

## XXV CONFERENZA ITALIANA DI SCIENZE REGIONALI

### DALLA SPACE SYNTAX ALLA MA.P.P.A.: UN CONTRIBUTO PER L'EVOLUZIONE DELL'ANALISI CONFIGURAZIONALE

Valerio CUTINI, Massimiliano PETRI, Alessandro SANTUCCI

Università di Pisa – Dipartimento di Ingegneria Civile - L.I.S.T.A. – Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi Territoriali e Ambientali; Via Diotisalvi, 2; 56126; Pisa

#### SOMMARIO

Negli ultimi 15 anni, l'analisi configurazionale si è conquistata un vasto interesse ed il diffuso riconoscimento per la sua affidabilità come tecnica di analisi dello spazio urbano.

I risultati di studi e ricerche hanno avvalorato l'utilità del metodo, tanto innovativo quanto affidabile, attestando la sua capacità nell'affiancare i più tradizionali e consolidati modelli di analisi e di interpretazione del territorio come strumento di lettura e interpretazione, ma ancor più come strumento di planning, finalizzato a supportare il processo decisionale in ordine alle trasformazioni territoriali in ambito urbano. A distanza di 20 anni dalla data in cui Bill Hillier avviò con i primi lavori la stagione della analisi configurazionale, pare opportuno tentare una, pur succinta, sistematizzazione della teoria e delle più significative tecniche operative che ad essa si richiamano. Al contempo, a fianco delle potenzialità e delle carenze che inevitabilmente caratterizzano ciascuna delle tecniche fin qui sperimentate, verrà presentato un nuovo metodo operativo, che dalla comune matrice configurazionale viene proposto a correzione e superamento di alcuni evidenti limiti delle tecniche attualmente in uso.

## 1. L'APPROCCIO CONFIGURAZIONALE: LE TECNICHE OPERATIVE

A distanza di 20 anni dalla data in cui Bill Hillier avviò con i primi lavori la stagione della analisi configurazionale, pare opportuno tentare una, pur succinta, sistematizzazione della teoria e delle più significative tecniche operative che ad essa si richiamano. A tale scopo, possiamo riconoscere gli elementi fondativi della teoria configurazionale in quattro punti:

- l'interesse prevalentemente (se non esclusivamente) orientato sulle relazioni spaziali esistenti fra gli elementi che compongono la griglia, ovvero gli spazi urbani non edificati, piuttosto che sul loro assetto strutturale o morfologico;
- l'assunzione della griglia urbana, nel modo in cui essa è definita, nella veste di matrice primaria dei processi insediativi;
- l'ipotesi dell'esistenza del movimento naturale, definito come funzione della sola configurazione della griglia urbana, con il ruolo di raccordo fra la stessa griglia e la localizzazione delle attività;
- il ruolo essenziale che nelle relazioni fra gli elementi della griglia riveste la percezione visiva dello spazio urbano.

Due aspetti sono da chiarire e da specificare in dettaglio. Anzitutto, il modo in cui sia possibile discretizzare la griglia urbana, ovvero trasformarla, da flusso continuo e indifferenziato di spazi, in un insieme di elementi discreti, fra loro interconnessi a mezzo di una relazione di reciproca interazione. Solo in tale modo sarà possibile analizzare lo spazio della città secondo un approccio sistemico, ed assegnare a ciascun elemento specifici valori corrispondenti alle variabili di stato.

Inoltre, va chiarito quali siano queste variabili, i cosiddetti indici configurazionali, ovvero i parametri quantitativi più idonei a descrivere le caratteristiche configurazionali di tali elementi. Sarà tramite questi indici che si renderà possibile costruire una articolata gerarchia degli elementi della griglia urbana, in relazione alla capacità di attrarre traffico (e quindi attività) in forza della propria configurazione spaziale.

Su questi due aspetti, peraltro estesi e determinanti per la costruzione dei modelli operativi, la teoria configurazionale non si presenta come una visione unitaria e monolitica. Si sono infatti fin qui manifestati diversi approcci, che in linea di massima possono essere ricondotti a due diverse modalità di analisi dello spazio urbano, la cosiddetta *Linear Analysis* e la *Visibility Graph Analysis*. Se tali metodi condividono le basi poste a fondamento della teoria configurazionale (sommariamente illustrate ed enumerate in precedenza), la specifica modalità di scomposizione dello spazio urbano costituisce per gli stessi un elemento essenziale di discriminazione. Prima di addentrarci nella specifica illustrazione delle due tecniche, è opportuno d'altra parte osservare che la diversa modalità di discretizzazione della

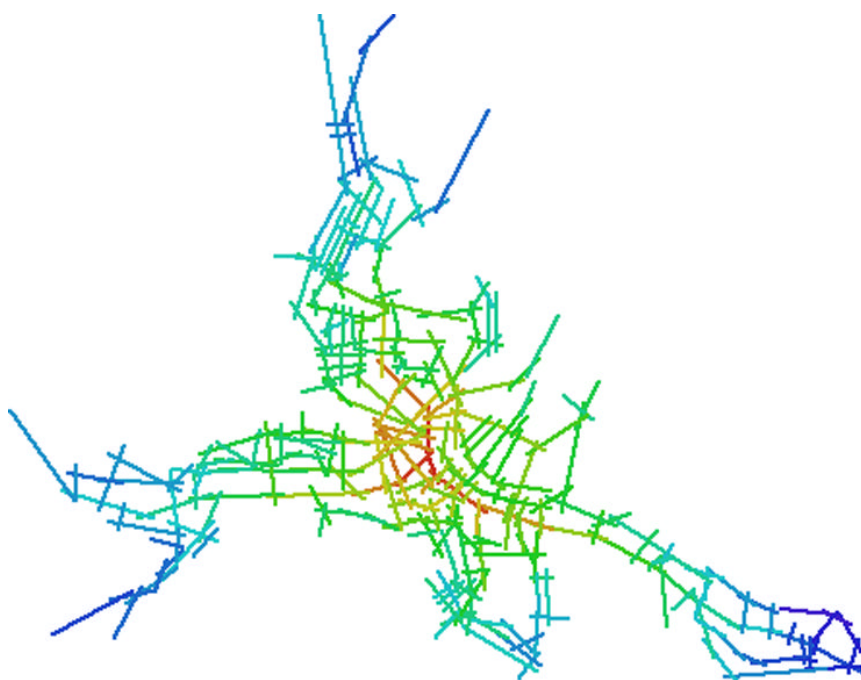
griglia, lungi dall'esaurirsi in una mera distinzione operativa, corrisponde in effetti ad una diversa visione dei fenomeni insediativi, ovvero ad una diversa declinazione della comune base configurazionale.

### *1.1. Le tecniche operative: la linear analysis*

Due tecniche operative afferiscono in concreto alla *linear analysis*: la *angular analysis* e soprattutto la *axial analysis*. La *axial analysis* è una tecnica configurazionale basata sull'assunzione del tracciato rettilineo come elemento fondamentale della configurazione dello spazio urbano: un utente percepisce lo spazio della città mediante linee corrispondenti alle proprie visuali prospettiche e, da esse guidato, si muove su linee corrispondenti ai segmenti intermedi che compongono il suo percorso. Su questa base, sarà pertanto proprio la linea la chiave di comprensione dei fenomeni che dipendono dalla distribuzione del movimento di attraversamento dello spazio urbano (Hillier, Hanson, 1984). Sul piano operativo, la *axial analysis* affronta in via preliminare il problema della riduzione dello spazio urbano, continuo e bidimensionale, in un sistema discreto e unidimensionale costituito da una trama di segmenti lineari. Il tramite per questa operazione è costituito dalla costruzione della *convex map*, una rappresentazione planimetrica della griglia urbana in cui viene evidenziata la scomposizione nell'insieme degli spazi convessi che la costituiscono (quelli più estesi, presi nel minor numero); tramite la *convex map* è possibile costruire la *axial map*, definita come l'insieme dei segmenti lineari (i più estesi, presi nel loro minor numero, detti *axial lines*) con i quali è possibile connettere tutti gli spazi convessi della griglia. Mediante la costruzione della *axial map*, la griglia urbana è quindi discretizzata in un complesso di elementi, le *lines*. Per completare la sua riduzione a sistema, è necessario definire le relazioni che intercorrono fra tali elementi. Preliminarmente, va definita la relazione di appartenenza al sistema, mediante la quale si rende possibile individuarne concretamente il limite, ovvero "chiudere" il sistema verso l'esterno: una tale funzione è rivestita dalla relazione di intersezione (fra *lines*, naturalmente): solo le *lines* direttamente connesse al complesso delle altre appartengono al sistema da sottoporre ad analisi. Riconducendo al suo significato intrinseco, impone una tale condizione equivale a stabilire che solamente gli spazi convessi che risultano visivamente percepibili da altre parti dello spazio urbano verranno apprezzati come elementi interni della griglia. Sulla base di una simile condizione, si identifica il perimetro effettivo della *axial map* che verrà analizzata, escludendo al contempo dallo studio tutte le enclaves interne (chiostri, corti, etc.) che non risultano di fatto liberamente fruibili, oppure che lo saranno solo dopo il superamento di un diaframma che di fatto ne occulta la percezione (ad esempio, gli spazi aperti delle stazioni ferroviarie).

A fianco della relazione di appartenenza al sistema, va poi definita la sua relazione di struttura, mediante la quale tutti i suoi elementi sono reciprocamente interrelati. Tale relazione

è identificata nella profondità (*depth*) fra *lines*, definita come la distanza che le separa, misurata topologicamente nel numero delle *lines* interposte lungo il percorso più breve. Non conta, cioè, nell'apprezzamento della distanza fra *lines*, la lunghezza geometrica del percorso frapposto, quanto piuttosto il numero dei cambi di prospettiva visuale che si susseguono lungo di esso. Sulla base della relazione di struttura, per ciascuno degli elementi del sistema (ovvero per ogni *line* della *axial map*) è possibile determinare il valore numerico da attribuire ad un insieme di parametri, o indici configurazionali. Questi indici, idonei a descrivere la consistenza configurazionale delle *lines*, costituiscono le variabili di stato del sistema (Hillier, Hanson, 1984).



