps*) della mancata considerazione della terza dimensione (ingombro in altezza degli edifici e orografia territoriale); in tal caso neanche la *Mca* offre soluzioni allo studio del paesaggio col criterio della percezione visuale, ma il nuovo applicativo *ViewSheed* di *ArcGis 9.x* permette invece, costruendo un modello digitale del terreno, la successiva descrizione dei punti di vista quotati (*Target Observer*)⁴⁷ e, dunque, va considerata l'utilità d'integrare le analisi *Vga* attraverso un Digital Terrain Model; ulteriore indicatore considerabile è il *Convex Articulation Index* derivato dall'analisi configurazionale hillieriana (proprietà numeriche della *Convex Map*), che ben si presta a descrivere il tessuto urbano costruito misurando il grado d'articolazione dello spazio aperto rispetto alla presenza d'edifici⁴⁸.

Oltretutto, bisogna sicuramente trarre in conto le potenzialità di risparmio di tempo che *Mca* potrebbe offrire: nel caso di Limbiate, infatti, è già disponibile la rappresentazione del grafo viario urbano, utile a determinare diversi parametri d'accessibilità quali le isocrone e le isometre; inoltre le procedure di calcolo degli indicatori, in particolare per la *Vga* (che discretizza lo spazio urbano con una matrice ortogonale a dimensione di cella variabile dal kmq a misure di superficie infinitesime), necessitano di potenza di calcolo notevole, considerata la grande quantità di dati da immettere nel sistema; in più, lo studio effettuato sui caratteri e dinamiche del mercato immobiliare locale di Limbiate⁴⁹ risulta, nel modello di ricerca, variabile cruciale per individuare le regole che governano le spinte localizzative e le dinamiche di sviluppo, considerando il valore di mercato d'ogni edificio stimato in primo luogo per la sua rendita catastale e, in seconda battuta, come variabile dipendente dalle differenti componenti spaziali⁵⁰.

Il valore economico dell'unità immobiliare si prospetta dunque per Limbiate elemento cardine nello studio delle peculiarità urbane: la presenza dei differenziali di prezzo, sussistenti tra gli spazi di maggiore accessibilità e vitalità economico/sociale nelle differenti parti urbane, viene assunta per identificare le variabili indipendenti che incidono sull'evoluzione della geografia urbana, e l'adozione di tecniche stimative (riadattate) consente di far interagire le componenti spaziali ed econometriche di Limbiate, permettendo di disaggregare il valore economico secondo i caratteri *intrinseci* degli immobili ed *estrinseci* del contesto urbano; le applicazioni di geostatistica multivariata consentiranno, infine, di

⁴⁶ Per esempio per analizzare la localizzazione dei servizi commerciali di base (considerato il localissimo bacino di utenza), sempre considerando il limite (insito nell'analisi) dell'apprezzamento della distanza metrica.

⁴⁷ Ampiamente sperimentato nello studio paesaggistico del Piano di governo del territorio di Como (Paolillo, 2011).

⁴⁸ Nel caso della presenza d'edifici di pregio di cui si conosce la localizzazione, potrebbero essere confrontati gli spazi i cui valori dell'indicatore risultino bassi (condizione d'elevata sincronia) con gli edifici di pregio e, nel caso in cui risultino localizzati in punti del sistema caratterizzati da alti valori dell'indice, sarebbe opportuno intervenire attraverso processi di valorizzazione del patrimonio estetico – architettonico.

⁴⁹ Cfr. per l'impostazione di tale studio, il successivo cap. 2 ("*I modelli di economia urbana per l'interpretazione del fenomeno del mercato immobiliare: l'equilibrio dell'unità familiare*").

⁵⁰ Ognuna delle quali formalizzata in uno o più indicatori sintetici di natura quantitativa.

stimare il grado d'interdipendenza dei fattori analitici assunti derivandone i conseguenti isospazi d'omogeneità fenomenica.

