

CREARE LA CITTÀ DAL BASSO IN ALTO: USO DELLA TEORIA DELLA COMPLESSITÀ PER UN DESIGN EFFICACE

GENERATING CITIES FROM the BOTTOM-UP: USING COMPLEXITY THEORY for EFFECTIVE DESIGN

MICHAEL BATTY. UK

[+] <http://www.cluster.eu/v2/themes/batty>

1_ A NEW PARADIGM for CITY PLANNING

Cities are built from the bottom up. They are the product of millions of individual decisions on many spatial scales and over different time intervals, affecting both the functioning and form of the city with respect to how it is structured and how it evolves. It is impossible to conceive of any organisation that can control such complexity. Throughout history, plans for cities have been proposed as a top-down response to perceived problems and the realisation of ideals but there are few examples where control has been sufficiently strict to enable their complete implementation. Most development in cities occurs without any central planning yet cities continue to function, often quite effectively without any top-down control. Cities as part of societies and economies not only hold together without any top-down control but actually evolve their own coordination from the bottom up, their order emerging from these millions of relatively uncoordinated decisions which express Adam Smith's characterisation of the economy as being managed by an "invisible hand".

Fifty years ago, cities were first considered to be systems whose functioning was based on many interacting parts and whose form is manifested in a relatively coordinated hierarchy of these parts (or subsystems). Yet systems in these terms were conceived of as being centrally controlled. As the paradigm developed, there was a subtle shift to the notion that the order in many systems and their resulting hierarchies emerged from the way their parts or elements interacted from the bottom up. The complexity sciences developed to refresh this systems paradigm with the focus changing from an analogy between cities as machines to one based on evolving biologies, whose form was the result of subtle and continuous changes in their genetic composition at the level of their most basic component parts.

This shift in thinking is wider than cities per se. It is from thinking of the world in terms of its physics to

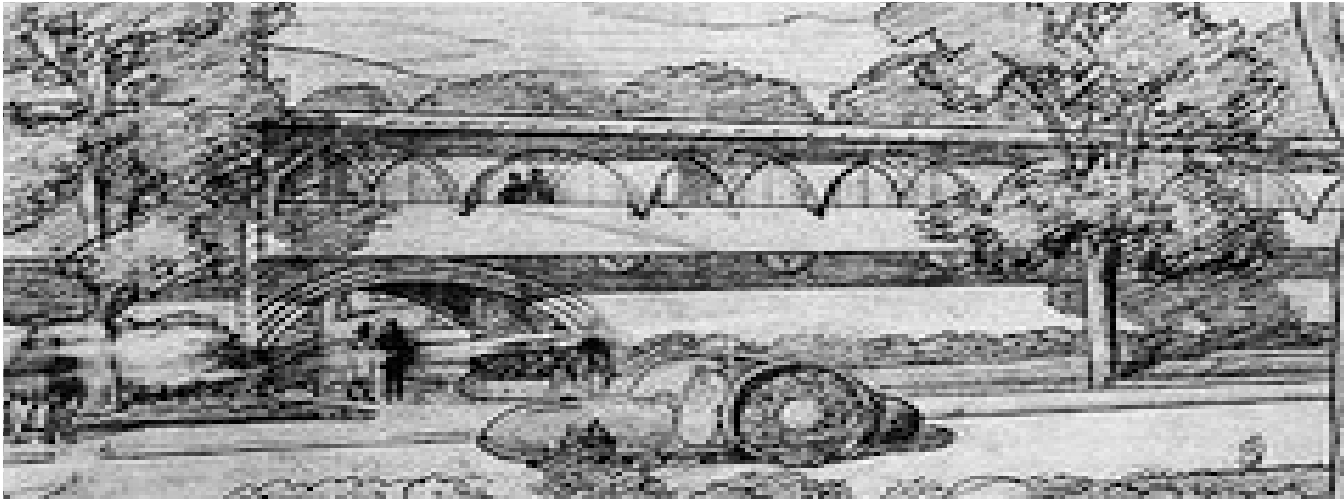
1_ UN NUOVO PARADIGMA per la PIANIFICAZIONE della CITTÀ

Le città crescono e si sviluppano dal basso verso l'alto. Sono la risultante di milioni di decisioni singole, in diversi ambiti spaziali, in molteplici intervalli temporali e che influiscono su ogni aspetto della città, su com'è strutturata e come si evolve. È impossibile immaginare una qualsiasi organizzazione che possa essere in grado di controllare tale complessità. Nei secoli sono stati generalmente proposti progetti dall'alto verso il basso ma esistono ben pochi esempi in cui il controllo sia stato sufficientemente rigoroso, al punto da consentire la loro completa attuazione. Nelle città, gran parte dello sviluppo avviene senza pianificazione e tuttavia le città continuano a funzionare, spesso in modo abbastanza efficace e, soprattutto, senza alcun controllo dall'alto. Le città, come parte di società ed economie, non solo stanno insieme, ma arrivano addirittura a coordinarsi automaticamente, come se fossero gestite, come teorizzava Adam Smith nella sue analisi economiche, da una "mano invisibile".

Cinquanta anni fa, le città erano ritenute sistemi il cui funzionamento era basato su sottosistemi che interagivano fra loro e la cui forma si manifestava attraverso una gerarchia relativamente coordinata; i sistemi erano immaginati come diretti da una sorta di controllo centrale.

A mano a mano che il paradigma si è andato ampliando, c'è stato un sottile mutamento, arrivando al principio che l'ordine di molti sistemi emerge dal modo in cui le parti interagiscono dal basso. La scienza della complessità si è sviluppata dando una nuova veste a tale paradigma sistemico, con un conseguente cambiamento di obiettivi e spostando l'analogia da "città come macchine" a "biologie in evoluzione" la cui forma era la risultante di sottili e costanti cambiamenti nella loro composizione genetica al livello delle componenti più basilari.

È necessario un nuovo paradigma che si basi sui recenti sviluppi nella teoria della complessità che, in termini di pianificazione della città, è fondata sulle tradizioni suggerite prima da Patrick Geddes nel suo libro *Cities in*



one based on its biology, from top down to bottom up, from centralised to decentralised action, and from planned forms to those that evolve organically. In this essay, I will argue that it draws on recent developments in complexity theory which in terms of city planning, draws on the traditions first suggested by Patrick Geddes (1915) in his book *Cities in Evolution* at the beginning of the last century but taken up in earnest in the early 1960s by Christopher Alexander (1964) and Jane Jacobs (1962) amongst others.

Evolution, e ripresa da Christopher Alexander (1964) e Jane Jacobs (1962). Il tema centrale è che pianifichiamo “a nostro rischio e pericolo” e che piccoli interventi effettuati in modo puntuale ed opportuno, in piena armonia con il contesto locale, hanno maggiori probabilità di buon esito rispetto ai progetti calati dall’alto, caratteristica della pianificazione urbanistica del XX secolo. Le città si sviluppano riempiendo lo spazio a loro disposizione in vari modi, con densità differenti e utilizzando schemi diversi, consentendo alle loro parti di funzionare.