*Figura 1* Rappresentazione dell'andamento dell'indice di integrazione sulle *lines* della *axial map* corrispondente al centro storico di Siena

### *1.2. Le tecniche operative: la visibility graph analysis*

Dopo avere sinteticamente illustrato gli elementi fondamentali della *Axial Analysis*, corrispondente alla originaria visione hilleriana della sintassi spaziale, appare interessante descrivere un altro approccio allo studio dei sistemi insediativi urbani, che dalla comune matrice configurazionale ha trovato una propria e diversa declinazione a partire dalla fine degli anni Novanta: la *Visibility Graph Analysis*.

Le basi teoriche, si è detto, sono identiche; ciò che invece distingue i due approcci è in effetti il modo in cui lo spazio urbano debba essere scomposto, ovvero quale sia il sistema cui va ricondotto e quali, al suo interno, gli elementi da assumere in concreto a oggetto della analisi.

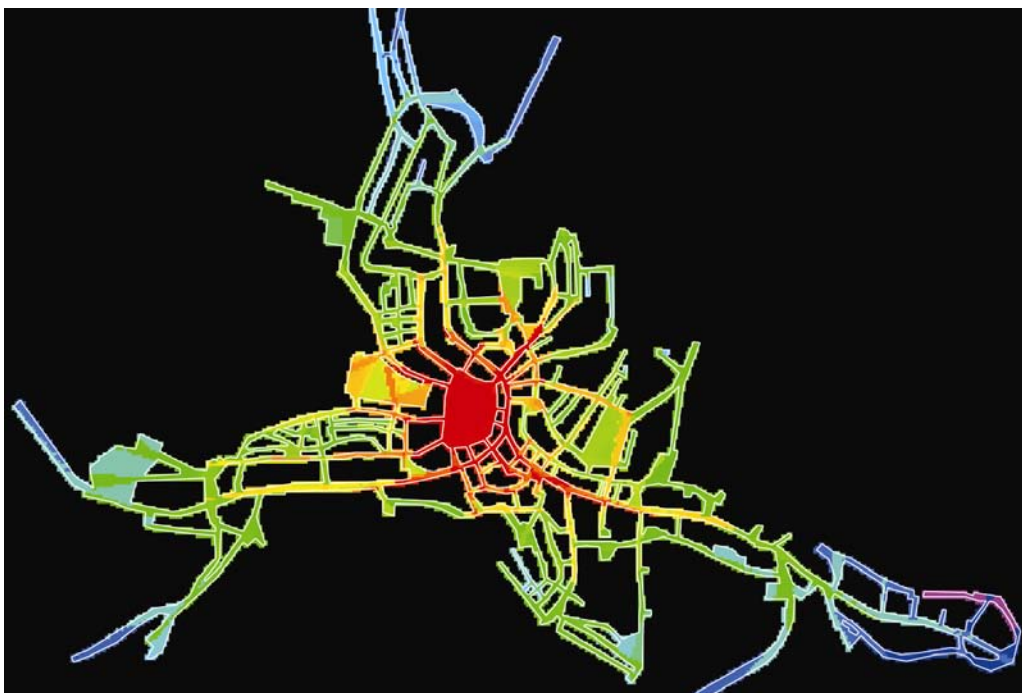


Figura 2 Rappresentazione dell'andamento dell'indice di integrazione sui *vertices* del *visibility graph* corrispondente al centro storico di Siena

Elemento fondamentale della VGA, punto centrale della sua costruzione concettuale e delle tecniche operative, è non già un elemento areale o lineare, bensì il singolo punto (Turner et al., 2001). Prendendo in considerazione lo spazio urbano (così come questo è stato definito in precedenza), ogni punto al suo interno viene identificato come la possibile localizzazione di un utente della griglia. Rispetto alla *Linear Analysis*, sposta pertanto il fuoco dell'attenzione al singolo punto all'interno del *convex space*. Su questa base, ad ogni singolo punto risulta associata una porzione dello spazio urbano, direttamente percepibile per via visiva, che prende il nome di isovista (Batty, 2001).

Sotto il profilo operativo, è evidente che una simile scelta elimina la necessità di individuare, preliminarmente all'analisi, i *convex spaces* che compongono la griglia e di costruire la trama delle loro possibili connessioni (le più lunghe, le meno numerose). Per individuare i punti (*vertices*) da sottoporre ad analisi è infatti sufficiente stabilire la densità della trama con la quale si intende coprire l'intera estensione dello spazio urbano. Naturalmente, una trama di *vertices* particolarmente fitta sarà idonea a garantire risultati di maggiore dettaglio, mentre una loro minore densità darà luogo ad una analisi meno dispendiosa ma più grossolana.

L'insieme dei *vertices* distribuiti con opportuna densità a copertura dello spazio urbano prende il nome di *Visibility Graph*, e costituisce l'oggetto dell'analisi configurazionale, ovvero il sistema cui lo spazio urbano viene ricondotto nella VGA.

Anche per i *vertices* del *visibility graph*, così come per le *lines* della *axial map*, è necessario definire un insieme di parametri, il cui valore viene attribuito a ciascuno di essi a seguito di

analisi configurazionale; saranno questi, ancora una volta, le variabili di stato del sistema (Turner, 2001b).

Al fine di rendere evidenti le diversità dei risultati della VGA rispetto alla *linear analysis*, nella figura 2 è riportato l'andamento dell'indice di integrazione sui *vertices* dei *visibility graphs* corrispondente al centro storico di Siena; si confronti tale rappresentazione cromatica, risultante dalla elaborazione mediante il software Depthmap con le analoghe riportate nella figura 1.

## 2. AXIAL ANALYSIS – NODI CRITICI

Da tempo i numerosi utilizzatori della “Space Syntax Analysis” hanno rilevato l'esigenza di un miglioramento della metodologia e del modello di analisi. Questo perché l'algoritmo basato sugli spazi convessi (“convex map”) e sui segmenti di linea (“axial line”) denota alcuni punti critici:

- a) non risulta molto robusto: infatti non è deterministico, ovvero non esiste una soluzione univoca al problema della ricerca, all'interno degli spazi convessi, del minor numero di segmenti aventi la maggior lunghezza e soprattutto la Axial Map non è computabile automaticamente. Tale mancanza risulta chiara dall'esempio esemplificativo mostrato in figura 3; infatti, mantenendo la medesima lunghezza, il segmento di linea numero 1 può essere disegnato nella posizione originaria (in nero) oppure come rappresentato in rosso. Con questo cambiamento (nella zona cerchiata in verde) si viene a perdere una preesistente intersezione fra linee assiali, variando così molti valori dell'indice di integrazione;

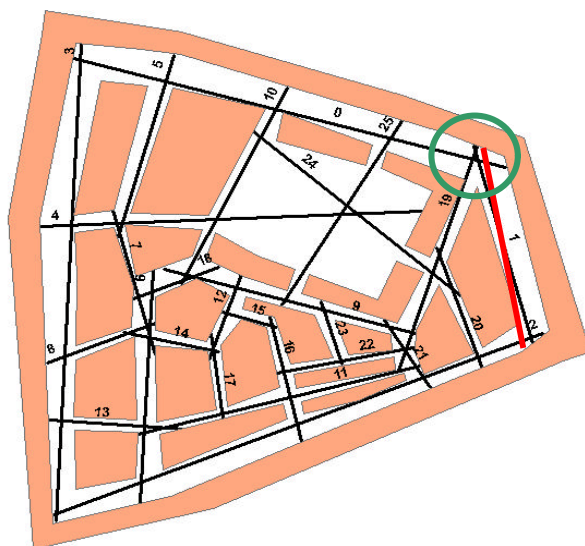


Figura 3 Un esempio di dato di input per la Axial Analysis classica

- b) oltre all'assenza di una computazione automatica delle linee assiali, in quanto la metodologia ricerca un particolare ottimo geometrico e non un ottimo algebrico, la Axial Analysis denota una scarsa precisione anche nei risultati. Questo è evidente dalla figura 4,

nella quale si può vedere chiaramente come, nel caso di linee di estrema lunghezza (come per esempio la linea assiale numero 2), la metodologia denoti una notevole approssimazione, fornendo un valore dell'indice di integrazione univoco per tutta la sua estensione. Non si riesce perciò ad apprezzare le variazioni di centralità interne a queste linee, rappresentative nella realtà di strade principali, quali Corsi pedonali (vedi le Ramblas spagnole) od altro, che spesso attraversano rettilineamente quasi l'intero centro urbano.