L'influsso del mercato immobiliare non è certo, nell'attuale situazione urbana, sottovalutabile ma occorre consapevolezza che il valore d'un immobile dipende, direttamente e solo, dall'andamento della domanda e offerta del bene variando per elementi soggettivi come le preferenze dell'acquirente, stabilibili solo nel momento dell'incontro con l'offerente; è dunque la classica regola del mercato a incidere sull'identificazione dei valori immobiliari, e la significatività dell'adozione d'un indicatore econometrico sembra quella d'estendere alla dimensione urbana i comportamenti soggettivi, studiando come gli andamenti e le preferenze del mercato dipendano (anche) dalle geografie di peculiarità/potenzialità emergenti dall'esame delle componenti costitutive del tessuto urbano consolidato: *i*) la morfo – tipologia del patrimonio costruito, *ii*) la dimensione economica delle funzioni extraresidenziali, *iii*) la socio – demografia delle funzioni residenziali, *iv*) la morfo – struttura, ricavata dall'analisi delle centralità urbane dettate dalla configurazione del network insediativo, *v*) il paesaggio urbano, fattore composito che riflette i valori di qualità relazionale dettati dal tessuto edilizio nel suo rapporto con la configurazione dello spazio pubblico, *vi*) i servizi pubblici e di carattere generale e sussidiario, *vii*) il quadro degli obiettivi politici di governo del territorio, alla scala locale e sovralocale.

2. I modelli di economia urbana per l'interpretazione del fenomeno del mercato immobiliare: l'equilibrio dell'unità familiare

Le teorie fondative dell'economia urbana hanno classicamente considerato il nodo della localizzazione ottimale delle attività residenziali ed extra – residenziali quasi solo basandosi sulla relazione diretta tra prezzo del suolo e costi di spostamento dell'utenza, correlando la rendita alla domanda di accessibilità; in tal percorso si riconoscono le teorie di Haig che sostiene come, *“nello scegliere un'abitazione esclusivamente con l'intenzione di abitarla, si acquista accessibilità esattamente come si acquisterebbe cibo o vestiario”*; trova così stima il nesso tra il desiderio dei contatti, permessi da una localizzazione centrale, i costi d'attrito derivanti (ossia le varie combinazioni possibili tra valore immobiliare, stima del tempo e costo del trasporto), gli ulteriori bisogni, le risorse personali disponibili, la propria scala delle priorità di consumo, l'eventuale acquisto.

La criticità più rilevante, alla base di tale teoria, sta nella sottovalutazione d'altre variabili fondamentali per massimizzare l'utilità del consumatore che, nell'acquisto di superficie residenziale, non solo può scegliere tra localizzazioni più accessibili d'altre ma può, anche, compensare i costi aggiuntivi della distanza con maggiori quantità di spazio utile e conseguente maggior benessere residenziale (il cui costo scende all'aumentare dei costi di trasporto), o con maggiori quantità di servizi aggiuntivi, oltre alla scelta del contesto residenziale (composizione del vicinato, qualità delle scuole e dei servizi pubblici, qualità ambientale ecc.).

Sicché, nell'analisi dei fattori insediativi che s'avvale delle teorie della rendita e dell'economia urbana, va esaminata insieme la distribuzione dei valori di scambio del suolo urbano e le preferenze individuali nel massimizzare la propria utilità/soddisfazione: il consumatore di residenza ha disponibile un capitale con cui deve coprire i costi d'acquisto dell'immobile, di trasporto, d'altri beni e servizi, e le sue scelte tra le diverse alternative sono perciò vincolate al proprio reddito e all'equilibrio tra combinazioni di variabili, vincolate a criteri sostanzialmente generici in situazioni spazialmente così ridotte come quella di Limbiate: i valori immobiliari, per esempio, sono ritenuti decrescenti all'aumentare della distanza dal centro economico urbano, scontrandosi con una difficoltà oggettiva a definire quali porzioni siano assimilabili al centro vitale delle teorie economiche classiche e, oltretutto, in tal modo l'interesse nei confronti degli aspetti morfo – insediativi degli aggregati urbani e dell'articolazione della maglia fisica dei percorsi rischierebbe d'esaurirsi nel classificare l'uso spaziale fra le diverse attività; è il caso allora d'interpretare con strumenti più affinati la distribuzione spaziale dei valori del mercato abitativo nell'assetto urbano di Limbiate: il processo insediativo degli ultimi decenni ha decisamente cambiato dappertutto direzione rispetto alle linee teoriche classiche, che accostavano il “valore del

terreno” principalmente al “valore di posizione” (Marshall, 1961), e i valori dei terreni meno centrali sono assai aumentati a scapito di quelli più centrali, facendo emergere una sostanziale controtendenza rispetto alle dinamiche passate; ma è così vero che si trattasse veramente d’una minor centralità? e che cos’è centrale, e che cos’è periferico? e non è forse vero che sussistono differenti centralità, rispetto a variabili connotative differenti, e che uno spazio, ritenuto centrale per un fatto, non sia centrale per un altro?