Cities are built from the bottom up, incrementally, and where they are planned from the top down, the plan is usually a small part of wider organic development Le città si sviluppano dal basso verso alto in modo incrementale e dove sono pianificate dall’alto, il progetto risulta essere piccola parte di uno sviluppo organico più ampio

This paradigm has taken a century in sensitising us to the need to step carefully when intervening in complex systems. Its message is that we plan “at our peril” and that small interventions in a timely and opportune manner which are tuned to the local context are more likely to succeed than the massive top-down plans that were a feature of city planning throughout much of the 20th century. To impress this new style of planning, we will proceed by analogy using metaphors about how cities are formed taken from physics and biology. We will first outline the notion of modularity and hierarchy, of self-similarity and scale in the physical and functional form of cities, and then we will present ways in which basic functions generate patterns that fill space to different degrees. Cities develop by filling the space available to them in different ways, at different densities and using different patterns to deliver the energy in terms of people and materials which enable their constituent parts to function. We will demonstrate a simple diffusion model and then generalise it to grow city forms and structures, in silico. We will allude to city plans in history that demonstrate our need to plan with and

2_ MODULARITÀ, GERARCHIA ed AUTOSOMIGLIANZA

La costruzione modulare non è solo un processo funzionale atto a garantire che le componenti di un sistema vengano messe insieme in un modo efficiente e sostenibile, bensì un mezzo per far funzionare processi in grado di gestire il sistema efficacemente. Ad esempio, le varie funzioni economiche di una città dipendono da una massa critica di popolazione al punto che, più è specializzata la funzione, maggiore è la quantità di popolazione necessaria per sostenerla. Le funzioni maggiormente specializzate dipendono talmente da economie di scala che le dimensioni e le distanze fra varie funzioni producono una schematizzazione regolare a livelli gerarchici diversi. Questo porta ad una replica di moduli uguali ma di estensione diversa a seconda della rispettiva scala. Siamo in grado di dimostrare il quanto appena affermato utilizzando qualche semplice nozione di geometria, così da illustrare come possiamo produrre un modulo fisico, dando luogo ad un frattale che risulta simile a qualunque scala.

alongside the mechanisms of organic growth rather than against these processes, which has been the dominant style of planning in the past century.

2_ MODULARITY, HIERARCHY and SELF-SIMILARITY

Modular construction is not simply a functional process of ensuring that component parts of a system are stuck together efficiently and sustainably but a means of actually operating processes that drive the system in an effective way. For example, different functions which relate to how the economy of a city works, depend on a critical mass of population such that the more specialised the function, the wider the population required to sustain it. In short, more specialised functions depend on economies of scale such that the size and spacing of various functions produces a regular patterning at different hierarchical levels. The modules are thus replicated in a way that they change their extent with their scale. We can demonstrate this point using some simple geometry that illustrates how we can scale a physical module, producing a fractal that is similar on all scales.

Il processo può essere visto come una gerarchia, chiaramente presente nello schema stesso, ma che, in termini di processo ricorsivo, è visibile diagramma ad albero (Figura 2).

Esiste una morfologia precisa, frattale: è la forma di una serie di oggetti collegati fra loro a formare un albero, o un dendrite. Se si vuole trasportare energia da una sorgente centrale a punti posti ad una certa distanza, risulta maggiormente efficiente sviluppare un'infrastruttura in grado di catturare la massima capacità di trasferimento e che sia il più vicino possibile alla sorgente. Disponiamo, ad esempio, 16 punti intorno ad un cerchio ed ipotizziamo 2 schemi di connessione tra la sorgente e i 16 punti. Il primo con collegamenti diretti - Figura 3a-, il secondo con collegamenti raggruppati - Figura 3b-. Nel primo, ipotizzando che ogni singolo collegamento corrisponda ad una distanza di 1 unità, la lunghezza complessiva dei percorsi necessari per servire tali postazioni è quindi pari a 16. Nel secondo, dove i collegamenti sono stati raggruppati, è dimostrato che la distanza complessiva dei è un numero che sta tra la metà e i tre quarti della forma originale. Questo dimostra che lo spazio deve essere riempito in modo efficien-

Street networks are examples of how cities grow from the bottom up: they represent the skeletal structure on which all else in the city hangs *Le reti stradali sono esempi di come le città crescono dal basso in alto: rappresentano lo scheletro su cui si agganciano le altre strutture*

The process can be viewed as a hierarchy which is clearly present in the pattern itself but in terms of the recursive process, can be abstracted into the usual tree-like diagram which we show in Figure 2.

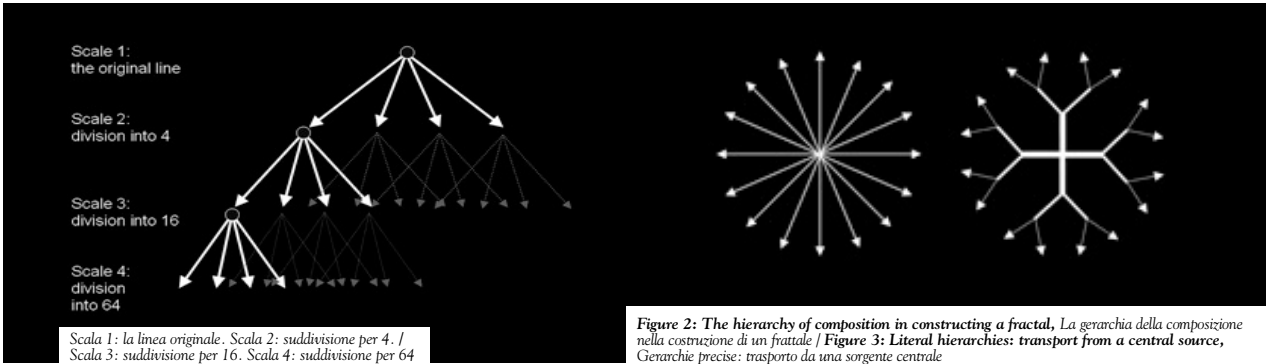
There is however a much more literal morphology which is fractal and this is the shape of an object or set of linked objects that form a tree or dendrite. If you want to transport energy from some central source to many distant locations, it is more efficient to develop infrastructure that captures as much capacity for transfer as near to the source as is possible. This is rather easy to demonstrate graphically for if there are 16 points arranged around a circle, then rather than build a link between the source and each of these 16 points, it is more efficient to group the links in such a way that the distance to these different locations is minimised. In Figure 3a, assuming each single link is of distance 1 unit, then the length of the routes needed in total to service these locations ("fill the space") is 16 in comparison with the grouping of these routes into 2, then four, then 8 which is shown in Figure 3b. The total distance of this arrangement in 3b is something between one half and three quarters of the original form in

te. Le strutture della Figura 3 sono frattali e nella Figura 3b l'autosomiglianza è palese mentre e una gerarchia precisa viene protesa nello spazio.

