

RIPIDE GRIGLIE URBANE: PER UNA ANALISI CONFIGURAZIONALE DELLE  
CITTÀ SU TERRENO ACCLIVE

Valerio Cutini<sup>1</sup>

**SOMMARIO**

Questa comunicazione costituisce il report di una ricerca volta a sviluppare e ad affinare le tecniche operative di analisi configurazionale al momento disponibili. Originata dalla Space Syntax hilleriana e sviluppata nel corso degli ultimi 20 anni da ricercatori operanti in tutto il mondo, l'analisi configurazionale è fin qui rimasta confinata allo studio e all'apprezzamento delle sole caratteristiche planimetriche della griglia dei percorsi di un insediamento urbano, deducendo dal complesso delle relazioni spaziali fra i suoi elementi una quantità di informazioni riguardanti fenomeni insediativi di vario genere: fra le più interessanti a fini pianificatori, la distribuzione del traffico pedonale, la distribuzione dei livelli di centralità, la distribuzione degli usi del suolo. L'affinamento che qui si propone riguarda uno sviluppo sostanziale delle tecniche operative di analisi configurazionale, consistente nella estensione in senso tridimensionale del layout urbano da sottoporre ad analisi, mediante l'introduzione dell'attenzione verso l'assetto orografico degli insediamenti. Si intende cioè introdurre la possibilità di apprezzare, oltre all'andamento planimetrico dei singoli elementi costituenti la griglia, anche il loro andamento altimetrico, ovvero la loro pendenza; e di valutare in concreto l'utilità di un simile affinamento.

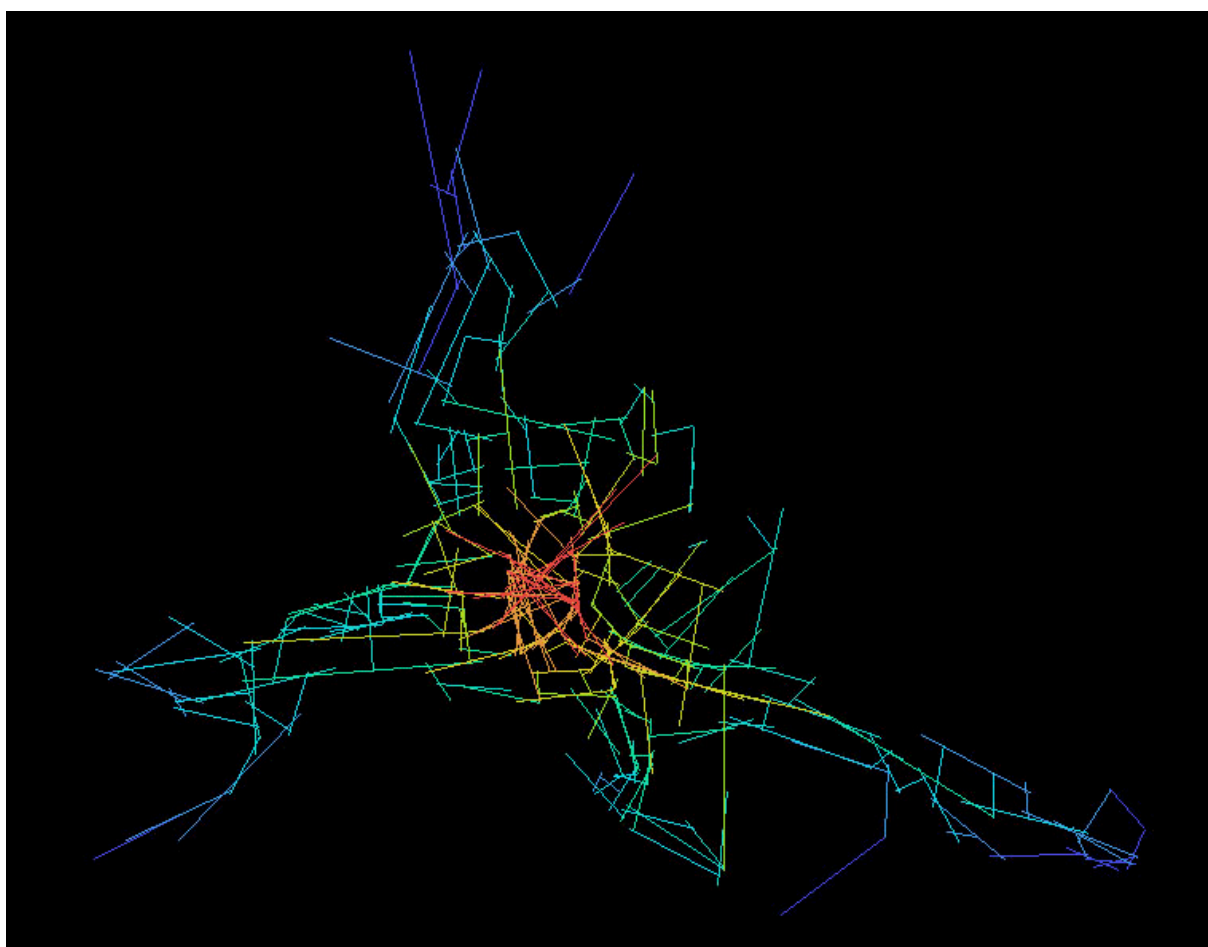
---

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa, Largo Lazzarino 1, 56126, Pisa, e-mail: [valerio.cutini@ing.unipi.it](mailto:valerio.cutini@ing.unipi.it).

## 1 Introduzione

L'approccio configurazionale all'analisi e allo studio dei centri abitati si basa, com'è noto, sull'assunzione della griglia dei percorsi che attraversano un insediamento urbano nella veste di matrice primaria da cui deriva lo svolgimento dei fenomeni che hanno luogo al suo interno. Da una simile assunzione consegue la possibilità, largamente comprovata dalle sperimentazioni, di trarre dalla analisi della configurazione della griglia urbana informazioni e risultanze utili ad indagare tali fenomeni; sia allo scopo di comprenderne lo svolgimento (ovvero in chiave di lettura della geografia interna della città e di comprensione della sua genesi), sia, soprattutto, allo scopo di prevederne il presumibile sviluppo (ovvero come strumento di valutazione e di indirizzo di piani e progetti di trasformazione, a supporto della attività di pianificazione). Un simile approccio comporta, come è facile comprendere, il sovvertimento della logica operativa tradizionalmente sottesa alla modellistica territoriale classica, che fonda i suoi meccanismi sulla assunzione delle attività insediate come proprie variabili di ingresso, e attende i propri risultati da una elaborazione di queste che simuli il gioco della loro reciproca interazione sul territorio, funzione delle loro rispettive natura e consistenza e della specifica collocazione. Con l'approccio configurazionale, al contrario, ciò che è soggetto ad elaborazione è il complesso delle relazioni spaziali che intercorrono fra ogni singolo elemento materiale dello spazio dell'insediamento ed i rimanenti, ovvero, nel suo insieme, la configurazione della griglia urbana. Ne consegue che lo spazio della città, nella modellistica classica relegato sul fondo della scena, con un ruolo sostanzialmente inerte, assume nell'approccio configurazionale una posizione attiva ed un ruolo di primissimo piano. Ancora più interessante è il fatto che, in virtù di questa assunzione, si viene a materializzare un ponte (concettuale e operativo) fra le discipline del disegno urbano, orientate sulla morfologia del tessuto insediativo, e gli ambiti dell'analisi territoriale, focalizzate sullo studio (anche quantitativo) delle componenti materiali ed immateriali dei sistemi urbani: giacché le trasformazioni dell'assetto morfologico della città ne alterano i connotati configurazionali, e quindi sono riconosciute fra i fattori essenziali della varietà dei fenomeni che hanno luogo al suo interno. Naturalmente, la solidità di questo ponte risiede nella attendibilità dell'ipotesi assunta a base dell'approccio configurazionale, ovvero che la griglia (per come è articolata al suo interno, per come sono reciprocamente interrelati i singoli elementi che la compongono) contenga in sé le precondizioni all'utilizzazione del suolo su cui è disposta; che, in altri termini, l'uso effettivo dello spazio urbano corrisponda (per presenza e densità di attività) a quanto è dato attenderci in ragione della configurazione spaziale della griglia dei suoi percorsi. La attendibilità di questa ipotesi fondamentale è stata confortata da un elevato numero di ricerche e sperimentazioni; fra queste, si richiamano qui di seguito, e si illustrano nelle figure 1 e 2 che seguono, le risultanze della verifica effettuata sul centro storico di Siena,