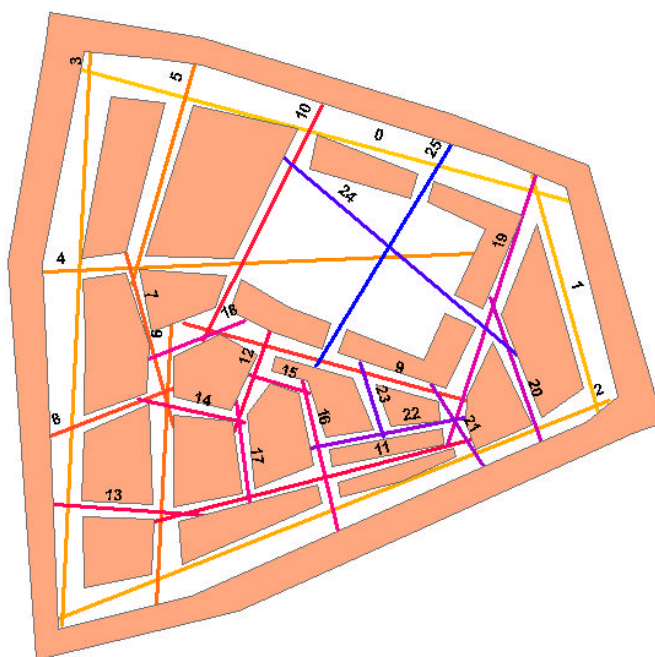
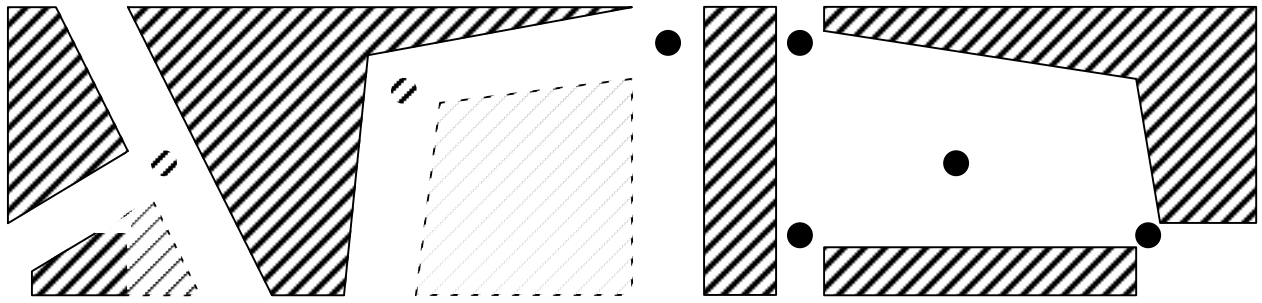


Figura 4 Un esempio dei risultati forniti dalla Axial Analysis

### 3. LA METODOLOGIA M.A.P.P.A. (MARK PPOINT PARAMETER ANALYSIS)

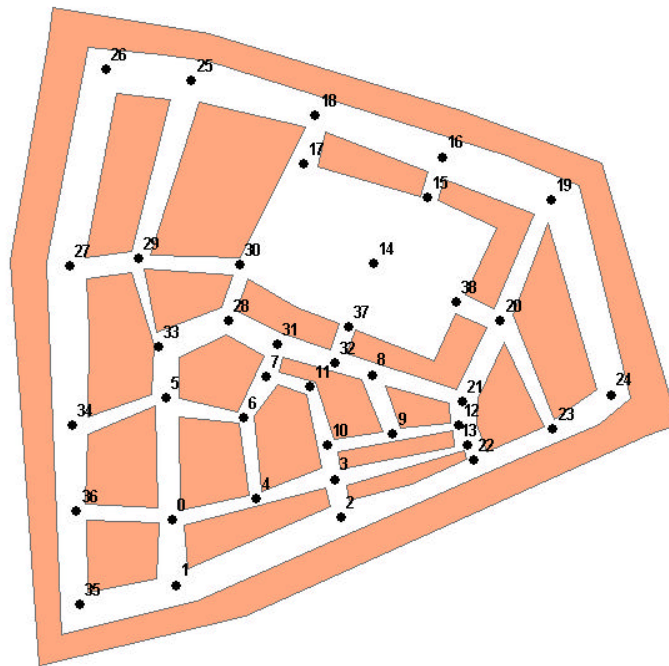
La metodologia messa a punto si basa sul principio fondamentale dell'analisi configurazionale, ovvero assume la griglia urbana come matrice primaria della generazione del "movimento naturale" e della localizzazione di attività. Quella che viene modificata, rispetto alla classica Axial Analysis, è la relazione che correla gli elementi della griglia urbana, fornendo una metodologia meno empirica, calcolabile in automatico e più precisa nei risultati, come sarà mostrato in seguito.

Operativamente dalle "Linee Assiali", rappresentanti delle direzioni di movimento e di visibilità ininterrotte, si passa ai "Punti Caratteristici" (Mark Points) che diventano i nuovi elementi di base per il calcolo dei vari indici. Concettualmente questi ultimi sono i punti nei quali cambia la percezione umana dello spazio urbano, nei quali una persona deve fare una "decisione di svolta", ovvero intersezioni di strade, deviazioni di percorsi, accessi a spazi aperti, punti centrali di piazze ed altro (vedi fig.5).



*Figura 5* Alcuni esempi di Punti Caratteristici

Come risulta evidente, tali punti sono spazialmente ben individuabili e permettono così una univoca rappresentazione della struttura urbana. A titolo di esempio in figura 6 si può vedere la Point Map relativa ad un sistema urbano fittizio.



*Figura 6* Punti Caratteristici in un sistema urbano fittizio

Nonostante le due diverse strutture dei dati di partenza, l'analisi successiva è identica per entrambi le metodologie, ovvero si ricavano, per ogni elemento, i valori della connettività, intesa come numero di punti direttamente visibili o come linee intersecanti, i valori di profondità media, intesa come percorso medio fra un punto/linea e tutti gli altri elementi ed infine si calcolano i valori dell'indice di integrazione globale e locale.

I risultati, come dimostrato da precedenti analisi statistiche su tali parametri, (Jiang, Claramunt, 2002) danno risultati praticamente equivalenti (indice di correlazione dei risultati variabile da 0.7 a 0.95), però nel caso dell'analisi per punti caratteristici si supera il chiaro



limite di attribuire ad una linea un valore univoco di centralità, raggiungendo perciò dei risultati maggiormente utili ai fini delle successive analisi.

### 3.1. Implementazione

Un ulteriore passo avanti deriva dall'integrazione dello Space Syntax con il GIS, attraverso il quale si ha la possibilità di effettuare molte analisi spaziali con notevole semplicità e, soprattutto, di integrare i dati provenienti dall'analisi configurazionale con altri DataBase territoriali relativi all'area di studio, fornendo perciò la premessa per ulteriori valutazioni di tipo urbanistico.

L'algoritmo è stato implementato all'interno di un software GIS (ArcView 8.3), utilizzando la programmazione in "Visual Basic for Application" supportata dalla libreria di oggetti ArcObjects, potendo così analizzare le correlazioni topologiche e geometriche esistenti fra le varie entità spaziali.

I dati di partenza consistono unicamente in due shapefile, uno polilineare relativo agli assi delle strade urbane, tracciati tenendo conto del significato del punto caratteristico e uno poligonale relativo agli edifici del centro urbano.

Durante l'elaborazione automatizzata dei punti viene adoperato un parametro che stabilisce se inserire un elemento  $n$  all'interno dell'insieme dei punti caratteristici; questo parametro è un valore di soglia ( $Th$ ) applicato al rapporto fra la distanza del punto  $n$  dalla retta congiungente i punti  $n-1$  e  $n+1$  e la lunghezza della retta stessa (vedi figura 7).

E' chiaro come sia semplice effettuare un'analisi di sensibilità, avendo un solo parametro, potendo stabilire così facilmente il valore di  $Th$  più idoneo al centro urbano in esame.

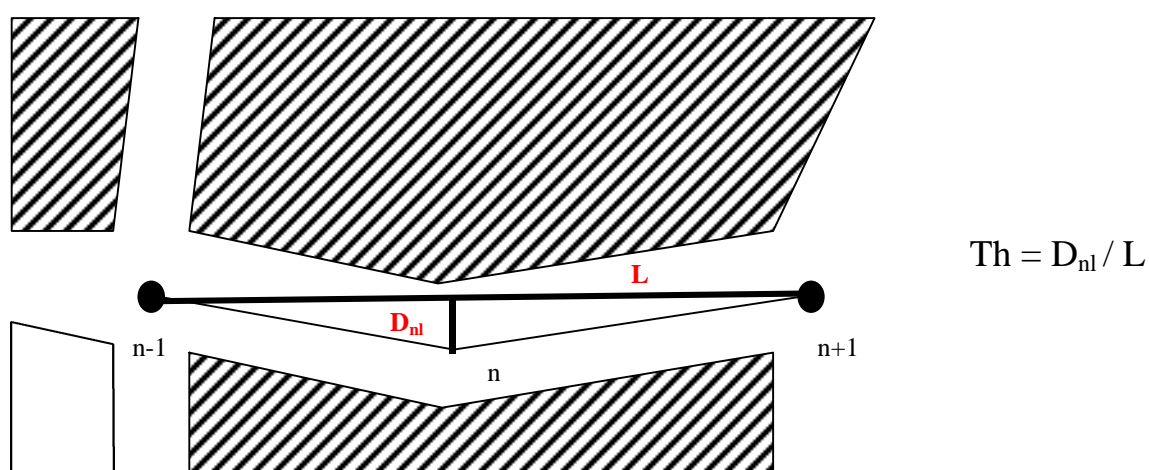


Figura 7 Esempificazione del valore di soglia  $Th$

Una volta costruiti i punti caratteristici, parte il calcolo della visibilità di ogni punto rispetto a tutti gli altri punti (creando una matrice di intervisibilità), il calcolo della connettività e della profondità globale.

La profondità globale viene calcolata applicando l'algoritmo di Floyd alla matrice di intervisibilità suddetta; si costruisce con questa operazione, per ciascun nodo, una struttura di interrelazione rappresentabile con un grafo ad albero che evidenzia chiaramente i vari strati di profondità e le relazioni di visibilità relative fra i nodi (vedi fig.8 e 9 relativamente al nodo 0 del sistema urbano di fig.6).