Esistono molti esempi di tale struttura gerarchica in forme osservabili sia in natura sia in sistemi artificiali. L'energia, sotto forma di sangue, ossigeno e impulsi elettrici, viene trasmessa al corpo attraverso reti dendritiche fatte di arterie e vene, polmoni e nervi (Figura 4a) e le piante si estendono verso l'alto, per ricevere ossigeno dall'aria, e verso il basso, per trarre altre sostanze nutritive dal terreno (Figura 4b). Allo stesso modo nella Figura 4c è illustrata la rete stradale di Wolverhampton, UK (circa 300.000 abitanti nel 2001): il sistema stradale tradizionale è cresciuto organicamente dal basso, ma l'anello intorno al centro della città è stato, invece, pianificato ed imposto dall'alto. Ciò che osserviamo, quindi, è una miscela di diversi processi decisionali.

Nella Figura 4d è illustrata una delle isole a forma di Palma al largo della costa di Dubai. Si tratta di un esempio straordinario di come sia necessario preservare le risorse quando si costruisce in un ambiente ostile.

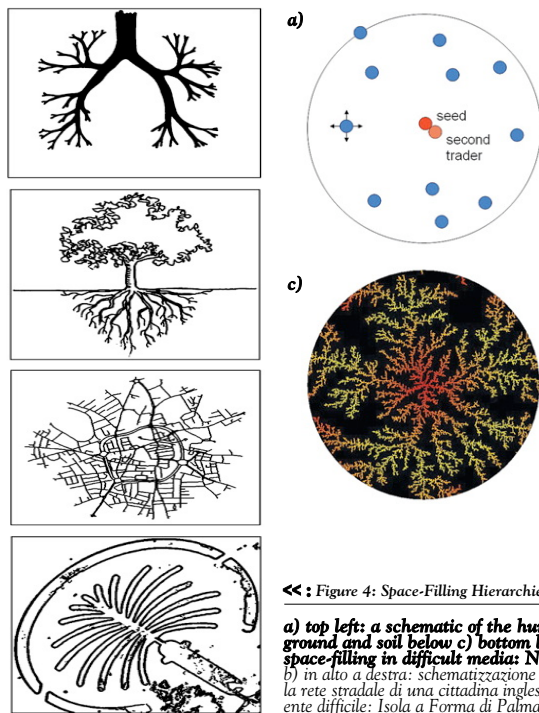
Le città si sviluppano dal basso verso alto in modo incrementale e dove sono pianificate dall'alto, il progetto



a) left: each link is separate b) right: arranging links into a more efficient structure. a) a sinistra: ogni collegamento è separato. b) a destra: disposizione dei collegamenti in una struttura maggiormente efficiente

Figure 3a depending on the precise configuration although the capacity of the links which take more traffic nearer the source are bigger, and this would incur extra costs of construction. Nevertheless, this demonstrates the important point that where resources are to be conserved (which is in virtually every situation one might imagine), space must be filled efficiently. The tree structures in Figure 3 are fractals with Figure 3b illustrating this self-similarity directly while at the same time being a literal hierarchy spread out in space demonstrating quite explicitly the pattern of its construction. There are many examples of such hierarchical structure in the forms we see in both nature and in man-made systems. Energy, in the form of blood, oxygen, and electric signals is delivered to the body through dendritic networks of arteries and veins, lungs, and nerves as we illustrate in the schematic of the central lung system in Figure 4a. Plants reach up to receive oxygen from the air and down to draw out other nutrients from the soil as in Figure 4b. Nearer to our concern here and reflecting the discussion of route systems above, Figure 4c shows the network of streets in the mid-size English town of Wolverhampton (population circa 300, 000 in 2001). It is clear that the traditional street system has grown organically but the ring around the town centre has been planned, imposed from the top down, thus illustrating the notion that what we observe in cities is a mixture of different scales of decision-making. In Figure 4d, we show one of the Palm islands off the coast of Dubai developed by the construction company Nakheel. This is a wonderful example of how it is necessary to conserve resources when building into hostile media - in this case by reclaiming land from the sea, where transportation and access become the main themes in the way the resort is formed. These examples demonstrate that cities are built from the bottom up, incrementally, and where they are planned from the top down, the plan is usually a small part of wider organic development. When cities grow at

risulta essere piccola parte di uno sviluppo organico più ampio. Quando, in un qualsiasi momento della loro storia, le città crescono, ci sono poche idee su quel che ci si potrà aspettare a livello di nuovi comportamenti, valori, tecnologie e norme sociali, pertanto non è affatto sorprendente che le città crescano “ad hoc”, rispecchiando l’efficienza e l’equità che predominano nel consenso unanime al momento in cui ha luogo lo sviluppo. Per illustrare come sia possibile modellare questo processo, possiamo cercare di riassumerlo in due forze principali che incarnano sia il desiderio di spazio da parte di ogni singolo individuo, sviluppatore di progetti o consumatore, sia il desiderio di vivere il più vicino possibile alla ‘città’ composta di altri individui. Si tratta di un modello semplice, una simulazione ipotetica, in grado di raggruppare tutto quanto fino ad ora esposto. Nella Figura 5a è illustrata una schematizzazione base del processo di localizzazione. Liberamente in movimento, una serie di individui si dispone quasi secondo un cerchio ma, dopo l’insediamento di un primo operatore, (operatore originario o “seed”), gli individui che vogliono insediarsi in seconda istanza (puntini blu sul grafico) iniziano a muoversi alla ricerca della loro ubicazione, seguendo un percorso casuale. Decidono ad ogni passo in modo casuale, attraversando il “piano di localizzazione”. Se si spostano verso una cellula adiacente al puntino rosso fisso, s’insediano: si fermano e diventano rossi (secondo trader). Ora sono stabili. Potete vedere la forma finale e, di conseguenza, sapere quale sarà il risultato definitivo; se, però, non aveste seguito il processo e visto l’effetto, avreste potuto pensare che il risultato fosse una massa crescente in modo compatto. Nella Figura 5b illustriamo una progressione e ciò che accade è che, non appena un operatore s’insedia a fianco al puntino rosso esistente, la conformazione muta. A mano a mano che passa il tempo, lo schema a bordo lineare, caratteristico della punta di crescita della massa iniziale, inizia ad enfatizzarsi e ad un operatore risulta



◀◀ : Figure 4: Space-Filling Hierarchies, Gerarchie di Riempiemento dello Spazio

a) top left: a schematic of the human lung b) top right: a schematic of a tree growing into different media: air above ground and soil below c) bottom left: the road network of a mid-sized English town: Wolverhampton d) bottom right: space-filling in difficult media: Nakheel's Palm Island in Dubai a) in alto a sinistra: schematizzazione di un polmone umano; b) in alto a destra: schematizzazione di un albero che cresce in ambienti diversi: nell'aria e nel terreno sottostante; c) in basso a sinistra: la rete stradale di una cittadina inglese di medie dimensioni: Wolverhampton; d) in basso a destra: riempimento dello spazio in un ambiente difficile: Isola a Forma di Palma a Dubai, realizzata da Nakheel.

any point in time, we have little idea of what the future holds with respect to new behaviours, values, technologies and social norms and thus it is not surprising that cities grow in an ad hoc manner reflecting the efficiencies and equities that dominate the consensus at the time when development takes place. To illustrate how we can model this process, we can abstract it into two main forces that reflect the desire for space on the part of any individual, developer or consumer which is traded off against the desire to live as close as possible to the "city" composed of other individuals so that economies of scale might be realised. This is a simple model which captures all the ideas we have introduced so far and we will now develop it as a hypothetical simulation.