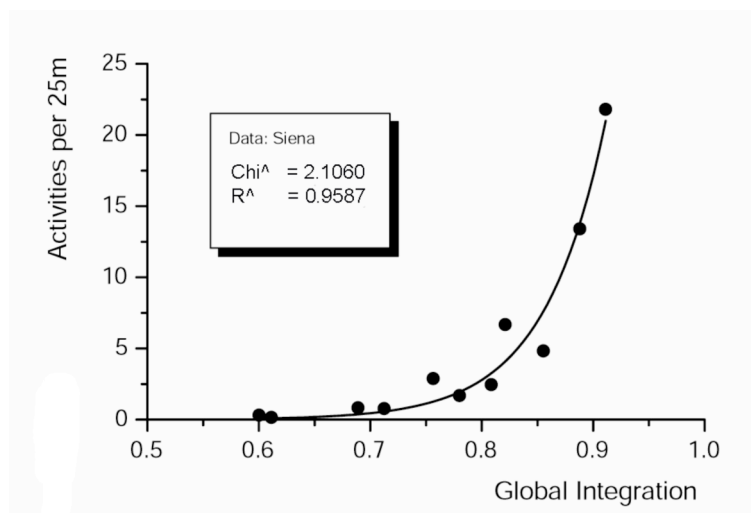
nella quale si dimostra l'esistenza di un elevatissimo valore del coefficiente di determinazione relativo alla correlazione fra la distribuzione dell'indice di integrazione (il più significativo fra gli indici configurazionali) e la densità di attività effettivamente rilevate lungo i tronchi viari corrispondenti alle *lines* della relativa *axial map*. Ciò che autorizza ad affermare che, qualora si intenda assumere la centralità di un aggregato urbano come espressione della attrattività dei suoi spazi nei confronti delle attività da localizzare al suo interno, l'analisi configurazionale (in particolare a mezzo del suo indice di integrazione) è in grado di riprodurre con eccellente approssimazione la distribuzione; e che, pertanto, la stessa centralità può riconoscersi come derivante dalla effettiva articolazione fisica dello spazio urbano, dalla sua struttura e dalla sua morfologia.



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

Se l'utilità di un simile approccio è quindi indiscutibile, così come indiscutibilmente attendibili appaiono le risultanze della applicazione del metodo, ormai suffragate da decenni di sperimentazioni di vario genere in tutto il mondo, tuttavia resta da approfondire la

questione essenziale del modo in cui lo spazio della città debba (e possa) essere concettualizzato per essere utilmente disponibile all'analisi.



*Figura 2 – Correlazione fra indice di integrazione e densità di attività sui tronchi corrispondenti alle lines della axial map di Siena*

Questo tema verrà qui trattato con l'intento di proporre un affinamento delle tecniche attualmente in uso, con riferimento, in particolare, alla possibilità di apprezzare non solamente le caratteristiche planimetriche dell'agglomerato urbano da sottoporre ad analisi, ma anche le sue caratteristiche orografiche: così da restituire al layout urbano la sua terza dimensione. Ne seguiranno considerazioni volte a discutere la concreta utilità di tale approccio, mirate cioè a valutare cioè se un simile affinamento rechi un effettivo vantaggio nell'utilizzazione delle tecniche configurazionali ed un percettibile avanzamento nella conoscenza dei meccanismi formativi dei sistemi insediativi.

## **2 Dalla città alla griglia, dalla griglia al sistema**

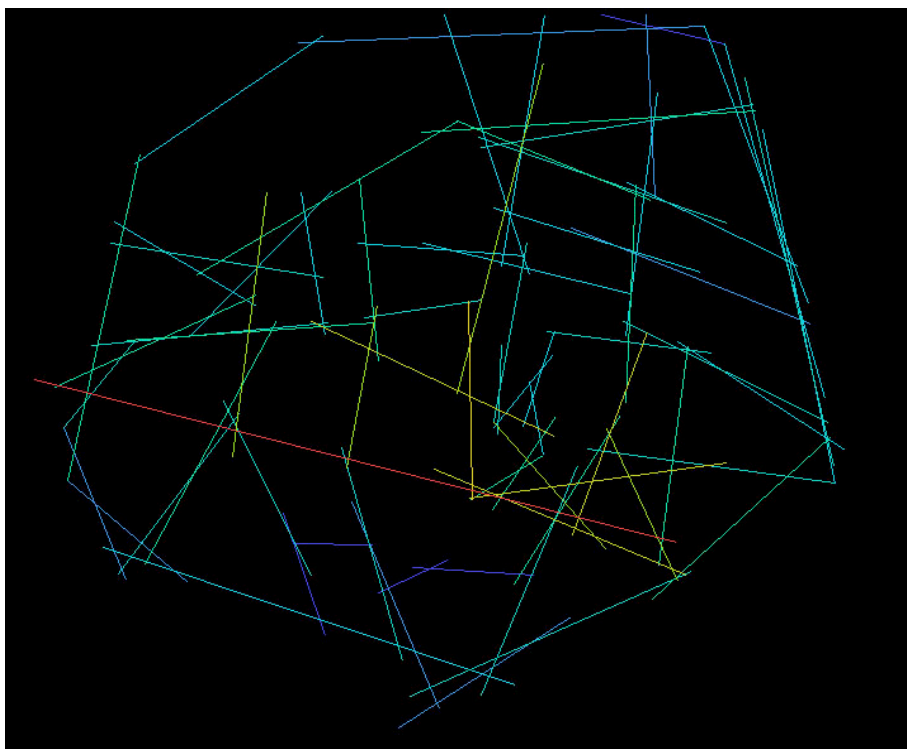
Cosa si intenda per griglia urbana e come la si identifichi a partire dalla consistenza di un aggregato insediativo è facile dire: parlando di griglia di un insediamento si intende lo spazio pubblico urbano scoperto, ovvero l'insieme degli spazi e dei percorsi che sono praticabili senza vincoli o limitazioni da un qualsiasi osservatore o utente al suo interno. Assai meno immediato è definire la modalità con la quale la griglia, così identificata, possa essere ridotta a sistema; anzi, proprio la modalità della riduzione della griglia a sistema costituisce l'aspetto intorno al quale si diversificano le diverse tecniche di analisi configurazionale fin qui

introdotte (Cutini, 2008), e quindi l'elemento ordinatore che le discrimina e ne consente una sia pur grossolana tassonomia. La modalità di più lontana tradizione è quella indicata e prevista dalla cosiddetta *Axial Analysis* (Hillier, Hanson, 1984; Hillier, 1996), condotta mediante la costruzione del complesso dei segmenti di massima estensione che, presi nel loro minor numero, consentono di coprire la totalità degli spazi convessi della griglia; tale sistema, denominato *axial map*, identifica quindi come elemento spaziale il singolo segmento (detto *axial line*) e come relazione di sistema la reciproca intersezione fra tali *lines*. L'analisi configurazionale della *axial map* consisterà nella determinazione delle relazioni esistenti fra ogni *line* e tutte le altre, e condurrà alla individuazione degli indici configurazionali; si tratta di un insieme di parametri numerici idonei a descrivere l'assetto configurazionale di ogni elemento, fra i quali quello largamente più significativo è l'indice di integrazione, definito come la profondità media di una *line* rispetto a tutte le altre del sistema (Hillier, Hanson, 1984). Una più recente modalità di riduzione a sistema della griglia è quella dettata dalla cosiddetta *Visibility Graph Analysis* (Turner et al., 2001), consistente nella introduzione al suo interno di una mesh di punti (denominati *vertices*) di opportuna densità, fra loro connessi a mezzo di un rapporto di reciproca intervisibilità. Allo scopo di illustrare i differenti esiti cui in concreto conduce l'utilizzazione delle due tecniche operative, è qui rispettivamente riportata nelle figure 3 e 4 la rappresentazione cromatica della distribuzione dell'indice di integrazione sulle *lines* della *axial map* corrispondente al centro storico di Grosseto e quella della distribuzione dello stesso parametro sui *vertices* del *visibility graph* corrispondente allo stesso insediamento.