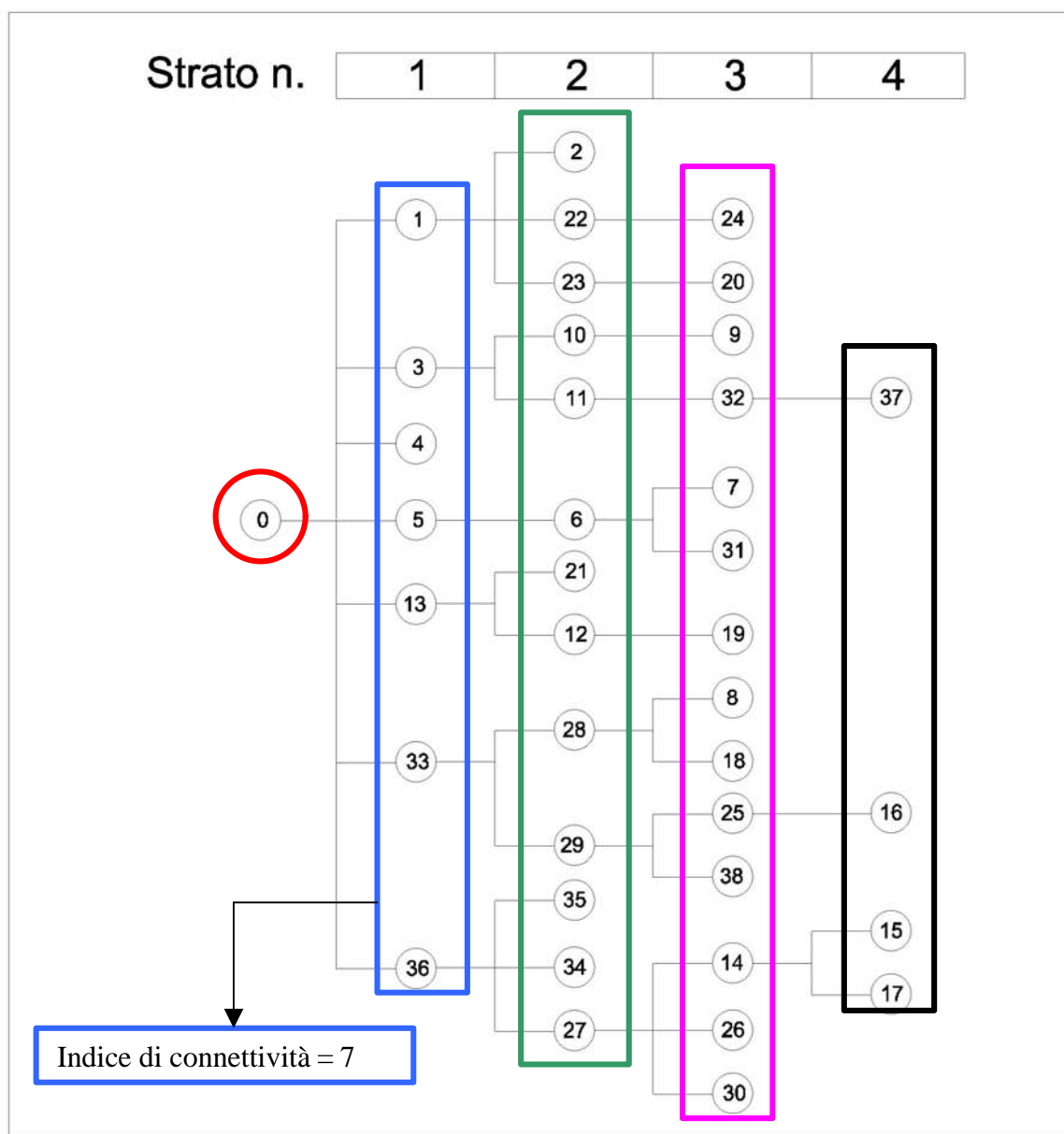


Figura 8 Grafo di connettività relativo al nodo 0 con i vari livelli di visibilità (strati)

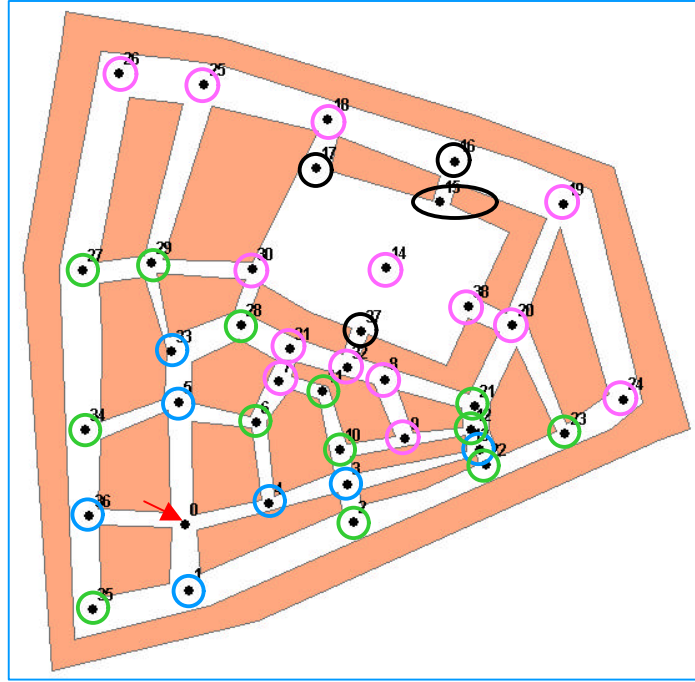


Figura 9 Rappresentazione su mappa dei vari strati di profondità relativamente al nodo 0

Il numero dei nodi del primo strato coincide con la connettività del nodo in esame, mentre se vogliamo calcolare la profondità globale, si utilizza la seguente espressione:

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

dove:

$P_i$  = Profondità globale del punto  $i$

$n_j$  = numero di punti caratteristici allo strato  $j$

$t$  = numero di strati

Per esempio, relativamente al nodo 0, avremo:

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

Se si vuol calcolare la profondità locale, per esempio relativa al livello 2, considereremo solo i nodi fino allo strato numero 2, sempre utilizzando la formula precedente.

Successivamente viene calcolata la profondità media globale:

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

dove:

$P_i$  = Profondità globale del punto  $i$

$n$  = numero totale di punti caratteristici

Dalla profondità media globale o locale, si ricavano rispettivamente l'indice di integrazione globale e locale, attraverso la seguente formula:

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

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

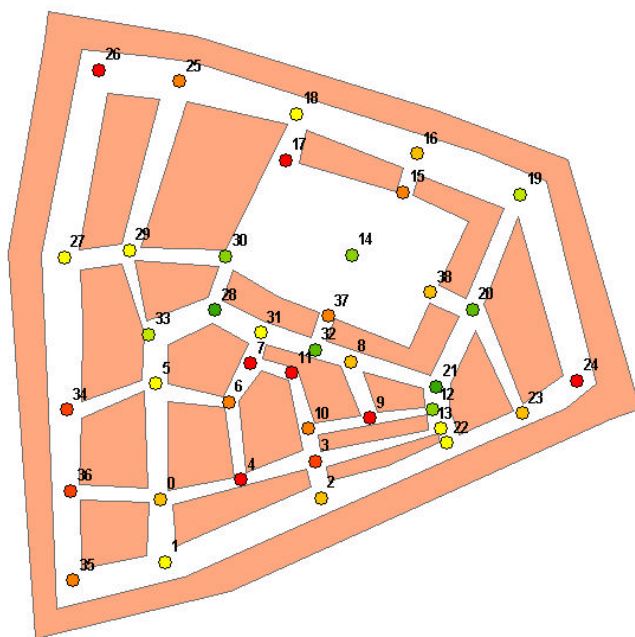
La precedente formula fornisce valori dell'indice di integrazione compresi fra 0 ed 1, con valori più alti di tale indice relativi a punti meno centrali; perciò, per rendere più intuitiva la lettura delle mappe, si è deciso di utilizzare l'inverso di tale indice  $I_k$ .

Prendendo in esame il centro urbano fittizio già presentato, abbiamo calcolato i risultati con i Punti Caratteristici (vedi figure 10 e 11).

| FID | Shape | Global_INT | Connect | Prof_Med | Prof_Glob | 1_div_G_I |
|-----|-------|------------|---------|----------|-----------|-----------|
| 0   | Point | 0.070175   | 7       | 2.333333 | 91        | 14        |
| 1   | Point | 0.067476   | 7       | 2.282051 | 89        | 15        |
| 2   | Point | 0.071525   | 7       | 2.358974 | 92        | 14        |
| 3   | Point | 0.083671   | 6       | 2.589744 | 101       | 12        |
| 4   | Point | 0.089069   | 4       | 2.692308 | 105       | 11        |
| 5   | Point | 0.064777   | 6       | 2.230769 | 87        | 15        |
| 6   | Point | 0.078273   | 4       | 2.487179 | 97        | 13        |
| 7   | Point | 0.090418   | 3       | 2.717949 | 106       | 11        |
| 8   | Point | 0.071525   | 5       | 2.358974 | 92        | 14        |
| 9   | Point | 0.087719   | 3       | 2.666667 | 104       | 11        |
| 10  | Point | 0.078273   | 5       | 2.487179 | 97        | 13        |
| 11  | Point | 0.091768   | 4       | 2.743590 | 107       | 11        |
| 12  | Point | 0.059379   | 7       | 2.128205 | 83        | 17        |

Figura 10 Estratto degli attributi dei punti caratteristici per il sistema urbano fittizio

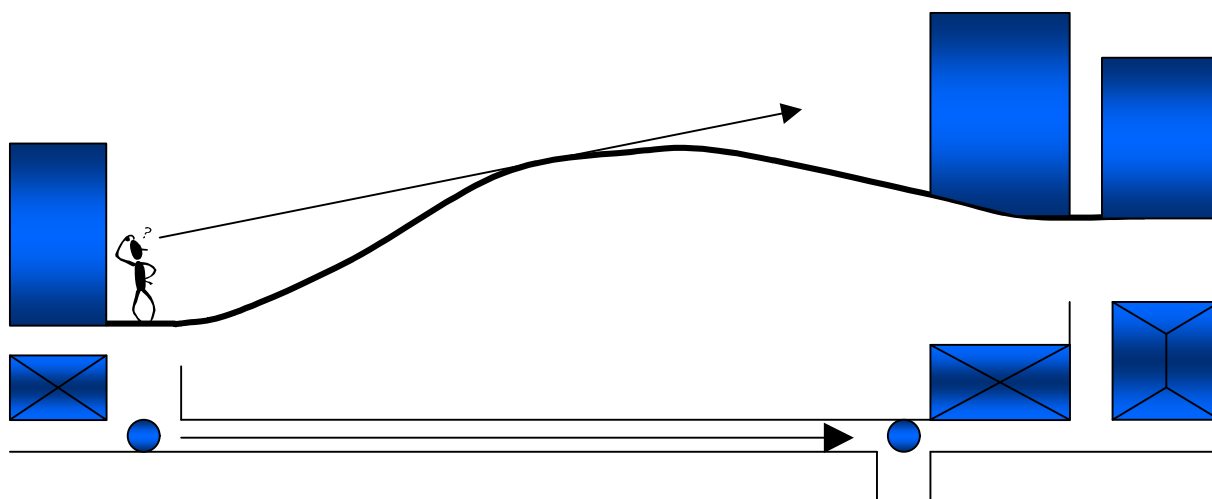
E' evidente la maggiore approssimazione presente nella analisi classica, nella quale, per esempio la linea n.25 (vedi fig.4) assume dei valori di integrazione globale massimi (corrispondenti alle tonalità di blu) dal centro della piazza fino all'estremità dell'area urbana, mentre, confrontando con i valori dei punti della prima mappa che ricadono sotto tale linea, si denota un andamento più logico e dettagliato.