In Figure 5a, we show a schematic of the location process. The individuals are arranged around a circle well outside the location of the settlement which is fixed at the centre of the circle with the red solid dot. This is where the original trader locates. Each individual is a solid blue dot and they begin the movement in search of the location using a random walk. They decide at each step to move up or down or left or right randomly and in this way walk across the locational plane. If they move to a cell adjacent to the fixed solid red dot, they settle; they stop any further walking and turn red which shows they are now fixed, stable and no longer in motion. The first one to do so is shown by the shaded red dot adjacent to the initial red dot. That is all there is to it. You can see the final form, so you know what will result but if you had not seen this result, then many would guess that the result would not be a tree-like structure but a compact growing mass.

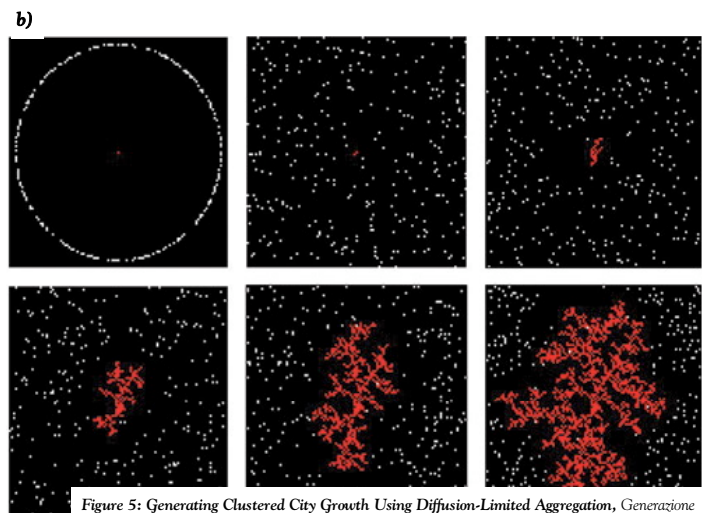


Figure 5: Generating Clustered City Growth Using Diffusion-Limited Aggregation, Generazione di Crescita Agglomerata di una Città tramite Aggregazione a Diffusione Limitata

sempre più impossibile penetrare nelle fessure della massa in crescita. Gli operatori si ritrovano, così, ai bordi della massa e, in questo modo, tale massa inizia ad espandersi nello spazio. Se ciò dovesse produrre una massa crescente compatta, dovrebbe avere dimensioni prossime a 2, ma in realtà ha dimensioni frattali di circa 1,7, come stabilito da studi empirici. Anche questa, proprio come qualunque struttura dendritica, è un frattale ed è facile vedere l'autosomiglianza che è insita nella sua forma. Distaccatene una diramazione e potrete vedere, all'interno del segmento staccato, l'intera struttura come. Mentre aumentiamo la risoluzione della griglia o del reticolo su cui avviene tale cammino, otteniamo strutture ad albero sempre più fini, in cui la struttura a frattali è assolutamente evidente -Figura 5c.

Questa forma è generata da un processo denominato "aggregazione a diffusione limitata (DLA)" che è stato riscontrato ed ampiamente utilizzato in diversi ambiti della fisica.

⊞ CITTÀ del MONDO REALE e SCHEMI di COMPLESSITÀ

Esistono molti esempi, a diverse scale, del modo in cui le città sono strutturate intorno a linee dendritiche che rispecchiano le linee di energia, funzionali alle loro parti più distanti. Ma le città non sono dendriti puri: ci sono reti diverse, sovrapposte l'una sull'altra, espressione di modi con cui le persone operano e comunicano. Nella Figura 7 si vede una mappa del centro di Londra, in cui le strade sono colorate in funzione dell'energia che trasportano, utilizzando con approssimazione i volumi di traffico stradale.

We show the progression of this in Figure 5b and to talk this through, what happens is that as soon as a trader settles next door to the existing red dot, the chances of another trader finding that new trader settlement as opposed to any other one increase just a fraction. As time goes by, the linear edge pattern that is characteristic of the growing tip of the cluster begins to emphasise itself and increasingly a trader finds it impossible to penetrate into the fissures in the growing cluster. Traders then are more likely to find the growing cluster at its edge and in this way, the cluster begins to span the space. If this were to produce a growing compact mass then it would have a dimension nearer to 2 - the Euclidean dimension, but in fact it has a fractal dimension between 1 and 2, about 1.7 as empirical work in many fields has determined. This like any dendritic structure, is a fractal, and it is easy to see the self-similarity that is contained in its form. Break off any branch and you can see the entire structure in the branch just as you can usually see the entire structure of a tree or a plant in its leaf. As we increase the resolution of the grid or lattice on which this walk takes place, then we get finer and finer tree-like structures

Le reti stradali sono esempi eccellenti di come le città crescono dal basso in alto, poiché rappresentano lo scheletro su cui si agganciano tutte le altre strutture. Come possiamo osservare, i trasporti ed il territorio sono strettamente correlati.

4_ GENERAZIONE di CITTÀ IDEALIZZATE

Abbiamo bisogno di un maggior grado di controllo sul nostro processo di simulazione rispetto a quello fornito dal modello d'aggregazione a diffusione limitata o dalle sue varianti. In effetti, il modo in cui abbiamo generato le masse precedenti fa uso di un elemento algebrico, denominato "automa", che sta alla base di molte procedure di definizione di schemi. Un automa, di solito, viene definito in modo abbastanza generico come una macchina a controllo limitato attivata da immissioni che commutano gli stati della macchina - le emissioni - su valori diversi. Le emissioni provenienti dalla macchina possono poi essere utilizzate come immissioni per attivare il processo di transizione fra i vari stati nel corso del tempo e questo processo generativo può essere messo a punto in modo da replicare i tipi di schemi su cui abbiamo discusso nel presente saggio. Ad esempio, l'immissio-

Plans for ideal cities are not grown by a generative logic, because plans are conceived of all-in-one-piece. The notion of an uncertain future is never in the frame *I progetti per le città ideali non nascono con una logica generativa, in quanto concepiti in blocco unico. La nozione di futuro incerto non viene mai presa in considerazione*

where the fractal structure is readily apparent as we show in Figure 5c.

This form is generated by a process which is called diffusion-limited aggregation (DLA) which has been found and used extensively in physics to grow crystal-like structures and to examine ways in which one media penetrates another.

3_ REAL WORLD CITIES and PATTERNS of COMPLEXITY

There are many examples at different scales of the way cities are structured along dendritic lines mirroring the lines of energy that serve their distant parts. We glimpsed an idea of this in Figure 4c where we abstracted the street network of Wolverhampton but cities are not pure dendrites. Different networks are superimposed on one another for different kinds of transport ranging from different modes requiring different networks through to social and electronic networks which underpin the way people trade and communicate. In Figure 7, we show a map of inner London where the streets are coloured according to the energy they trans-

ne nel modello DLA consiste in un individuo che si muove in uno spazio fatto di cellule e, qualora si verificano determinate condizioni nello spazio, l'individuo cambia lo stato della cellula da non sviluppata a sviluppata.