Al fine di superare alcuni limiti che, distintamente, entrambe queste due modalità di fatto manifestano, altre tecniche di analisi configurazionale sono state introdotte e, nel tempo e con esiti diversi, applicate e sperimentate. Fra queste, la *Angular Analysis* (Turner, 2001), che, nel computo dei valori dell'impedenza spaziale fra coppie di *lines* (da effettuarsi ancora una volta per via topologica, lungo il percorso più breve), attribuisce valori diversi in relazione all'angolo di incidenza delle *lines* interconnesse.

Questa ulteriore tecnica operativa è finalizzata a risolvere il problema (talvolta evidente) costituito dai percorsi urbani dall'andamento serpeggiante (quasi rettilineo), che in base alla Axial Analysis risultano composti da un elevato numero di *lines* fra loro intersecate a due a due secondo angoli prossimi a 180° e che la stessa Axial Analysis apprezza in modo del tutto identico a percorsi fatti da *lines* intersecate ortogonalmente.

O, ancora, la Mark Point Parameter Analysis (Ma.P.P.A.) (Cutini, Petri, Santucci, 2004), che riduce a sistema la griglia mediante l'introduzione di un insieme di punti singolari (mark points), opportunamente selezionati all'interno della griglia dei percorsi urbani; di questa tecnica verrà data una più dettagliata descrizione nella trattazione che qui segue.



*Figura 3 – Distribuzione dell'indice di integrazione sulle lines della axial map corrispondente al centro storico di Grosseto*



*Figura 4 – Distribuzione dell'indice di integrazione sui vertices del visibility graph corrispondente al centro storico di Grosseto*

Come si comprende, tutte queste tecniche (così come altre di minore diffusione, qui non menzionate espressamente) si distinguono in ragione di una diversa concezione del sistema da sottoporre ad analisi. In ogni caso, quale che sia la modalità con cui lo spazio pubblico scoperto di un insediamento si riduce a sistema, tuttavia tutte le tecniche operative condividono l'assunto iniziale posto a base dell'approccio configurazionale: la griglia urbana è riconosciuta come la matrice primaria dello svolgimento dei fenomeni che hanno luogo all'interno di un insediamento, determinando le precondizioni per la distribuzione delle correnti di movimento e, di conseguenza, per la localizzazione delle attività. E tale influenza viene esercitata dalla griglia urbana a mezzo della propria configurazione, ovvero in ragione del complesso delle relazioni spaziali esistenti fra i singoli elementi che la costituiscono; che, poi, questi elementi si chiamino *axial lines* (come è nella *axial analysis*), *vertices* (come è nella *visibility graph analysis*) o *mark points* (come è nella Ma.P.P.A.) non modifica la logica concettuale dell'approccio, ma ne costituisce una specifica e differenziata declinazione della procedura operativa.

### **3    Analisi configurazionale e orografia**

Il rapporto fra l'approccio configurazionale all'analisi di un insediamento ed il suo assetto orografico, ovvero l'incapacità (indifferenza) delle tecniche fin qui introdotte a prendere in considerazione tale aspetto, per alcuni versi rientra nel più vasto tema del rapporto fra configurazione e geometria, più volte trattato (sia da configurazionisti che da detrattori, con considerazioni ovviamente divergenti (Ratti, 2004; Hillier, Penn, 2004). Tuttavia, la sua specificità e l'importanza che le caratteristiche orografiche presentano in molti contesti (ad esempio in gran parte degli insediamenti storici di impianto medioevale) ne suggerisce anche una trattazione più mirata e circostanziata. Per quanto riguarda la prima tematica, va riconosciuto che l'analisi configurazionale, focalizzata sull'assetto relazionale degli elementi spaziali della griglia urbana, appare del tutto indifferente verso gli aspetti geometrici e morfologici. Tuttavia, a ben vedere (Cutini, 2010) il disinteresse e l'indifferenza sono soltanto apparenti, in quanto è stata attestata una stretta corrispondenza fra l'andamento delle variabili configurazionali e le caratteristiche geometriche della griglia; tale corrispondenza consente di fatto all'analisi configurazionale, che pure sull'assetto relazionale concentra ogni attenzione, di dar conto anche di aspetti relativi alle caratteristiche geometriche e morfologiche del tessuto urbano (Hillier, 1999). È quindi possibile asserire che tali caratteristiche restano in certo modo interiorizzate (e quindi di fatto ben presenti, anche se nascoste e non esplicitate) nell'assetto relazionale oggetto di attenzione da parte delle tecniche di analisi configurazionale e implicite negli indici che lo descrivono.

Passando poi da questa tematica generale alla questione più specifica dell'assetto orografico dell'insediamento, che interessa da vicino la presente trattazione, è evidente che l'approccio bidimensionale cui sono improntate tutte le tecniche di analisi configurazionale fin qui introdotte e utilizzate non può riconoscere alcuna valenza alla articolazione altimetrica del suolo. Che la ripidezza dei tronchi viari comporti in effetti concrete difficoltà nella loro utilizzazione (difficoltà ovviamente crescenti con il rispettivo grado di pendenza) appare in effetti una affermazione logica e condivisibile; che tale difficoltà, poi, determini una dilatazione dell'impedenza spaziale dei percorsi ad essi corrispondenti e che, pertanto, la pendenza comporti un effetto dissuasivo sulla loro concreta utilizzazione sembra anche questa una considerazione poco discutibile. Resta da indagare se (in quale modo e in che misura) tale fenomeno dissuasivo comporti in effetti una riduzione della concreta utilizzazione dei percorsi e, conseguentemente, una penalizzazione della loro attrattività nei riguardi delle attività economiche. Naturalmente, qualora questo effetto fosse marcato, le tecniche di analisi configurazionale, per il solo fatto di essere fondate sulla elaborazione della sola consistenza planimetrica di un insediamento e quindi insensibili a rilevarlo, si rivelerebbero inadeguate allo studio di insediamenti caratterizzati dalla presenza di un assetto orografico accidentato e da percorsi di elevata ripidezza.

Più in generale, ci si domanda se (e in qual modo) sia possibile apprezzare, nell'analisi configurazionale di una griglia, anche la dimensione altimetrica. Ci si domanda anche se l'analisi della configurazione di una griglia urbana fornisce risultati diversi (e quanto diversi) per il fatto che questa si trovi articolata su un supporto territoriale dall'andamento orografico irregolare, o comunque non piano. Ci si domanda infine se, in questo caso, tali risultati siano tali da costituire un effettivo potenziamento delle capacità dell'analisi configurazionale a riprodurre l'andamento della centralità all'interno di un insediamento. A queste domande ha cercato di fornire una risposta la ricerca, della quale il presente contributo costituisce un sintetico report.