*Figura 11* Risultati dell'analisi con i Punti Caratteristici  
(integraz. globale crescente dal rosso al verde scuro)

### 3.2. *L'analisi tridimensionale*

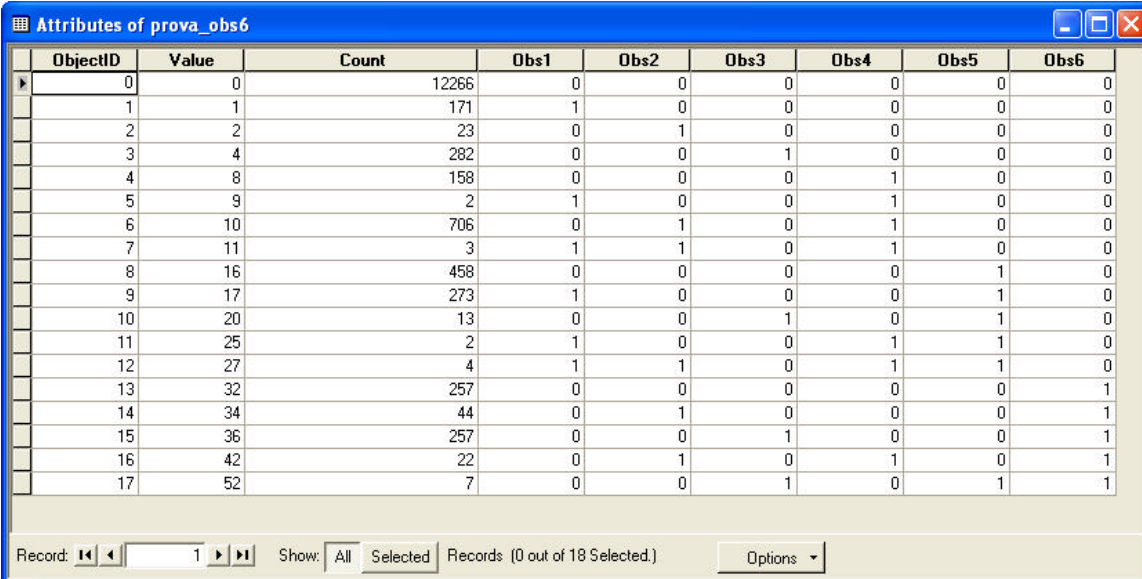
Uno dei problemi che abbiamo tentato di risolvere è l'introduzione della terza dimensione nell'analisi configurazionale, in quanto la metodologia Ma.P.P.A., come implementata inizialmente, consisteva in una analisi bidimensionale.



*Figura 12* Il problema della visibilità tridimensionale

Un primo tentativo è stato quello di trasferire l'analisi, fino ad ora vettoriale, in ambiente raster, potendo sfruttare le potenti funzionalità dell'analisi visuale degli strumenti GIS.

Per quanto riguarda l'indice di connettività esso è ricavabile con relativa facilità (vedi il paragrafo relativo alle applicazioni del metodo), mentre per ricavare la matrice di intervisibilità tridimensionale ci sono notevoli difficoltà computazionali.(vedi la figura 13 relativa ad una prova di calcolo della matrice di intervisibilità) già riscontrati in precedenti studi (R.M.Itami, 2002)

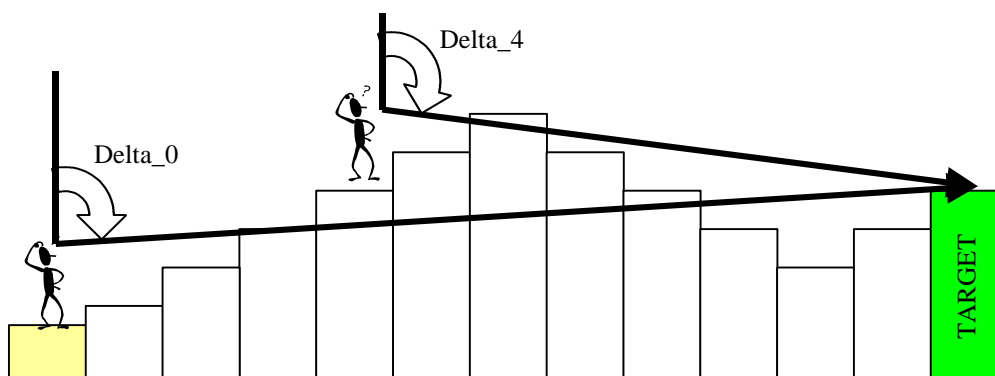


| ObjectID | Value | Count | Obs1 | Obs2 | Obs3 | Obs4 | Obs5 | Obs6 |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 0        | 0     | 12266 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 1        | 1     | 171   | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 2        | 2     | 23    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 3        | 4     | 282   | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    |
| 4        | 8     | 158   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    |
| 5        | 9     | 2     | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    |
| 6        | 10    | 706   | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    |
| 7        | 11    | 3     | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    |
| 8        | 16    | 458   | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    |
| 9        | 17    | 273   | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    |
| 10       | 20    | 13    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    |
| 11       | 25    | 2     | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    |
| 12       | 27    | 4     | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    |
| 13       | 32    | 257   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    |
| 14       | 34    | 44    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    |
| 15       | 36    | 257   | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    |
| 16       | 42    | 22    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    |
| 17       | 52    | 7     | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    |

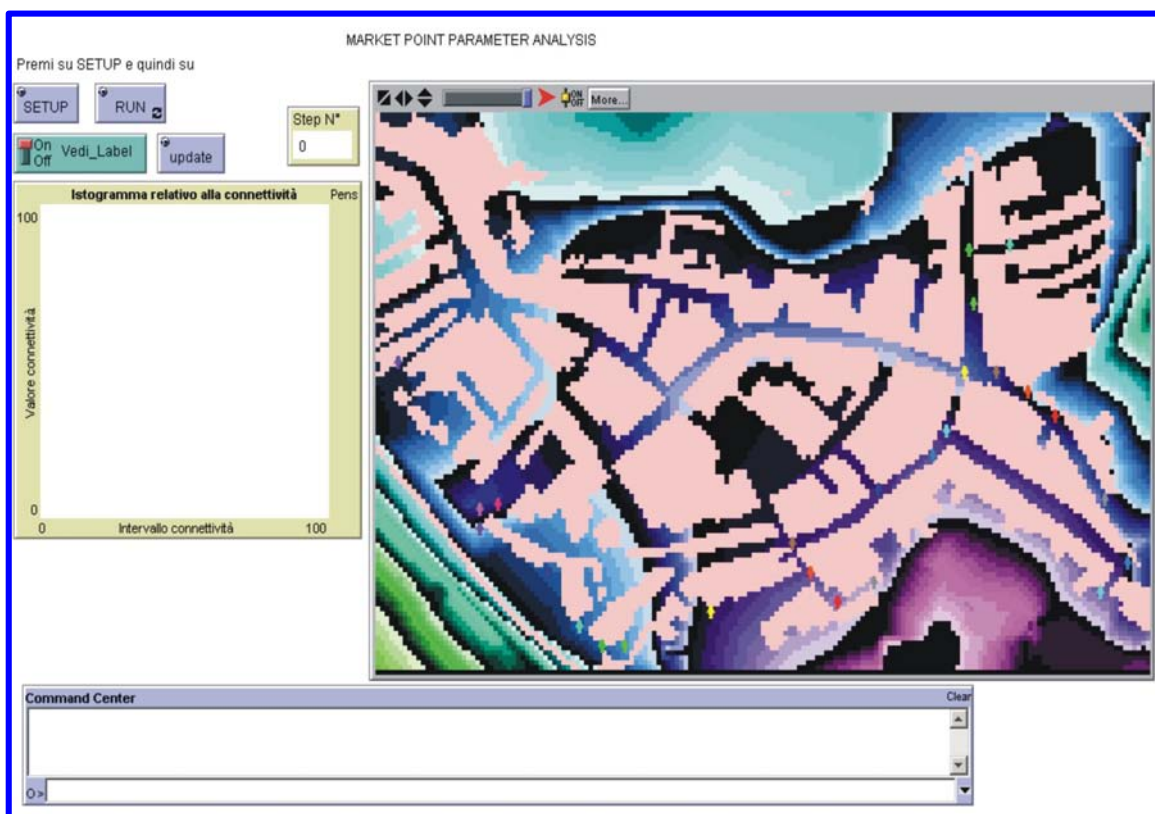
Figura 13 Prova di calcolo della matrice di intervisibilità relativa a sei punti (Obs1-6)

Perciò abbiamo pensato di sviluppare l'analisi tridimensionale all'interno di un Sistema Multi Agente (in questo caso abbiamo scelto la piattaforma NetLogo dell'Università di Waikato, in Nuova Zelanda) (Wilensky, 1999). I singoli punti caratteristici diventano, in un MAS, degli agenti mobili forniti di alcune proprietà, quali la direzione di movimento, l'angolo visivo azimutale. L'ambiente su cui gli agenti si muovono è un sistema cellulare, simile al raster dei GIS, nel quale la singola cella rappresenta una porzione dell'ambiente urbano, dotata di alcune proprietà, fra le quali le coordinate tridimensionali (per le celle occupate da edifici è stata introdotto un valore convenzionale fittizio di altezza). Il singolo agente-osservatore calcola, per ogni altro punto del sistema, la direzione planimetrica per raggiungerlo ed il valore iniziale dell'angolo del raggio visivo che li unisce (Delta in figura 14). Muovendosi verso il punto osservato (target) se l'agente incontra un edificio, ritorna al punto di partenza, calcola la direzione e l'azimut relativo al successivo punto-target e si muove verso di esso; ad ogni passo l'agente aggiorna l'azimut visivo che lo collega con il punto target: se questo supera il valore iniziale non si ha intervisibilità fra i due punti e quindi l'agente ritorna nella posizione di partenza e passa al successivo target.