Ovviamente, ciò viene fatto in parallelo da molti individui. L'idea che lo spazio possa essere rappresentato come un gruppo di cellule, conferisce semplicemente una determinata struttura geometrica al problema e, malgrado abbiamo dato per scontato il fatto che le città siano rappresentate in questo modo, per quanto riguarda gli automi in generale, e gli automi spaziali in particolare, essi possono assumere qualunque forma ed essere di qualsiasi dimensione.

Gli automi utilizzati in questo caso per generare lo sviluppo fisico sono denominati "automi cellulari (CA)" e presuppongono la presenza di un reticolo regolare di cellule (quadrate) in cui lo sviluppo avviene, nel momento in cui risultano applicabili determinate regole, proprio cambiando lo stato di ogni singola cellula da non sviluppata a sviluppata. Gli elementi dei CA sono quindi: un gruppo di cellule in grado di assumere uno stato fra vari

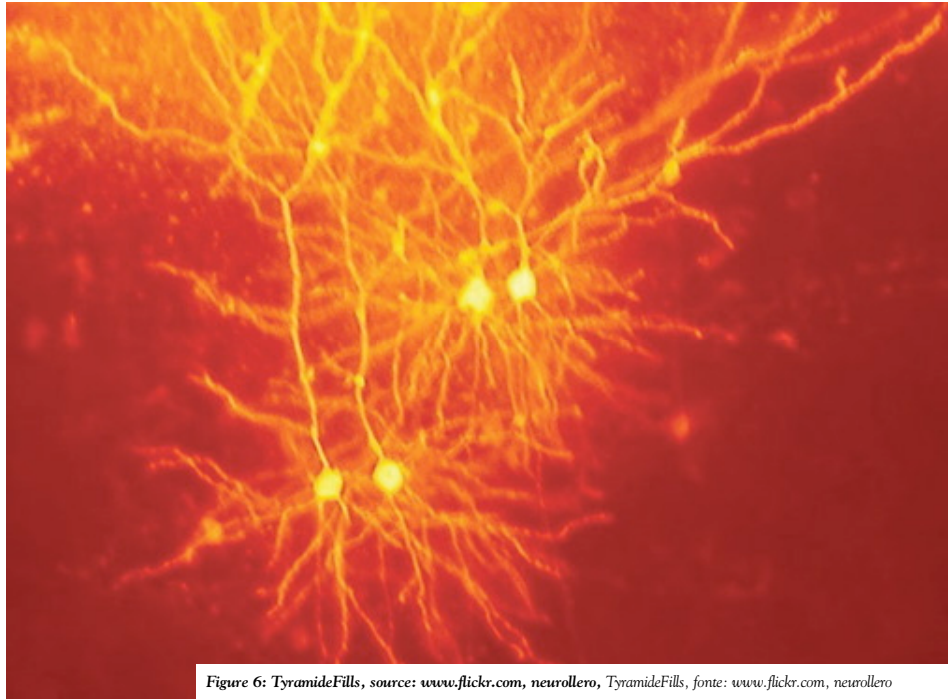


Figure 6: TyramideFills, source: www.flickr.com, neurollero, TyramideFills, fonte: www.flickr.com, neurollero

port, in fact using the proxy of road traffic volumes which give some index of both capacity and congestion or saturation. This is also highly correlated with patterns of accessibility which mirror the proximity of places to each other.

Street networks are excellent examples of how cities grow from the bottom up for they represent the skeletal structure on which all else in the city hangs. As we can see from the way cities grow, transport and land use are intimately related. Indeed, in the 1930s as urban sprawl first became significant in Britain, “ribbon” development became the pattern of transport linked to land use that was the subject of fierce control in the quest to contain urban growth.

4. GENERATING IDEALISED CITIES

We need a greater degree of control over our simulation process than that provided by the diffusion-limited aggregation model or its variants. In fact the way we generated the previous clusters is using a generative algebra that lies at the basis of many pattern-making procedures called automata. An automata is usually defined rather generally as a finite state machine driven by inputs which switch the states of the machine - the outputs - to different values. The outputs from the machine may then be used as inputs to drive the process of state transition through time and this generative process can be tuned to replicate the sorts of patterns that we have been discussing in this essay. For example, the input to the DLA model is an individual who moves in a cell space and if certain conditions in

stati diversi, in questo caso sviluppate o non sviluppate, estensibile a vari tipi di sviluppo; un contorno di 8 cellule che occupano le posizioni N-S-E-W-NE-SE-SW-NW intorno alla singola cellula in questione ed un gruppo di regole di transizione che definiscono come una qualsiasi cellula possa cambiare il proprio stato in funzione della configurazione, dello stato e degli eventuali attributi delle cellule esistenti nell’ambito del contorno della cellula in questione. Applichiamo ora questo modello partendo dalla condizione iniziale di una cellula accesa (sviluppata) al centro del reticolo. Applichiamo la regola che: se esistono una o più cellule intorno alla prima si genererà una diffusione intorno alla cellula iniziale dando vita al processo espansione del fenomeno, proprio come potrebbe diffondersi una sostanza fisica provvista di una qualche sorta di movimento.

La diffusione risultante sarà a quadrati, in quanto il reticolo a maglie quadrate, ma possiamo sviluppare facilmente versioni in cui la diffusione è circolare, semplicemente configurando in tal modo il reticolo.

Questa diffusione, e le sue regole basilari, sono illustrate nella Figura 8.

Se si modificano le regole di partenza dicendo, ad esempio, che, intorno ad una cellula non sviluppata, ce ne deve essere solo un'altra cellula, allora si ottiene il tipo di diffusione illustrata nella Figura 9a. Se, invece, il numero di cellule intorno sia pari ad una o due, allora la simulazione genera quanto illustrato nella Figura 9b. Esistono letteralmente milioni di possibilità ed il trucco sta, ovviamente, nel definire il corretto od opportuno gruppo di regole. Wolfram (2002), nel suo libro *Un Nuovo Tipo di*



the space occur, the individual changes the state of the cell from undeveloped to developed. This is of course done in parallel for many individuals. The idea that the space might be characterised as a set of cells simply gives some geometric structure to the problem and although we have taken for granted the fact that cities are represented in this way in these simulations, for automata in general, and spatial automata in particular, they can be any shape and in any dimension. The automata we use here to generate physical development are called cellular automata (CA) where we assume a regular lattice of (square) cells in which development takes place by changing the state of each cell from undeveloped to developed as long as certain rules apply. The elements of CA are thus: a set of cells which can take on one of several states, in this case developed or undeveloped, extendable to different kinds of development; a neighbourhood of 8 cells in the N-S-E-W-NE-SE-SW-NW positions around each cell in question; and a set of transition rules that define how any cell should change its state dependent upon the configuration and state and possible attributes of cells that exist within the neighbourhood of the cell in question. Now if we apply this model starting with the initial condition of one cell in the centre of the lattice being switched on - developed - and apply the rule that if there exists one or more cells in the neighbourhood of any cell, this will generate a diffusion around the initial cell which mirrors the process of successive spreading of the phenomena, just as a physical substance with some motion might diffuse. The diffusion is square