Questo, si è detto, è quanto è emerso da una indagine empirica sull'assetto funzionale e configurazionale, mirata a verificare di fatto su alcuni significativi casi di studio gli effetti di una disuniforme articolazione delle pendenze dei tronchi viari. Ciò che, invece, resta da fare è verificare la possibilità di importare i dati e le informazioni riguardanti l'altimetria di un insediamento all'interno di una delle tecniche di analisi configurazionale, implementandone i relativi modelli operativi; cosicché sia possibile, di volta in volta e nei singoli casi specifici, determinare gli effetti dell'orografia di una porzione di territorio sulla configurazione della griglia su di esso articolata. Il perfezionamento di un simile modello renderà infine possibile valutare in modo oggettivo, sulla base dei risultati cui la sua utilizzazione dà luogo, la concreta utilità dell'estensione in senso tridimensionale dell'approccio allo studio della griglia.

#### 4 La MaPPA dalle 2 alle 3 dimensioni

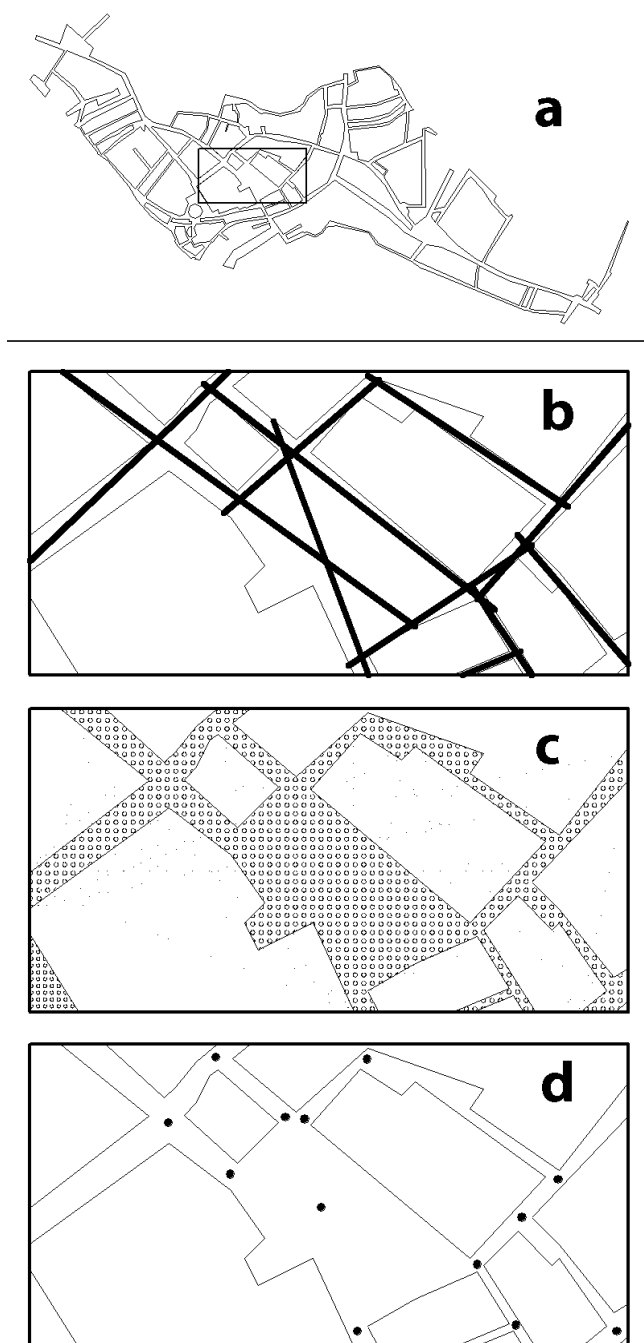
Il metodo di analisi configurazionale denominato *Mark Point Parameter Analysis* è stato introdotto nel 2004 con la finalità di superare alcuni limiti che affliggono le tecniche operative preesistenti, ed in particolare la *Axial Analysis* e la *Visibility Graph Analysis*. Rispetto alla prima, la Ma.P.P.A. mira in particolare a risolvere il problema della scarsa oggettività nella costruzione del sistema, quello della invariabilità del valore dei parametri configurazionali lungo l'intera estensione di una *axial line* (per quanto lunga questa possa essere) e l'insensibilità verso gli spazi aperti della città; rispetto, invece, alla VGA la Ma.P.P.A. cerca di risolvere il problema della assenza di corrispondenza fra gli elementi del sistema (i *vertices*) e gli elementi spaziali della griglia, nonché le difficoltà nella esportazione e nella gestione dei risultati. La *Mark Point Parameter Analysis*, pur affetta da problemi di complessità computazionale, sembra garantire il superamento di queste difficoltà. individuati sulla griglia stessa come rispondenti a alcuni requisiti: punti di intersezione fra assi viari, punti di cambio di direzione dell'asse viario, punti di accesso a piazze, punti posti al centro di piazze, punti di interruzione di assi viari rettilinei (oltre una determinata lunghezza assunta come soglia), punti di cambio di livelletta.

Per evidenziare la differenza fra gli elementi rispettivamente assunti a base del sistema dalla Axial Analysis, dalla Visibility Graph Analysis e dalla Mark Point Parameter Analysis, nella figura 5 tali elementi sono illustrati, in successione, con riferimento alla porzione della griglia urbana di Volterra incentrata sulla piazza dei Priori.

La relazione di sistema fra i *mark points*, assunti come singoli elementi, sarà anche in questo caso la relazione di reciproca intervisibilità. Fra gli altri vantaggi che questo metodo presenta rispetto a quelli più consolidati, è da segnalare la possibilità che esso offre di costruire il sistema da analizzare importandone automaticamente (ed in modo del tutto oggettivo) le caratteristiche da un Sistema Informativo Territoriale esistente, per poi eventualmente riversare sul medesimo SIT i risultati della sua elaborazione, così da rendere disponibili le diverse variabili configurazionali per ulteriori e diverse utilizzazione, oltretutto per la loro rappresentazione tramite GIS.

Sotto il profilo operativo, la griglia da utilizzare per la costruzione del sistema può essere acquisita sia da una rappresentazione raster che da una rappresentazione di natura vettoriale, con rispettivi vantaggi e limiti: una rappresentazione raster è più diffusa e quindi facilmente reperibile, nonché disponibile alle elaborazioni a mezzo della Map Algebra; di converso, una rappresentazione raster presenta limiti di nitidezza dei contorni, inevitabilmente correlati alle dimensioni delle celle quadrate che definiscono l'articolazione dello spazio urbano. Sia che si assuma una base raster (costruendo con il *Digital Elevation Model* ed il *Digital Terrain Model* lo spazio della griglia ed i corpi edilizi), sia che si acquisisca una rappresentazione vettoriale (corredata da due shapefile, uno relativi ai fabbricati ed uno rappresentativo della rete dei

tronchi viari), in ogni caso il primo obiettivo è la costruzione di una matrice di intervisibilità dei *mark points* a mezzo di un modello per il calcolo dei minimi percorsi, utilizzando in particolare l'algoritmo di Floyd.



*Figura 5 – La griglia urbana di Volterra (a) e la individuazione degli elementi del sistema da analizzare mediante Axial Analysis (b), Visibility Graph Analysis (c) e Ma.P.P.A. (d)*

La matrice di intervisibilità consente di trasformare il sistema dei *mark points* in un grafo ad albero, evidenziando, per ogni suo nodo (ogni *mark point*) le profondità rispetto ai rimanenti. A partire dai valori della profondità sarà quindi agevole determinare per ogni singolo *mark point* il valore dell'indice di integrazione, pari alla misura media della profondità rispetto a tutti gli altri *mark points*.