In figura 15 è riportata una immagine dell'interfaccia del Sistema Multi-Agente creato, dove è possibile vedere le diverse colorazioni, relative a diversi valori di altezza del terreno, alcuni agenti introdotti in corrispondenza dei punti caratteristici e la ricostruzione dell'edificio.



*Figura 14 Il metodo di verifica della visibilità altimetrica*



*Figura 15 L'interfaccia del Sistema Multi-Agente*

#### 4. CASI DI STUDIO

Per dare anche un riscontro pratico alla teoria dello Space Syntax, si è pensato di condurre due esperimenti su casi reali, prendendo come casi di studio due città toscane: Pisa, nota in

tutto il mondo per le bellezze storico-architettoniche e Volterra, nota per le sue origini etrusche.

Entrambi gli esperimenti sono stati condotti utilizzando due metodi distinti:

- *metodo “raster”*, eseguito tramite analisi di tipo “Map Algebra” e analisi visuali (Visibility Graph Analysis – VGA)
- *metodo “vettoriale”*, condotto per mezzo di informazioni territoriali di origine esclusivamente vettoriale (metodo “MAPPA”)

Per quanto riguarda la sperimentazione relativa alla città di Pisa, i dati a disposizione sono completi ed ogni entità territoriale è caratterizzata da una serie considerevole di attributi che rendono più agevole l'intero processo di analisi.

Il primo passo del procedimento ha riguardato l'individuazione dei limiti della città è ricaduta su quella parte di città contenuta all'interno delle mura periurbane, tant'è che la città di Pisa conserva quasi intatte queste mura per oltre tre quarti dell'antico perimetro urbano. Il passo successivo è consistito, quindi, nell'effettuare una selezione spaziale per suddividere tutti quegli “oggetti” territoriali che si trovano all'interno del perimetro murario da quelli che si trovano all'esterno.

#### *4.1. Map Algebra e analisi visuale (Viewshed)*

Prendendo spunto dall'idea proposta da Pequet e Duan (1995), in cui il dato riferito al territorio in esame viene modellato secondo un approccio di tipo raster. A ciascuna unità territoriale elementare (pixel) sono state collegate varie informazioni di tipo tematico. Questa rappresentazione, che presenta dei limiti a livello geometrico (i contorni degli oggetti territoriali, soprattutto lavorando a scale di grande dettaglio, non sono troppo fedeli alla realtà), offre ottime potenzialità a livello d'analisi, consentendo di utilizzare le ormai consolidate procedure di analisi della “Map Algebra”. Tale linguaggio, ideato da Tomlin agli inizi degli anni '80, prevede una tassellazione spaziale usata per quantizzare lo spazio geografico in unità discrete, le celle. Tra le diverse organizzazioni a cellula regolare possibili – esagonale, triangolare, quadrata –, solo la quadrata è largamente adottata. Per usare questa organizzazione, l'estensione del sistema (il territorio preso in considerazione) viene divisa mediante un reticolo ortogonale in cellule (o celle) d'ampiezza uniforme, numerate come gli elementi di una matrice: a ogni cella così identificata vengono associati i valori che i diversi temi assumono nel suo ambito. Il grande vantaggio di questa struttura è la semplicità, che permette una gestione di tali dati molto efficiente ma che per altro viene generalmente pagata



con la minore accuratezza dell'informazione e la poca naturalezza delle informazioni grafiche. Tutti i tipi di dati interpretabili spazialmente possono essere rappresentati con questa struttura. Nonostante questa semplice struttura, la Map Algebra è un linguaggio di modellazione assai potente che utilizza contemporaneamente operatori di tipo algebrico e funzioni spaziali per definire le celle da considerare nel calcolo. Per quanto concerne la presente ricerca, sono stati utilizzati un operatore matematico (sommatoria) ed una funzione locale che permette di includere nel calcolo solo quelle celle, appartenenti a ciascun livello informativo, che si trovano in esatta corrispondenza dalla cella di volta in volta selezionata (De Mers, 2002). Infatti, dapprima è stato costruito un Modello Digitale di Elevazione (DEM) di entrambe le città prese in esame, in cui si è voluto ricostruire la morfologia del territorio senza tener conto della presenza dei “pieni” (corpi di fabbrica). Tale modello è stato costruito attraverso le seguenti fasi di elaborazione:

- reperimento di tutte le informazioni relative all'altimetria della zona di studio ed in particolare degli elementi polilineari (curve di livello) e di quelli puntuali (punti quotati a terra);
- ricostruzione del DEM per mezzo dell'algoritmo di interpolazione spaziale IDW (Inverse Distance Weighted).

Successivamente si rende necessaria una implementazione dell'algoritmo di calcolo con tutte le entità territoriali di natura antropica, da integrare nella modellazione del DEM, elaborato nella prima fase del lavoro, al fine di ricostruire il Modello Digitale del Terreno (DTM). Queste informazioni dovranno concernere elementi del territorio che hanno una certa consistenza areale (edifici) e che siano caratterizzati da una componente spaziale georeferenziata, che ne indica la forma, ed una alfanumerica in cui sono riportate le quote assolute. La ricostruzione del DTM avverrà per mezzo di una interpolazione spaziale che coinvolgerà tutte le informazioni territoriali suddette; l'algoritmo che verrà utilizzato è il TIN (Triangulated Irregular Network - Rete Irregolare di Triangoli), scelto proprio per la sua peculiarità di poter coinvolgere nella fase di interpolazione anche dati costruiti con primitive grafiche diverse da quella puntuale. In un secondo momento il dato tridimensionale sarà trasformato in una griglia a celle quadrate (la dimensione della cella verrà stabilita in base all'estensione dell'area urbana ed in base al grado di risoluzione che si vorrà ottenere), in cui la primitiva di tale dato, il pixel, conterrà l'informazione dell'altezza della porzione di territorio a cui si riferisce.

Con tale modellazione si sono volute così ricostruire le caratteristiche fisiche dell'ambiente urbano, dove i “vuoti” (gli spazi liberi) rappresentano le linee di “vista”, che nelle prime

sperimentazioni Space Syntax, erano approssimativamente indicate con le linee assiali, mentre i “pieni” (gli edifici) rappresentano gli ostacoli spaziali. Nelle sperimentazioni condotte nelle due città, Pisa e Volterra, dopo aver ricostruito il Modello Tridimensionale del terreno Urbano (DTMU), sono stati calcolati i punti caratteristici (il cui metodo di derivazione è stato ampiamente trattato nel corso del presente lavoro) che rappresentano i punti in cui la percezione dello spazio urbano cambia: quando un essere umano cammina (ovvero si sposta) all’interno degli spazi liberi di un tessuto urbano, la percezione (“vista”) della città cambia proprio in corrispondenza di questi punti. A tal proposito, attraverso una funzione assai collaudata in ambiente GIS, è stata calcolata la visibilità di ciascuno dei punti caratteristici presenti nei due ambienti cittadini. La funzione di visibilità (Viewshed) identifica sia quanti dei punti di osservazione specificati possono essere visti da qualsiasi punto della città, sia l’operazione contraria, cioè da un qualsiasi punto della città quanti sono i punti di osservazione che si possono vedere. Per mezzo di tale funzione è possibile controllare sia l’altezza dell’osservatore (ad esempio, l’altezza media di un uomo) sia l’angolo verticale (apertura o cono di visibilità) di osservazione (O’Sullivan et al., 2001). Le due città prese in esame presentano caratteristiche morfologiche assai diverse, in quanto la città di Pisa ha una morfologia piana mentre Volterra rappresenta l’esempio della classica città arroccata su una collina; l’analisi visuale che è stata condotta tiene ovviamente conto di questi dislivelli altimetrici, presenti soprattutto nella città di Volterra, che insieme alla presenza degli edifici rappresenta un ostacolo alla visuale.

#### *4.2. Metodo vettoriale*

L’analisi configurazionale, come già ampiamente enunciato, prevede la presenza, ai fini analitici, dei corpi di fabbrica (edifici) e dei “punti caratteristici”; questi ultimi saranno individuati tramite varie fasi di analisi spaziale.

Infatti tali punti sono stati selezionati attraverso tre diverse procedure:

- individuazione degli incroci derivati dal dataset degli assi stradali;
- calcolo dei “centroidi” delle piazze, delle corti e degli slarghi cittadini;
- calcolo dei punti di “picco” delle curve di ogni arco viario.

Per la derivazione degli incroci è necessario ricostruire la topologia, ovvero l’insieme delle relazioni spaziali che caratterizza ogni dataset geografico, ed attraverso questa estrarre il livello relativo ai nodi, è opportuno, in questa fase, eseguire un’analisi di controllo per rilevare l’eventuale presenza di pseudo-nodi, cioè punti che raccordano soltanto due archi e

che, perciò non possono essere considerati come incroci veri e propri. L'operazione che permette l'individuazione dei centroidi di ciascuna piazza è senz'altro più complessa ed allo stesso più laboriosa della precedente; tale calcolo richiede, in prima istanza, la selezione tramite toponimo di tutto ciò che non è una strada (piazza, largo, corte, ecc.) e la relativa verifica. Questa selezione è stata costruita per mezzo di una espressione SQL (Structured Query Language) ed in particolare attraverso l'uso di caratteri cosiddetti "jolly" sono stati selezionati tutti quei toponimi in cui la prima parte del nome era "Piazza", "Largo" o "Corte". Il dataset relativo agli archi stradali rappresenta questi elementi per mezzo del loro contorno, per cui, nel momento in cui vengono individuati, è stato semplice trasformare la loro primitiva geometrica da polilinea a poligono. Ciascun poligono è stato successivamente codificato con un progressivo numerico e con il toponimo derivato dal tema degli assi stradali; quindi, è possibile calcolarne il centroide, definito dalla media delle coordinate dei vertici che delimitano ciascun poligono, attraverso una funzione automatizzata. Ciascun punto centrale di ogni piazza è stato poi collegato con un arco fittizio ad ogni strada che afferisce su ciascuna piazza in esame. Per operare tale collegamento è stata sfruttata una estensione del software ArcGIS, che attraverso l'interpretazione di una matrice Origine-Destinazione (From\_node-To\_node) genera in automatico le aste fittizie che collegano i centri di ciascuna piazza con i nodi relativi alle strade che convogliano su ciascuna piazza stessa.