Scienza, afferma che tali automi rappresentano le unità fondamentali su cui è costruito il nostro universo. Malgrado le nostre ambizioni in questo caso siano ben più modeste, questo genere di automi possono essere adattati per replicare molti fenomeni generativi diversi che caratterizzano svariate forme diverse di città. Per generare città ideali utilizzando i suddetti automi, è necessario iniziare con un gruppo di regole realistiche. Le città ideali vengono spesso progettate per soddisfare alcune funzioni oggettive prevalenti: per ridurre al minimo la densità, come nella *BroadAcre City* di Frank Lloyd Wright, per aumentare al massimo la densità come nella *Ville Radieuse* di Le Corbusier, per generare prospettive formali e piazze-giardino, come a Regency a Londra, per generare nuove città a media densità con un uso segregato del territorio, come nella prima generazione delle Nuove Città Britanniche, e così via. Un esempio piuttosto valido che può essere generato utilizzando i principi degli automi cellulari è il progetto per la colonia Georgiana di Savannah nel Nuovo Mondo, sviluppato nel 1733 dal Generale James Oglethorpe e illustrato nella Figura 10; le regole dei CA potrebbero essere immaginate analogamente al modo in cui abbiamo generato lo sviluppo nelle Figure 8 e 9. Di norma, i progetti per le città ideali non nascono utilizzando una logica generativa, in quanto concepiti, per modo di dire, in blocco unico e la nozione di futuro incerto non viene mai presa in considerazione. Tuttavia, i CA ci consentono di generare progetti che si evolvono nel tempo e possiamo cambiare costantemente le regole, al punto che l'idealizzazione diventa una visione mute-

because the underlying lattice is square but we can easily develop versions where the diffusion is circular if we so configure the lattice. We show this diffusion and the rules of engagement in Figure 8. If we then modify the rules by noting that the number of cells in the neighbourhood of an undeveloped cell must be only one, then we generate the diffusion in Figure 9a and if there are one or two, then the simulation generates Figure 9b. There are literally millions of possibilities and the trick is of course to define the correct or appropriate set of rules. Wolfram (2002), in his book *A New Kind of Science*, argues that such automata represent the fundamental units on which our universe is constructed. Although we have more modest ambitions here, this kind of automata can be tuned to replicate many different generative phenomena which characterise many different forms of city.

To generate ideal cities using such automata, it is necessary to begin with a set of realistic rules for transition. Ideal cities are often designed to meet some overriding

vole. In un certo senso, i progetti che vengono creati nelle Figure 8 e 9 presentano regole stabili che possono essere ritenute, o meno, degli obiettivi ideali da raggiungere. Per concludere la nostra dimostrazione a supporto di questo tipo di logica e della complessità intrinseca delle città, al punto che la loro forma ideale non è mai certa, andremo a riprendere il modello DLA, apportando lievi modifiche alle regole, affinché possa essere ottenuto un risultato vasto quanto un sistema.

Immaginiamo che gli agenti del nostro modello si muovano in modo casuale, proprio come avevamo indicato in precedenza, ossia verso tutti i punti alla loro portata; ciò può essere simulato utilizzando i CA, presupponendo che, nel caso in cui lo stato della cellula sia un agente, allora la cellula cambia di stato in conformità con il movimento. Se un agente si trova nella cellula i, j e si sposta nella cellula $i+1, j$ in un lasso di tempo successivo, allora lo stato della cellula si commuta di conseguenza: dalla cellula in cui si trovava l'agente alla cellula in cui si è appena insediato. La nostra prima regola,

Such planning through incremental evolution has not been the history of most city plans hitherto but our science is evolving to meet this challenge

La pianificazione che avviene tramite l'evoluzione incrementale, sinora, non ha certamente delineato la storia dei progetti di città, ma la scienza si sta evolvendo proprio ai fini di superare questa sfida

objective function, to minimise density as in Frank Lloyd Wright's *BroadAcre City*, to maximise density as in Le Corbusier's *City Radieuse*, to generate formal vistas and garden squares as in Regency London, to generate medium density new towns with segregated land uses as in the first generation of British New Towns, and so on. A rather good example which can be generated using cellular automata principles is the plan for Georgian colony of Savannah in the New World. Developed in 1733 by General James Oglethorpe, we show the plan in Figure 10; the CA rules might be imagined in analogy to the way we generate development in Figures 8 and 9.

Usually plans for ideal cities are not grown using a generative logic because plans are conceived of all-in-one-piece so to speak, and the notion of an uncertain future is never in the frame. However CA allows us to generate plans that evolve through time and we can continually change the rules so that the idealisation is a shifting vision. In a sense, the plans which are grown in Figures 8 and 9 have stable rules which may or may not be considered as ideal objectives to be attained. To conclude our demonstration of this kind of logic and the intrinsic complexity of cities, in that their ideal form is

quindi, è semplicemente che lo stato della cellula passa dal luogo in cui l'agente si trovava, alla sua nuova posizione. Ma abbiamo anche una regola che dice che, se l'agente si trova nella cellula i, j e c'è un altro agente insediato in modo fisso in una cellula nei dintorni di i, j , allora l'agente rimane insediato in modo fisso e la cellula su cui si è insediato cambia il proprio stato diventando stabile. Va sottolineato che, in questa versione di CA, le cellule possono presentarsi unicamente in tre situazioni: o contengono agenti mobili, o contengono agenti fissi (stabili) oppure non contengono affatto agenti. Le cellule, quindi, presentano tre stati possibili opportunamente codificati, ma si tratta ancora di un CA con due gruppi di regole.

Immaginiamo ora che esista un forte vento che soffia da nord-ovest a sud-est: di conseguenza, ogni agente che si trova nella parte sopravvento di una cellula occupata non si insedierà in quel luogo. Pertanto, ogni volta che un agente entra in contatto con un agente già insediato in modo fisso nel proprio lato sottovento, il suddetto continua ad essere mobile. Lo sviluppo, quindi, si sposta continuamente, allontanandosi sempre di più dal punto in cui si è insediato il primo agente. Ciò che avviene è che si crea una linea di cellule nello spazio. Nonostante

a) left: an 8 cell neighbourhood around a central cell in question is applied to b) middle: each cell in a lattice. If one or more cells in the lattice is of a particular state, in this case developed (black), the state cell in question in the neighbourhood (black hatch) changes to developed. If this rule based on one or more cells in the neighbourhood is applied to every cell in the lattice, the result is c) right: the set of cells around the central cell (black) become developed (black hatch). a) a sinistra: un contorno di 8 cellule disposte intorno alla cellula centrale in questione viene applicato a b) al centro: ogni cellula in un reticolo. Se una o più cellule nel reticolo si trova in uno stato particolare, in questo caso sviluppata (nero), lo stato della cellula in questione nel contorno (ombreggiata) cambia in sviluppata. Se questa regola, basata su una o più cellule nel contorno, viene applicata ad ogni cellula nel reticolo, il risultato è c) a destra: il gruppo di cellule intorno alla cellula centrale (nera) diventano sviluppate (ombreggiate).