Una caratteristica condivisa da tutte le tecniche di analisi configurazionale fin qui sperimentate (e a comune delle tre qui sommariamente menzionate) è il fatto di assumere come impianto urbano di riferimento nella costruzione del sistema il suo semplice layout planimetrico, tralasciando quindi ogni considerazione ed apprezzamento nei riguardi dell'assetto orografico dell'insediamento. In effetti, una distinzione a tale riguardo appare opportuna. Le tecniche denominate *Axial Analysis* e *Visibility Graph Analysis* risultano di fatto fisiologicamente insensibili rispetto alla altimetria degli elementi spaziali, e quindi inidonee alla considerazione della terza dimensione. La prima si fonda infatti sui rapporti di intersezione fra *lines*, le quali a loro volta sono tracciate sulla base dell'assetto planimetrico della griglia: si tratta cioè di puri segni grafici, di fatto (Cutini, 2010) coincidenti con il tracciato della prospettiva visuale (la *viewshed*), ciò che ne determina una inevitabile indifferenza nei riguardi dell'andamento altimetrico dei percorsi su cui si snodano. La *Visibility Graph Analysis*, a sua volta, si fonda sui rapporti di intervisibilità fra singoli punti appartenenti ad una mesh indifferenziata, che quindi non tiene (né potrebbe, evidentemente) tenere in conto la rispettiva posizione altimetrica. Rispetto a queste due tecniche, la MaPPA contiene invece una caratteristica che la rende virtualmente disponibile ad ipotesi di affinamento mirate a tirare in campo gli aspetti concernenti l'orografia dell'insediamento. Dedotti (o, quanto meno, deducibili) come sono da un Sistema Informativo Territoriale esistente, i *mark points* possono infatti essere forniti, nel loro corredo informativo, anche dei dati relativi alla loro rispettiva collocazione altimetrica. Almeno potenzialmente, pertanto, appare ipotizzabile affidare allo strumento applicativo anche il compito di determinare il valore della pendenza del tronco viario lungo il quale due consecutivi *mark points* “si guardano” e associare tale valore al computo per via topologica della profondità; in altri termini, appare ipotizzabile in linea teorica apprezzare la profondità fra coppie di *mark points* in misura variabile con la pendenza delle rispettive connessioni e quindi, in definitiva, legare alla pendenza dei tronchi viari il valore degli indici configurazionali di ogni singolo *mark point*. La sperimentazione di cui il presente contributo dà conto si riferisce alla verifica di questa potenzialità, all'approntamento di uno strumento operativo finalizzato a concretizzarla ed alla sperimentazione di tale strumento su alcuni casi di studio.

Il tentativo di spingere la tecnica del Ma.P.P.A. sui sentieri della tridimensionalità è stato quindi articolato nelle fasi qui di seguito richiamate in successione. Dapprima è stato costruito un DEM (*Digital Elevation Model*), finalizzato a riprodurre l'andamento morfologico del suolo indipendentemente dalla presenza dei corpi edilizi, e sua trasformazione in dato raster,

costituito da celle di dimensione corrispondente a quadrati di 50 centimetri di lato, ciò che garantisce un dettaglio largamente sufficiente ai nostri scopi. Su tale base è stato quindi costruito il DTM (*Digital Terrain Model*), risultato dell'implementazione del DEM con i dati riguardanti gli elementi di natura antropica, ed in particolare i corpi edilizi. Ciascuno di questi verrà corredato da informazioni di natura spaziale (relative alla morfologia ed alla collocazione planimetrica nel contesto insediativo) e da informazioni numeriche corrispondenti alla rispettiva quota orografica sul livello del mare. La fase successiva è la costruzione della *slope*, ovvero della carta planimetrica rappresentativa dell'andamento delle pendenze, qui riportata in figura 9; per una immediata percezione dell'andamento orografico del suolo è utile rappresentare le pendenze mediante variazioni cromatiche, variabili dai colori freddi del verde e dell'azzurro (per l'andamento pianeggiante) ai colori caldi dell'arancio e del rosso (per gli ambiti particolarmente ripidi). Sulla base della *slope*, si procede quindi alla costruzione ed all'analisi dei profili longitudinali, mirata a determinare le condizioni di effettiva visibilità dei *mark points* adiacenti (lungo uno degli *shortest paths*) da parte di ciascuno dei punti selezionati; questa ulteriore fase rende pertanto necessario integrare il complesso dei *mark points* precedentemente selezionati (in base ai criteri consueti e qui in precedenza enumerati) con altri punti singolari, il cui inserimento in posizione intermedia fra due *mark points* preesistenti è imposto da esigenze di intervisibilità fra di essi, a causa di ostacoli di natura orografica lungo percorsi liberi dalla presenza di frapposizione di corpi edilizi. Tale inserimento è previsto da effettuarsi mediante la traslazione dei singoli *mark points* sul *Digital Elevation Model*. È necessario precisare che proprio la costruzione dei profili longitudinali rende possibile modificare di fatto l'impedenza spaziale di percorsi ripidi, tramite l'assunzione di un punto di vista dell'osservatore ad un'altezza dal terreno di 150 cm e di un andamento perfettamente orizzontale della sua visuale prospettica: qualora tale visuale non giunga, a causa della pendenza dell'arco di connessione, ad intercettare il successivo *mark point*, l'inserimento di un ulteriore punto singolare si rende necessaria, incrementando quindi il valore della profondità topologica fra i due punti.

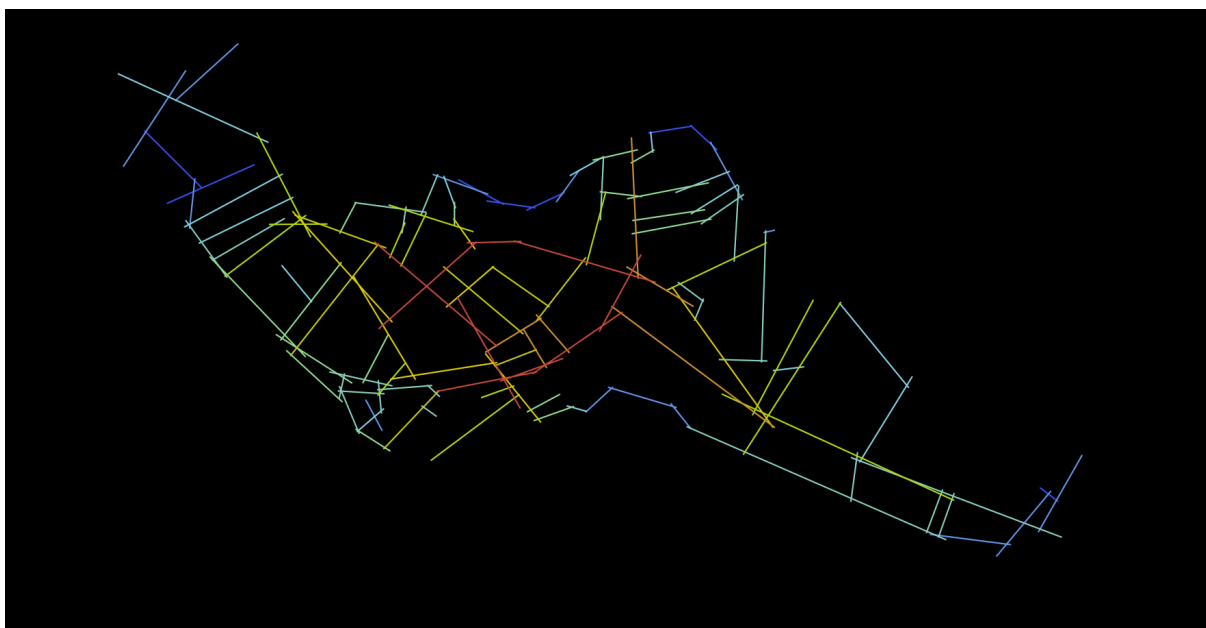
Su queste basi, sarà quindi possibile effettuare nuovamente, in modo analogo a come precedentemente effettuato con il Ma.P.P.A. originario, la elaborazione del modello al fine di determinare la matrice delle profondità fra tutte le possibili coppie di *mark points*, tanto da ricavare, come risultato finale, l'indice di integrazione (o profondità media) di ciascuno di essi.