Insomma, l’analisi urbana dei fattori economici fondiari va un po’ ripensata, ed è il tentativo che nel seguito si vedrà d’esplorare; ma è indubbiamente nota la sussistenza di notevoli scostamenti per gli immobili residenziali tra i valori di mercato e quelli catastali, e ciò giustifica il fatto che non ci si possa fidare delle stime catastali per applicarle alle analisi urbane: tanto per dirne una, basti solo comparare il valore ex c. 335, art. 1 della legge 30 dicembre 2004, n. 331 e quello catastale calcolato sui valori di mercato del biennio 1988/1989 (periodo censuario di riferimento della revisione degli estimi 1992), per constatare uno notevole gap in particolare per i fabbricati di categoria A5, che nel tempo è assai aumentato e che, al confronto tra i valori, pone in luce due fenomeni diversi: *x*) il mutamento, assoluto e relativo, intervenuto per l’andamento di mercato nelle diverse aree; *y*) le distanze di livello, addebitabili alla mancata revisione dei classamenti fin dal 1988.

Infatti, dal 1988 al 2006 (soglia che adottiamo per la disponibilità d’alcuni dati) s’è assistito in Italia al susseguirsi di tre cicli immobiliari e al cambiamento delle dinamiche di mercato delle diverse tipologie abitative: *i*) dal 1988 al 1992 – 1993 sono cresciuti i valori, poi arrestatisi; *ii*) dal 1993 al 1997 – 1998 non hanno avuto luogo crescite, in favore d’una stasi che ha mantenuto stabili i valori di mercato; *iii*) dal 1998 è iniziata un’ulteriore crescita perdurata fino al 2004 senza, in realtà, manifestare segnali di cambiamento di tendenza se non nei due anni precedenti; *iv*) nel 1996, con la legge finanziaria 1997, il valore di rendita è aumentato del 5% allo scopo d’attenuare lo scostamento tra quello catastale e i valori di mercato ma, in presenza d’una crescita disomogenea da una realtà territoriale a un’altra, si sono generate conseguenti sperequazioni nel recupero del valore catastale rispetto a quello di mercato.

Il periodo esemplificativamente esaminato, pur ridotto, consente d’evidenziare come i fenomeni non siano stati costanti dappertutto: il centro ha presentato un incremento maggiore rispetto al resto d’Italia, in particolare dal 2002 al 2004, mentre il sud e le isole hanno mostrato tendenze simili ma con valori immobiliari inferiori del 50%; il mercato immobiliare nazionale ha percorso per oltre un decennio (dalla metà degli anni ‘90 fino al 2006) uno dei più lunghi cicli positivi della sua storia ma, a partire dal 2007, ha subito un’inversione registrando un calo netto nei volumi di compravendita, in linea con la crisi economica mondiale che ha avuto ripercussioni significative anche a livello nazionale, in particolare sui prestiti bancari e sulle agevolazioni per l’acquisto di abitazioni; durante il 2008 e 2009 le contrazioni delle compravendite hanno raggiunto il 30%, con allungamenti dei tempi medi di vendita, aumento dell’offerta immobiliare e conseguente caduta dei prezzi, ma non dappertutto: la perdita di valore più consistente s’è verificata dove il mercato era stato più vitale e i prezzi maggiori, nel nord e nord/est della penisola, nel Milanese, nel Lombardo Veneto e Emilia, con un perdurare della crisi per l’intero corso del 2010 ancorché con deboli segnali di ripresa; oggi, dopo tre anni di decremento continuo s’assiste ora all’iniziale inversione del trend negativo e alla crescita (ancora peraltro poco significativa) dei volumi di compravendita; ma rimane il fatto che, per il 2012, il mercato permane ancora pressoché congelato; il comparto edilizio è tornato ai livelli dei primi anni 2000, così come i suoi valori immobiliari.

Anche in questo caso, è dunque opportuno chiedersi se tale caduta dei prezzi sia dappertutto così generalizzata o invece, come attestano i dati generali per il territorio nazionale, se da qualche parte abbiano luogo sfumature che rivelino fuochi possibili di differenza, anche alla dimensione intralocale; vediamo, allora, per il nostro comune e i suoi differenti ambiti urbani.