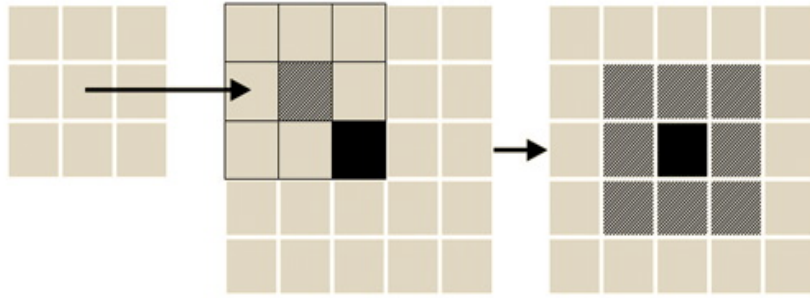


Figure 8: How cells are developed, Modalità di sviluppo delle cellule

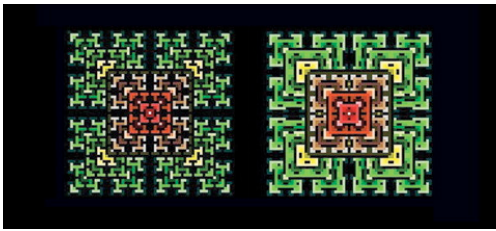


Figure 9: Regular diffusion using CA: patterns reminiscent of idealised renaissance city plans, Diffusione regolare tramite i CA: schemi che richiamano i progetti idealizzati di città del rinascimento



Figure 10: The Colonial plan for Savannah Georgia, Il Progetto coloniale per Savannah, in Georgia

FIGURE 9: a) left: with only one cell in the neighbourhood b) right: with one or two cells developed a) a sinistra: con una sola cellula nel contorno b) a destra: con una o due cellule sviluppate FIGURE 10: a) left: the original neighbourhood plan b) right: the plan in 1770. From http://en.wikipedia.org/wiki/Squares_of_Savannah,-Georgia a) a sinistra: il progetto originario dei dintorni b) a destra: il progetto nel 1770 Da http://en.wikipedia.org/wiki/Squares_of_Savannah,-Georgia

never certain, we will return to the DLA model and tweak the rules a little so that a system-wide objective might be met. Imagine that the agents in our model move randomly in the manner we described earlier, that is to all points of the compass; this can be simulated using CA by assuming that where the state of the cell is an agent, then the cell changes state according to the movement. If an agent is at cell i, j , and it moves to cell $i+1, j$ in the next time period, then the cell state switches accordingly, from the cell where the agent is located to the cell where it is newly located. Our first rule then is simply cell state switching from the place where the agent was located to its new location. But we also have a rule that says that if the agent is located at cell i, j and there is another agent fixed at a cell in the neighbourhood of i, j , then the agent remains fixed and the cell on which it sites changes to the stable state. Note in this version of the CA, the cells contain mobile or fixed (stable) agents or have no agents within them at all. The cells have three possible states which are appropriately coded but this is still a CA with two sets of rules. Now imagine that there is a strong wind blowing from south west to north east and therefore any agent which is on the windward side of an occupied cell will not fix themselves there. So whenever an agent comes within contact of an agent already fixed on its leeward side, it continues to be mobile. Thus the development moves continually away from the point where the first agent

tutto, però, è abbastanza difficile indovinare che cosa potrà accadere alla fine e risulta, pertanto, necessario portare avanti la simulazione fino alla ipotetica forma definitiva del modello. Ecco cosa accade nella Figura 11: la raffigurazione della città che viene a formarsi quando i due principi, di contatto con l'agglomerato esistente e la necessità di avere più spazio possibile, sono orientati verso l'obiettivo generale di insediarsi sul lato sottovento dello sviluppo già esistente. Il CA dimostra come tale obiettivo possa essere raggiunto.

5_ PASSAGGI SUCCESSIVI

Rimane ancora molto da dire in merito a come le città si formano e si evolvono, a come potremmo capirle meglio e farne una simulazione ed, ancora più importante, a come andrebbero concepiti i progetti per consentire loro di funzionare in modo più efficiente ed equo. Con questo saggio, si accenna all'idea che le città si evolvono verso un futuro ignoto e sempre incerto. Pertanto, qualunque obiettivo si possa avere per le città future dipende dal presente che è, quindi, costantemente soggetto a revisioni e compromessi. In passato, le città sono state progettate per un futuro senza tempo, in cui gruppi di obiettivi erano stati definiti raggiungibili, come se le città fossero sparse su una rete senza tempo. Per questo non sorprende il fatto che siano state ben poche le città in grado di raggiungere effettivamente le aspirazioni prestabilite dai loro progetti. La teoria della complessità intavola il problema del futuro

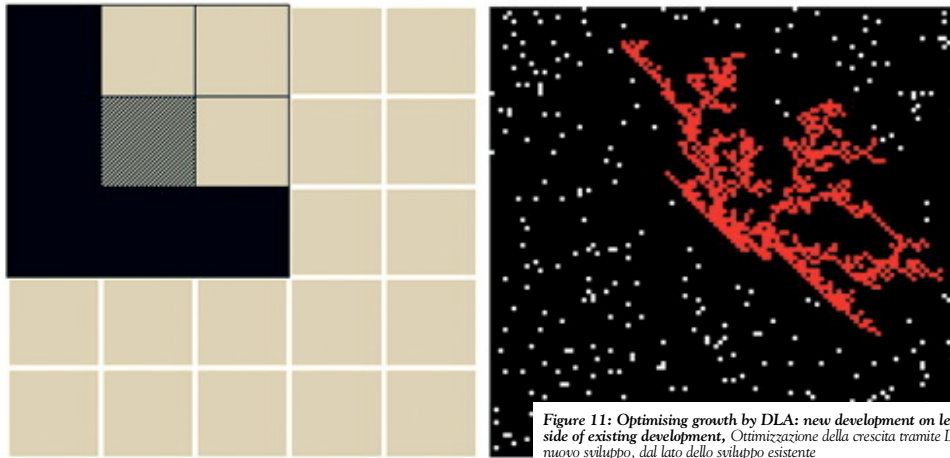


Figure 11: Optimising growth by DLA: new development on leeward side of existing development, Ottimizzazione della crescita tramite DLA: nuovo sviluppo, dal lato dello sviluppo esistente

11 a) if cells in black on the windward side are developed, the central neighbourhood cell is developed - b) a typical outcome of the generative process 11 a) se le cellule in nero, situate sopravvento, sono sviluppate, la cellula centrale del contorno risulta sviluppata - b) risultato tipico del processo generativo

locates and what happens is that a line of cells is established across the space. In fact it is quite hard to guess what happens and it is necessary to run the simulation to see what the ultimate form of the model might be. We show this in Figure 11 which is the picture of the city formed when the two principles of contact to the existing agglomeration and the need for as much space as possible are linked to the general objective of locating on the leeward side of the existing development. CA shows how this objective might be met.