Naturalmente, la parte conclusiva dello studio consisterà nella comparazione dei risultati di questa applicazione sperimentale con gli analoghi risultati precedentemente ottenuti a mezzo, rispettivamente, di analisi configurazionale e di Ma.P.P.A.. Saremo quindi in grado di valutare i concreti vantaggi che l'utilizzazione della nuova tecnica operativa è in grado di fornire, e quindi in quale misura l'affinamento delle tecniche preesistenti possa dirsi effettivamente migliorativo rispetto agli strumenti di analisi configurazionale oggi disponibili;

ancor più in generale, potremo valutare l'effettiva utilità che un simile affinamento offre alla concreta attività di analisi e di supporto alla pianificazione.

## 5 Il caso di studio

La ricerca è stata condotta applicando il metodo precedentemente, sia pure in modo sommario, illustrato al caso di studio di Volterra, già ben noto per essere stato da anni uno dei campi di esperienza e sperimentazione per la verifica della attendibilità e della affidabilità delle diverse tecniche operative di analisi configurazionale. Oltre a ciò ed alla conseguente ricca disponibilità di dati e informazioni, a suggerirne l'individuazione come caso di studio ha concorso la natura fortemente acclive del sito di Volterra, caratterizzato anche all'interno dell'aggregato urbano da percorsi e spazi assai accidentati sotto il profilo orografico, così da presentarsi particolarmente indicato, quasi paradigmatico, per la sperimentazione di una tecnica come quella qui in attenzione. La griglia urbana corrispondente al centro storico di Volterra è stata quindi resa oggetto di analisi configurazionale mediante, rispettivamente, *Axial Analysis*, *Mark Point Parameter Analysis* e *3D Mark Point Parameter Analysis*, così da ottenere per ciascuno dei tre casi la distribuzione dell'indice di integrazione negli elementi spaziali della griglia. Successivamente, è stata rilevata e censita la presenza delle attività economiche lungo i corrispondenti tronchi viari, così da consentire l'effettuazione di una analisi della correlazione della loro densità lineare con ciascuna delle tre distribuzioni dell'indice di integrazione precedentemente ottenute.



*Figura 6 – Distribuzione dell'indice di integrazione sulle axial lines della griglia corrispondente al centro storico di Volterra*

Nelle figure 6, 7, 8 e 9 è qui rappresentata a mezzo di variazioni cromatiche la distribuzione dell'indice di integrazione nella griglia corrispondente al centro storico di Volterra, così come questa è stata ottenuta, rispettivamente, tramite l'uso della *Axial Analysis*, della *Visibility Graph Analysis*, della *Mark Point Parameter Analysis* e della *3D Mark Point Parameter Analysis*.



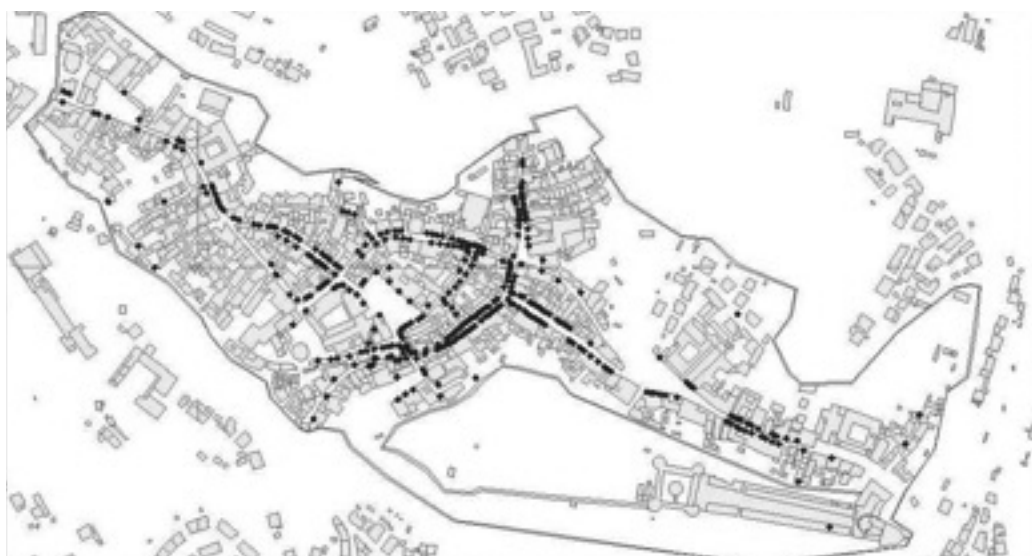
*Figura 7 – Distribuzione dell'indice di integrazione sui vertices del visibility graph corrispondente al centro storico di Volterra*



*Figura 8 – Distribuzione dell'indice di integrazione sui mark points della griglia corrispondente al centro storico di Volterra*



*Figura 9 – Distribuzione dell'indice di integrazione sui 3D mark points della griglia corrispondente al centro storico di Volterra*



*Figura 10 – Distribuzione delle attività economiche lungo i tronchi viari del centro storico di Volterra*

Un grossolano confronto visivo delle distribuzioni rappresentate nelle figure 6, 7, 8 e 9 consente di riconoscere, qualitativamente, una sostanziale analogia nell'andamento dell'indice di integrazione risultante dall'applicazione delle tre diverse tecniche di analisi. Per una valutazione più oggettiva, supportata da dati quantitativi, è stata analizzata la corrispondenza di ciascuno di tali andamenti con la densità di attività, avendo assunto come sua unità di

misura il numero di occupati presenti su una estensione lineare del tronco viario della misura di 25 m. Una rappresentazione planimetrica della distribuzione di attività all'interno del centro storico di Volterra è qui riportata in figura 9. Unica difficoltà aggiuntiva è stata quella relativa all'esigenza, per ragioni di omogeneità, di associare i valori delle densità di attività (espressi in occupati per unità di lunghezza del tronco viario) ai singoli mark points, ciò che è stato fatto a mezzo di una analisi di densità di tipo Kernel Density-KDE.

I grafici rappresentativi di tali correlazioni sono qui riportati nella tabella di figura 10. Come si vede, tutte e tre le correlazioni sono caratterizzate da un andamento più che lineare, e in ogni caso sono corredate da un significativo valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ . Tuttavia, è necessario precisare che tale coefficiente  $R^2$ , pari a 0,515 nel caso della Axial Analysis, sale a 0,618 nel caso della Ma.P.P.A. e a 0,622 nel caso della Ma.P.P.A. tridimensionale. Si consideri che tali valori sono stati ottenuti operando una analisi di correlazione sulla complessiva entità degli elementi spaziali, ovvero senza raggrupparli in sottogruppi: questa procedura non consente di depurare dall'analisi della correlazione i tanti singoli elementi che, per specifiche ragioni locali e contingenti, manifestano una presenza di attività non corrispondente con il rispettivo livello di integrazione. Sulla base di questa considerazione, è indiscutibile che tutti e tre i risultati ottenuti (e segnatamente gli ultimi due, ottenuti con il Ma.P.P.A.) siano da considerarsi una attestazione di assai significativa corrispondenza fra configurazione e centralità.

metodo di analisi	coefficiente di determinazione $R^2$
<i>Axial Analysis</i>	0,515
<i>Mark Point Parameter Analysis</i>	0,618
<i>3D Mark Point Parameter Analysis</i>	0,622

*Figura 10 – Tiepilogo dei risultati dell'analisi della correlazione fra indice di integrazione e densità di attività nel centro storico di Volterra*

## **6 Discussione dei risultati e conclusioni**

Non si può negare che l'applicazione del metodo al caso di studio di Volterra, qui sopra brevemente presentato, abbia fornito risultati che solo in misura limitata appaiono migliorativi rispetto a quelli ottenibili a mezzo delle tecniche di analisi configurazionale già esistenti e che quindi le prospettive più ottimistiche di un tangibile avanzamento nella tecnica di analisi configurazionale siano sotto certi aspetti rimaste disattese. Tuttavia, a tale riguardo alcune considerazioni appaiono doverose.