## **5. RISULTATI DELLE SPERIMENTAZIONI**

I risultati delle elaborazioni condotte con la metodologia vettoriale "MAPPA" meritano alcune considerazioni e una nota di commento critico.

Anzitutto, per quanto ovvio, è opportuno precisare che la metodologia "MAPPA", in quanto interna alla visione configurazionale, non conferisce valore alcuno alla presenza delle attività insediate. Nel caso di Pisa, in particolare, un simile approccio evidenzia una dissonanza fra l'andamento degli indici configurazionali e la distribuzione di alcune attività; ciò in larga parte è da addebitare alla determinante presenza di alcune attività monopolistiche, che determinano un movimento attratto (e la conseguente localizzazione di altre attività) in posizione marginale sotto il profilo configurazionale. Si pensi in particolare alla zona nord-occidentale della città, quella dove è situato il Duomo di Pisa e Piazza dei Miracoli.

Al di là di questa precisazione, che in ogni caso riguarda l'analisi configurazionale, in generale, l'analisi dei risultati, fornita in particolare da "MAPPA", mostra alcune peculiarità ed evidenzia alcuni limiti che ricerche successive dovranno farsi carico di affrontare. Al

riguardo, per evidenziare le differenze degli esiti di “MAPPA” e di altre tecniche configurazionali consolidate, sembra utile comparare la tavola di figura 17 con una rappresentazione dei risultati a seguito della sperimentazione Space Syntax col metodo delle Axial Lines sull’intero aggregato urbano della stessa città (fig 16).

I Lungarni, come è evidente, risultano per “MAPPA” i tronchi viari forniti del più alto grado di integrazione; questo esito, per molti versi, trova conferma nelle precedenti elaborazioni effettuate con altre tecniche configurazionali, e che assegnavano agli stessi tronchi un



Figura 16: Calcolo dell’indice di integrazione della città di Pisa (*Axial Lines*)

significativo livello di centralità. Tuttavia, in “MAPPA” risulta comparativamente contenuto il livello di integrazione che altre tecniche configurazionali riconoscono all’altro asse di polarizzazione dell’abitato, costituito dalla direttrice nord-sud e costituito da corso Italia, da Ponte di Mezzo e da Borgo Stretto. Questo esito, per certi versi sorprendente, può agevolmente essere spiegato con il fatto che i Lungarni costituiscono, su entrambe le rive del fiume, i terminali di una estesa serie di percorsi trasversali, che genera, quindi, un alto numero di punti di analisi (mark points). Questa particolare configurazione a “pettine” fa sì che, in conseguenza della scelta di disporre i “mark points” in corrispondenza delle intersezioni fra assi viari, la loro elevata frequenza lungo i lungarni renda tali percorsi quelli più “centrali”.

Per quanto attiene alla diversità dei due lungarni, anche tale aspetto in parte corrisponde all’esperienza oggettiva di un Lungarno (quello di tramontana) di maggior pregio posizionale (ovvero con maggior densità di attività, con più elevati canoni di locazione, etc.).

Il diverso livello di centralità dei due Lungarni (quello di Mezzogiorno e quello di Tramontana) può essere ricondotto a considerazioni di natura percettiva così come veniva affermato dagli psicologi della Gestalt, in riferimento alla natura delle forme.

Nei Lungarni, possono essere, infatti, distinte due forme particolari:

- il Lungarno posto a Tramontana (a Nord del fiume Arno) che riproduce la forma di un angolo ottuso, quindi sostanzialmente una forma più aperta, una forma percepita come “buona” e che mostra un grado di centralità generalmente alto
- il Lungarno di Mezzogiorno (a Sud del fiume Arno), assimilabile ad un angolo acuto e di conseguenza corrisponde ad una forma più “ostile” che non attira il cosiddetto movimento naturale.

Tali ipotesi sono anche supportate dal rilievo diretto relativo alla distribuzione delle caratteristiche funzionali (residenze, attività di vario genere, ecc.) dell'intera città di Pisa, in quanto viene riscontrata sul Lungarno di Mezzogiorno una minore densità di attività commerciali (nel corso degli anni molti esercizi commerciali posti su tale Lungarno hanno cessato la loro attività) ed anche un minor valore immobiliare dovuto ad un minor “pregio localizzativo”. Tali considerazioni sono peraltro riscontrabili nelle figure 17 e 18 dove possiamo notare la distribuzione del diverso grado dell'indice di integrazione globale sull'intero sistema in esame; da tali mappe si possono altresì osservare altre peculiarità del sistema urbano. Innanzitutto la zona a Nord-Ovest della città, quella dove si trova la Piazza dei Miracoli, è interessata dalla presenza della maggior parte delle attività monopolistiche, tra le quali appunto il Duomo, un Ospedale di rilievo sovra-provinciale, alcuni dipartimenti universitari, una grossa caserma militare, ed altre ancora: tale porzione di città, dai risultati conseguiti con l'analisi configurazionale, ha indici di centralità medio-bassi nonostante sia appunto interessata da un grosso flusso di movimento attratto. Questi aspetti sono insiti, nondimeno, nella natura dell'analisi configurazionale, in quanto tale metodo è “cieco” rispetto a tutte le attività di tipo monopolistico e quindi i poteri attrattivi di queste attività non vengono considerati.

I risultati ottenuti col metodo “MAPPA” mettono in evidenza anche come l'asse Corso Italia - Borgo Stretto, che si estende in direzione longitudinale rispetto al sistema urbano considerato, assuma valori di centralità variabili da Medi a Medio-alti; tale metodologia, rispetto a quella delle Axial Lines, produce una stima più articolata e dettagliata dei valori del livello di centralità degli assi del sistema urbano. Infatti per uno stesso tronco stradale si possono calcolare diversi valori dell'indice di integrazione, che determina il livello di centralità, ognuno riferito ad ogni punto caratteristico con cui tale asse viario è stato suddiviso; al

contrario, la metodologia delle linee assiali, calcola un unico valore dell'indice di integrazione per ogni linea che rappresenta il tronco stradale, senza tener conto della lunghezza di ciascuna strada e senza tener conto dei reali cambiamenti visuali e percettivi che si possono avere su tale strada.