5_ NEXT STEPS

There is much still to say about how cities are formed and evolve, how we might best understand and then simulate them, and most importantly, how we should design plans which enable them to function in more efficient and equitable ways. This essay has broached the idea that cities evolve into an unknowable future that is always uncertain. Therefore any goals that we might have for the future city are contingent on the present, hence continually subject to revision and compromise. In the past, cities have been designed in a timeless future where sets of objectives have been defined to be achievable as if the city were cast in a timeless web, and it is of little surprise that few cities have ever achieved the aspirations set out in their plans. Complexity theory broaches the problem of the unknowable future and the way cities evolve from the bottom up, incrementally as the products of decisions that might be optimal at any one time but always subject to changing circumstances. This would appear to be a far more fruitful and realistic way of generating cities that meet certain goals with the goals continually under review as the city emerges from the product of decisions which might be optimal in the

ignoto e del modo in cui le città si evolvono dal basso, in modo incrementale, come frutto di decisioni che potrebbero essere ottimali in un determinato momento ma sempre soggette a circostanze mutevoli. Questo potrebbe sembrare un modo assai più vantaggioso e realistico per generare città che possano raggiungere determinati obiettivi, sottoponendo costantemente a revisione tali obiettivi a mano a mano che la città emerge, come frutto di decisioni che potrebbero essere ottimali nel loro piccolo, ma i cui effetti globali sono ignoti su vasta scala, finché non emergono.

Esistono modalità attraverso cui i processi che abbiamo presentato potrebbero essere più focalizzati e la scienza della complessità sta cercando di cogliere la sfida data proprio dal pensare in questi termini: come possono controllo e gestione, pianificazione e design, che tradizionalmente sono stati configurati e trattati dall'alto verso il basso, essere intersecati, in modo ottimale, con sistemi che crescono e che si evolvono dal basso verso alto. Le risposte, probabilmente, sono insite nelle nozioni di gerarchia e nella misura in cui dovremmo intervenire e gestire i processi che generano le gerarchie, organicamente, dal basso verso alto (Batty, 2006). A mano a mano che apprendiamo di più su come le città si evolvono secondo le suddette modalità, è mia opinione che impareremo anche a pianificare meno, identificando i punti di pressione e di influenza. In questo caso, interventi e progetti efficaci, realizzati a piccoli passi, in modo incrementale, potrebbero portare a vasti ed efficaci cambiamenti in grado di seguire il flusso senza andare a contrapporsi alle tendenze. La pianificazione che avviene tramite l'evoluzione incrementale, sinora, non ha certamente delineato la storia dei progetti di città, ma la scienza si sta evolvendo proprio ai fini di superare questa sfida.

small but whose global effects are unknowable in the large, until they emerge.

There are ways in which the processes that we have introduced here might be steered in more centralised ways and it is the challenge of thinking in these terms that the complexity sciences are attempting to grasp: how control and management, planning and design which traditionally have been configured and treated from the top down might best be meshed with systems that grow and evolve from the bottom up. The answers probably lie in notions about hierarchy and the extent to which we might intervene and manage processes that generate hierarchies organically from the bottom up (Batty, 2006). As we learn more about how cities evolve in these ways, it is my contention that we will learn to plan less as we identify points of pressure and leverage. There, effective intervention and design in small, incremental ways might lead to large and effective changes that go with the flow, and do not fight against the grain. Such planning through incremental evolution has not been the history of most city plans hitherto but our science is evolving to meet this challenge.

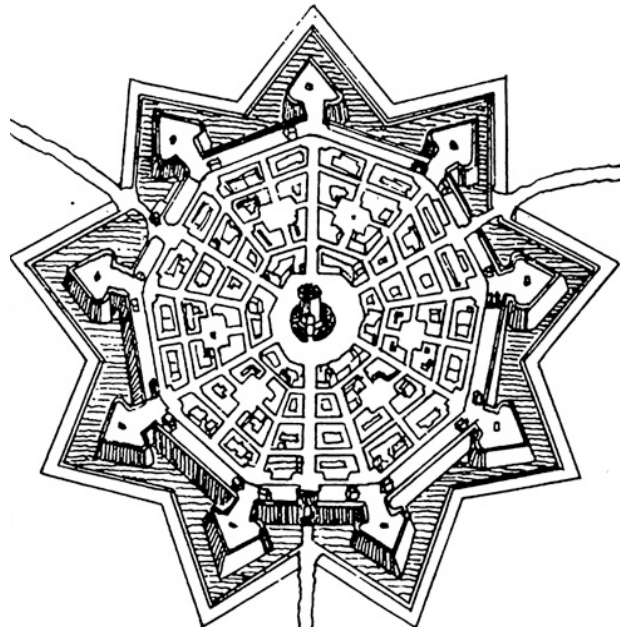


Figure 12: City Map of Palmanova, 1593, source meineadria.com, Planimetria della città di Palmanova, 1593, fonte: meineadria.com

BIBLIOGRAPHY: Alexander, C. (1964) *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, MA. Batty, M. (2005) *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*, MIT Press, Cambridge, MA. Batty, M. (2006) *Hierarchy in Cities and City Systems*, in D. Pumain (Editor) *Hierarchy in the Natural and Social Sciences*, Springer, Dordrecht, Netherlands, 143-168. Batty, M. and Longley, P. A. (1994) *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*, Academic Press, San Diego, CA. Geddes, P. (1915) *Cities in Evolution*, Williams and Norgate, London. Glaeser, E. L. (1996) *Why Economists Still Like Cities*, *City Journal*, 6 (2), online at <http://www.city-journal.org/>. Jacobs, J. (1962) *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, New York. Mandelbrot, B. B. (1967) *How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension*, *Science*, 156, No. 3775, 636-638. Simon, H. A. (1962) *The Architecture of Complexity*, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 467-482. Wolfram, S. (2002) *A New Kind of Science*, Wolfram Media, Champaign, Illinois. Alexander, C. (1964) *Note sulla Sintesi della Forma*, Harvard University Press, Cambridge, MA. Batty, M. (2005) *Città e Complessità: Capire le Città attraverso Automi Cellulari, Modelli Basati su Agenti, e Frattali*, MIT Press, Cambridge, MA. Batty, M. (2006) *Gerarchia nelle Città e nei Sistemi di Città*, in D. Pumain (Editore) *Gerarchia nelle Scienze Naturali e Sociali*, Springer, Dordrecht, Paesi Bassi, 143-168. Batty, M. e Longley, P. A. (1994) *Città Frattali: Geometria di Forme e Funzioni*, Stampa Accademica, San Diego, CA. Geddes, P. (1915) *Città in Evoluzione*, Williams and Norgate, Londra. Glaeser, E. L. (1996) *Perché agli Economisti Continuano a Piacere le Città*, *City Journal*, 6 (2), online at <http://www.city-journal.org/>. Jacobs, J. (1962) *Vita e Morte delle Grandi Città Americane*, Random House, New York. Mandelbrot, B. B. (1967) *Quanto è Lunga la Costa in Inghilterra? Autosomiglianza Statistica e Dimensione Frazionaria*, *Science*, 156, N° 3775, 636-638. Simon, H. A. (1962) *L'Architettura della Complessità*, *Dibattiti della Società Filosofica Americana*, 106, 467-482. Wolfram, S. (2002) *Un Nuovo Tipo di Scienza*, Wolfram Media, Champaign, Illinois.