In primo luogo, va osservato che già gli esiti della applicazione della *Axial Analysis* (Bortoli, Cutini, 2001) e della Ma.P.P.A. erano già talmente confortanti da costituire uno straordinario certificato di attendibilità delle due tecniche, ed una dimostrazione delle potenzialità dell'approccio configurazionale tout court. Entrambe tali sperimentazioni, infatti, avevano attestato l'esistenza di uno strettissimo rapporto di correlazione fra la configurazione della griglia (nella veste dell'andamento dell'indice di integrazione) risultante dall'analisi configurazionale e l'andamento della centralità urbana (espressa dalla densità delle attività economiche effettivamente presenti al suo interno). Era, pertanto, davvero difficile attendersi un miglioramento di risultati già tanto eclatanti, che peraltro sarebbe stato poco significativo. Né, d'altra parte, è realistico sostenere che l'innalzamento del valore del coefficiente di determinazione  $R^2$  di alcuni punti decimali costituisca di fatto un miglioramento tale da giustificare i più elevati oneri computazionali che una tecnica così affinata inevitabilmente comporta, tanto da legittimare l'affermazione del superamento delle tecniche esistenti o addirittura suggerirne l'abbandono.

In secondo luogo, pare anche opportuno osservare che la bontà di un metodo, di una tecnica operativa o di un modello di simulazione (ed il suo avanzamento rispetto ad altre preesistenti) non si esaurisce nella sua sola capacità di fornire risultati che approssimino di qualche punto percentuale la consistenza effettiva dei luoghi: altri aspetti (il rigore logico e la comprensibilità concettuale, ad esempio, l'oggettività e la facilità nell'uso) vanno tenuti in considerazione accanto ad essa.

Ma, a parte queste premesse, ad una più serena valutazione va riconosciuto che le domande poste all'origine della presente sperimentazione, qui in precedenza enumerate in successione al paragrafo 3, trovano in effetti nei risultati della ricerca una risposta chiara e di non trascurabile interesse; tanto che tali risposte, di per se stesse, ne costituiscono l'esito più significativo e appagante.

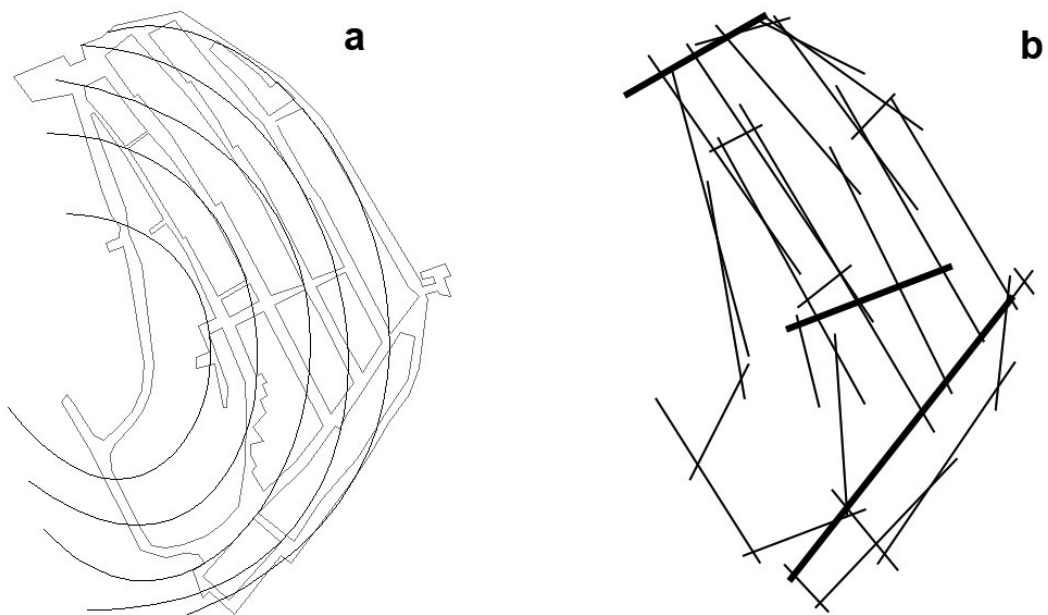
Anzitutto, si è resa concreta, mediante la costruzione di uno specifico metodo, il Ma.P.P.A. tridimensionale, la possibilità di apprezzare, nell'analisi configurazionale di una griglia, anche la dimensione altimetrica dei suoi percorsi; e di farlo in modo oggettivo e operativamente spedito, importandone i dati da un Sistema Informativo Territoriale esistente. In secondo luogo, abbiamo visto che i risultati della elaborazione della griglia, qualora si tenga in considerazione anche l'andamento altimetrico, mostrano una percettibile variazione rispetto a quelli forniti da tecniche di analisi configurazionale puramente planimetriche; anche se la misura di queste variazioni appare certamente contenuta, tanto da alterare gli indici configurazionali di un limitato numero di elementi spaziali e da non recare sostanziali mutazioni all'andamento qualitativo generale dell'indice di integrazione. In terzo luogo, il guadagno in termini di concreta utilità dello strumento appare effettivamente modesto, forse addirittura tanto da non giustificare le complicazioni operative e computazionali che questo inevitabilmente presenta rispetto alle versioni precedenti.

Ciò detto, alla luce dei risultati di queste sperimentazioni pare opportuno piuttosto ampliare la discussione, e chiedersi quale sia in effetti il peso dell'andamento orografico nella determinazione dell'assetto configurazionale di una griglia urbana, e quindi, in definitiva e più in generale, quale sia il ruolo della altimetria nella geografia della centralità di un insediamento.

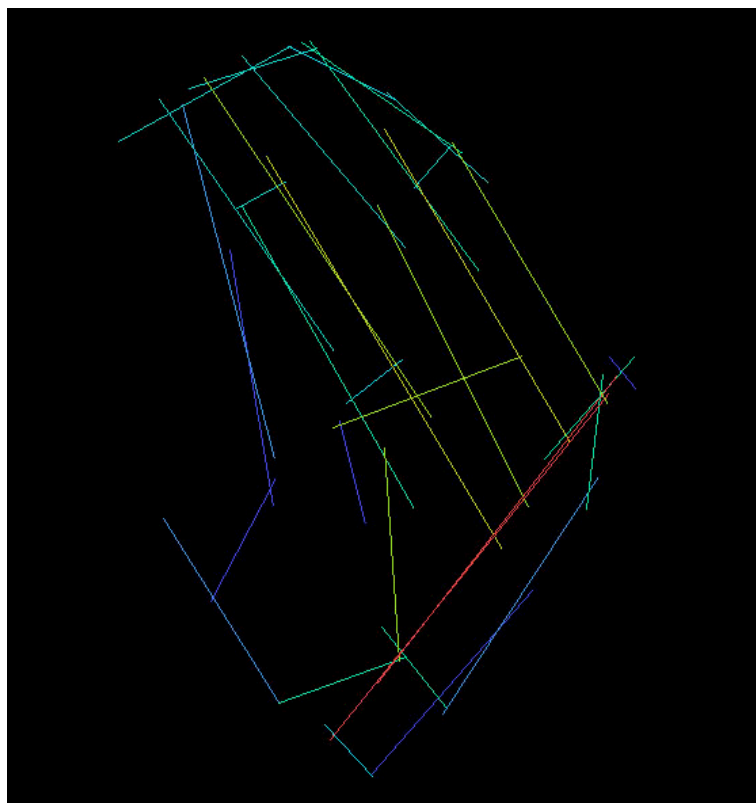
Al fine di indagare in modo empirico l'effettiva rilevanza della pendenza dei tracciati sull'assetto configurazionale della griglia e sulla distribuzione della attrattività al suo interno, nel recente passato sono state condotte sperimentazioni su diversi casi di studio, corrispondenti ad insediamenti (fra loro assai diversi per morfologia, dimensioni e genesi insediativa) disposti su terreni fortemente acclive. I risultati di queste sperimentazioni sono stati al riguardo sorprendenti: è stato cioè mostrato (Cutini, 2007) che in effetti l'orografia è da considerarsi una variabile incisiva, in quanto ha effetti sulla geografia interna dell'insediamento, ma che tali effetti non corrispondono affatto, come atteso a prima vista, nell'effetto dissuasivo a percorrere i tracciati più inclinati e quindi nella loro penalizzazione come possibile (ed effettiva) sede di attività: piuttosto, l'orografia appare influenzare l'organizzazione del tessuto edificato, e quindi, di conseguenza, l'assetto configurazionale della sua griglia.