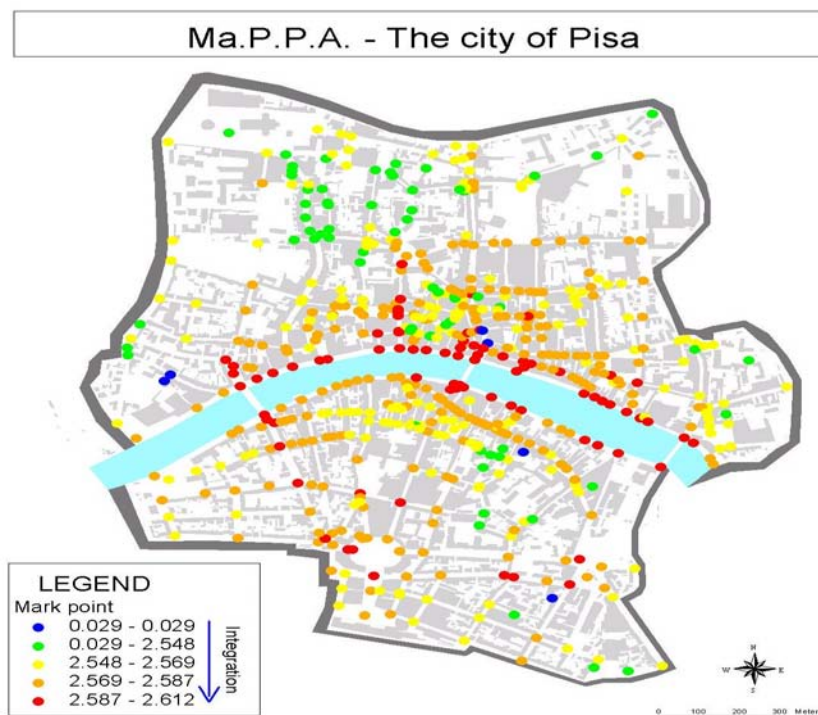


Figura 17 Calcolo dell'indice di integrazione della città di Pisa

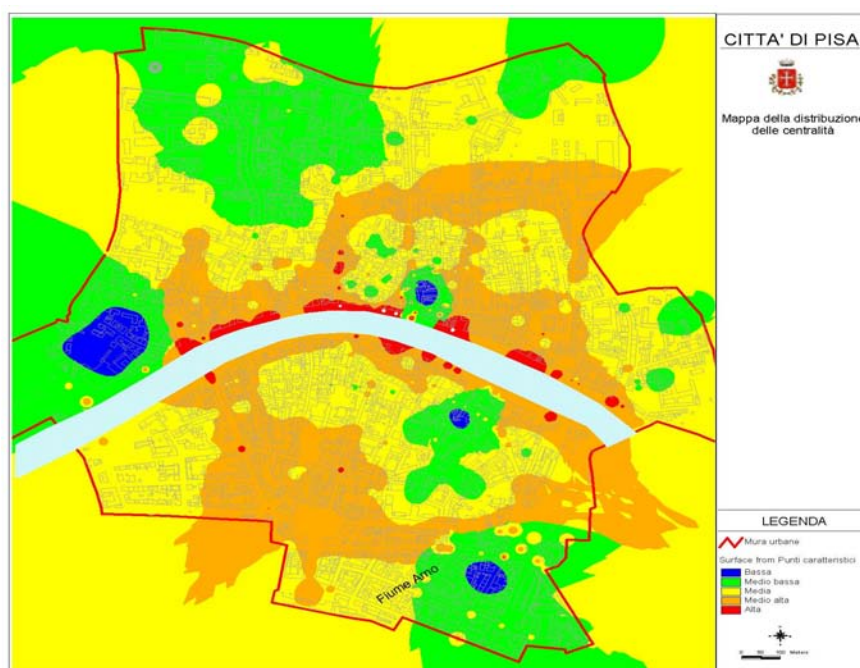


Figura 18 Distribuzione dell'indice di integrazione della città di Pisa

Altre considerazioni che emergono dalle sperimentazioni condotte sulla città di Pisa derivano dagli incroci eseguiti tra la distribuzione delle attività commerciali e la distribuzione dell'indice di centralità. Da una prima interpretazione dei risultati, si può affermare che le zone più appetibili per la localizzazione di nuove attività commerciali siano proprio i suddetti Lungarni e, in particolar modo, quello di tramontana. Tuttavia, su quest'ultimo le attività commerciali sono pressoché assenti; ciò deriva dal fatto che su questo Lungarno sono insediate numerose attività monopolistiche (Pubblica Amministrazione, Rettorato ed altri uffici universitari, ecc.) che "occupano" buona parte degli edifici.

In conclusione, si può osservare che il nuovo metodo sperimentato ("MAPPA") presenta numerosi vantaggi, rispetto a quello delle *Axial Lines*, tra essi vale la pena di menzionare:

- Automazione di importazione dati;
- Automazione dell'esportazione delle mappe e creazione di entità territoriali in forma GIS-Oriented;
- Possibilità di lettura della variazione del valore dei vari indici configurazionali lungo i diversi tronchi viari;
- Più efficiente interfaccia dei dati e possibilità di individuare relazioni intercorrenti con dati di diverso contenuto

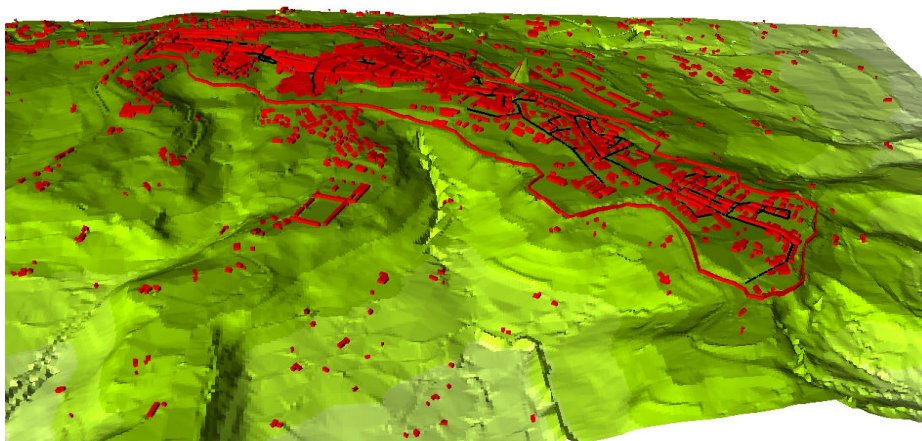
Dall'altra parte, il metodo proposto necessita di alcuni affinamenti, i quali si rendono necessari per poter migliorare i seguenti aspetti:

- Inserimento nell'algoritmo di calcolo automatico dei parametri necessari alla derivazione dei vari indici di visibilità (VGA)
- introduzione della variabile morfologica (orografia del sistema in studio).

Allo scopo di introdurre tali implementazioni, è stato di recente introdotto come caso di studio il centro storico di Volterra, che a suo tempo è stato oggetto di studi approfondite sperimentazioni utilizzando il metodo Space Syntax delle linee assiali., e che ha proprio nella accidentata orografia una caratteristica peculiare, che i metodi di analisi configurazionale fin qui sperimentati non sono in condizioni di cogliere.

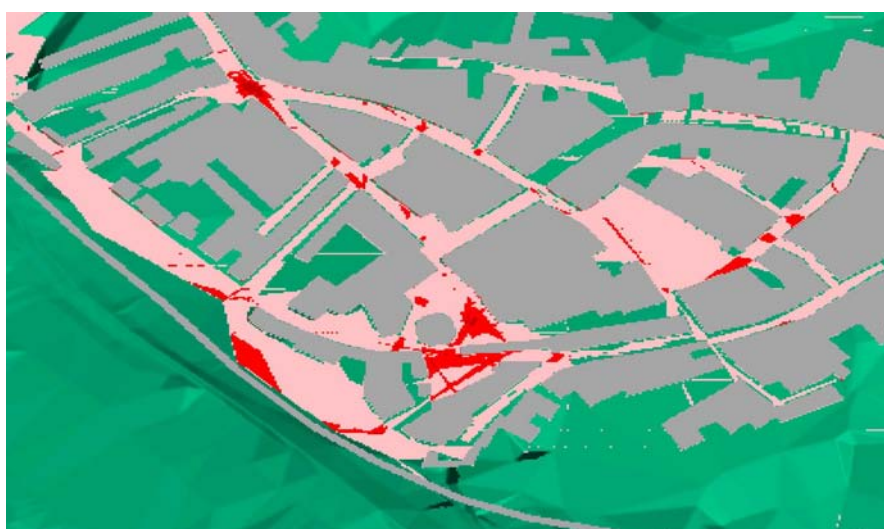
Infatti, per quanto riguarda la città di Volterra figg. 19 e 20 è stato condotto un esperimento utilizzando la Visibility Graph Analysis: tale sperimentazione, come già evidenziato da Cutini e Bortoli (Bortoli, Cutini, 2001) attraverso l'elaborazione delle mappe assiali, mette in risalto come le zone in cui si riscontrano i valori più alti dell'indice neighborhood size siano quelle corrispondenti alle piazze (fig. 20), nelle quali l'indice di intervisibilità assume valori abbastanza alti ( 5).





*Figura 19* Mappa della città di Volterra

Quest'ultimo esperimento vuol mettere altresì in evidenza anche la validità dell'applicazione del metodo a contesti insediativi morfologicamente variabili in quanto l'analisi visiva tiene conto, oltre delle barriere rappresentate dall'edificato, anche dei dislivelli morfologici. Bisogna dire che il parametro calcolato, la *neighborhood size*, non è quello più significativo tra i parametri computabili col metodo VGA, tuttavia in questa fase della ricerca è stato utilizzato per operare dei confronti con i risultati dell'indice di connettività (esperimento eseguito per la sola città di Pisa), al quale è direttamente paragonabile. Il confronto dei valori di tale indice, prodotto seguendo le due diverse metodologie ("MAPPA" e VGA) mette in luce risultati sostanzialmente equivalenti.



*Figura 20* Mappa della distribuzione della *neighborhood size* (metodo VGA) della città di Volterra (dettaglio)



## 6. BIBLIOGRAFIA

- Batty M. (2001) Exploring isovists fields: space and shape in architectural and urban morphology, in *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 28, pagg. 123-150.
- Cutini V., Petri M., Santucci A. (2004) From axial maps to Mark Point Parameter Analysis (Ma.P.P.A.) – A GIS implemented method to automate configurational analysis, in *Computational Science and its Applications – ICCSA 2004*, A. Laganà et al. (a cura di) Springer, Berlin pp 1107-1116 II
- DeMers M. N. (2002) *GIS Modeling in Raster J*. Wiley & Sons, LTD, Chichester, New York, Singapore, Toronto
- Hillier B., Hanson J. (1984) *The social logic of space*, Cambridge University Press
- Jiang B., Claramunt C. (2002) Integration of Space Syntax into GIS: new perspectives for urban morphology, in *Transaction GIS*, 2002, 6(3): 295-309, Blackwell Publishers Ltd, Oxford
- Montello D.R. (1991) Spatial orientation and the angularity of urban routes, in *Environment and Behaviour*, n. 23, pagg. 47-69.
- O'Sullivan D., Turner A. (2001) Visibility graphs and landscape visibility analysis, *International Journal of Geographical Information Science* 15(3), 221-237
- Pequet D. J. and Duan N. (1995). An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographic Information Systems*, 9(1), 7-24.
- Robert M. Itami (1999) *Mobile Agents with Spatial Intelligence*, in *Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes*, Edited by H. Randy Gimblett, Santa Fe Institute, Oxford University Press
- Sadalla E.K., Montello D.R. (1989) Remembering changes in direction, in *Environment and Behaviour*, n. 21, pagg. 346-363.
- Turner A. (2001a) Angular Analysis, in *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Space Syntax Symposium*, Atlanta, 7-11 May 2001, Alfred Tauban College of Architecture, University of Michigan.
- Turner A. (2001b) Depthmap. A program to perform visibility graph analysis, in *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Space Syntax Symposium*, Atlanta, 7-11 May 2001, Alfred Tauban College of Architecture, University of Michigan.
- Turner A. Doxa M., O'Sullivan D., Penn A. (2001) From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, in *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 28, pagg. 103-121
- Wilensky U. (1999) *NetLogo Itself* Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

## **ABSTRACT**

In the last 15 years, configurational analysis has been deserving a wider and wider interest as well as the acknowledgement as a useful reliable technique of analysis of urban space.

Such method was proved to be highly effective as a knowledge tool (useful for a deeper understanding of urban genesis), but, even more as a planning tool (aimed at supporting the decision making with reference to urban transformation).

In 2004, 20 years have elapsed since Hillier's introduction of configurational approach; it seems then useful to overview and systematize the configurational theory and the most significant operational techniques which refer to it.

At the same time, side by side with the capabilities and the limits that affect each of the techniques so far tested, we are going to present a further operational method, in order to correct and overcome some critic points around the techniques that are currently used.