Tale effetto può addirittura condurre (come nei casi esaminati di fatto conduce) a far 'sì che proprio i tracciati più scoscesi siano, inaspettatamente, quelli più integrati, e quindi quelli maggiormente interessati dal movimento e dalla localizzazione di attività; al contrario, in forza di tale organizzazione, i tracciati pianeggianti possono risultare quelli configurazionalmente meno integrati, e quindi meno attrattivi.

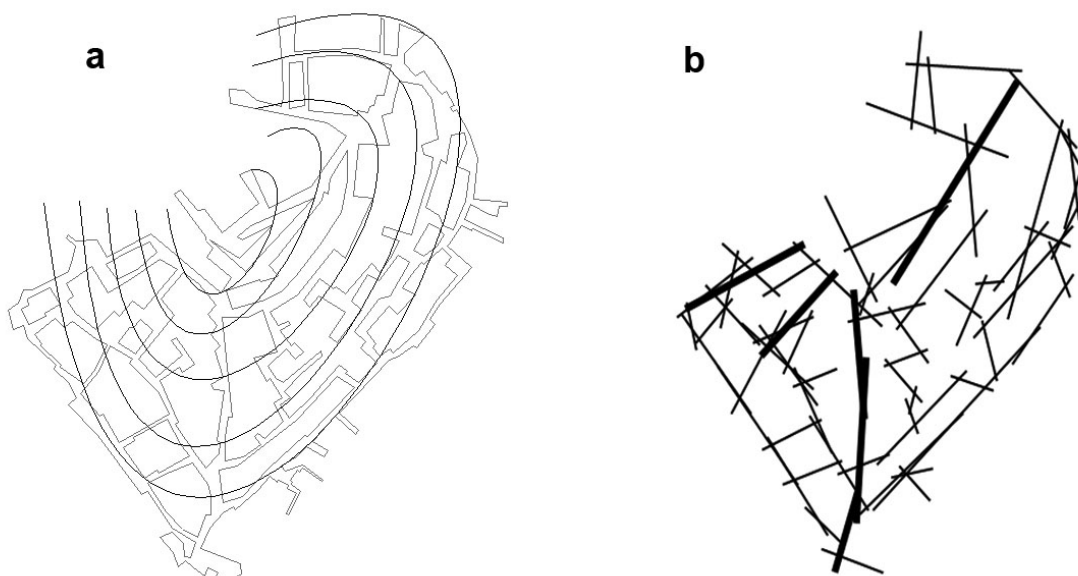
In tutti i casi urbani assunti ad oggetto di analisi, osserviamo infatti che la struttura dell'edificato è articolata in accordo alla disposizione delle curve di livello, e che il percorso di spina dell'insediamento, connessione fra i suoi punti di accesso dall'esterno, posti al piede dell'altura, e la sua sommità (spesso sede delle presenze edilizie più rilevanti, come il castello o la cattedrale), percorre i fianchi del declivio secondo la linea di massima pendenza, intersecando contestualmente le curve di livello e la gran parte dei tronchi viari dell'insediamento. È questa caratteristica strutturale e morfologica a far 'sì che, nei casi esaminati, il tronco viario più ripido risulti anche corrispondere alla *axial line* più integrata, nonché, sotto il profilo funzionale, al percorso più appetibile per la localizzazione delle attività. In questo senso, le caratteristiche orografiche possono riconoscersi di fatto interiorizzate nelle variabili che rappresentano lo stato configurazionale del sistema insediativo, al pari degli altri connotati di natura geometrica e morfologica (Hillier, 1999; Hillier, Penn, 2004). Tutto ciò appare evidenziato con chiarezza paradigmatica negli esempi rappresentati dai due casi di studio di Castiglione della Pescaia e di Manciano.



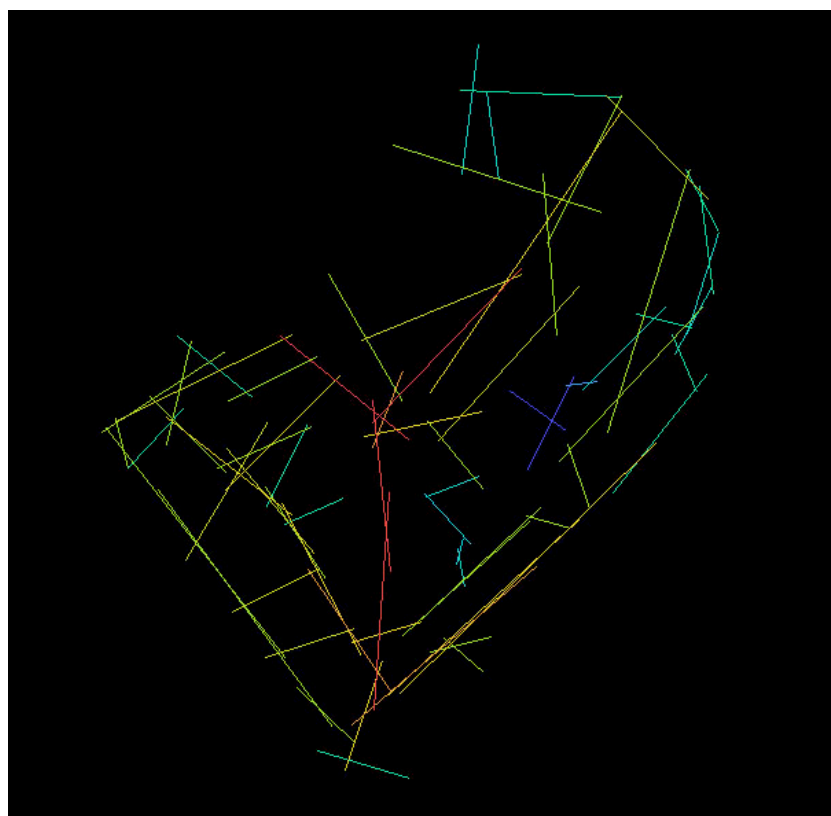
*Figura 11 - Rappresentazione in pianta dell'andamento altimetrico della griglia urbana relativa al centro storico di Castiglione della Pescaia (a) con indicazione delle lines corrispondenti ai percorsi più ripidi (con pendenza superiore al 12%) (b)*



*Figura 12 - Rappresentazione cromatica della distribuzione dell'indice di integrazione sulle lines della axial map relativa al centro storico di Castiglione della Pescaia*



*Figura 13 - Rappresentazione in pianta dell'andamento altimetrico della griglia urbana relativa al centro storico di Manciano (a) con indicazione delle lines corrispondenti ai percorsi più ripidi (con pendenza superiore al 12%) (b)*



*Figura 14 - Rappresentazione cromatica della distribuzione dell'indice di integrazione sulle lines della axial map relativa al centro storico di Manciano*

Per il primo dei due insediamenti, nelle figure 11 e 12 sono infatti riportate, rispettivamente, la rappresentazione in pianta dell'andamento altimetrico della griglia urbana, con la rappresentazione delle *lines* corrispondenti ai percorsi più ripidi (avente pendenza superiore al 12%) e la rappresentazione cromatica della distribuzione dell'indice di integrazione (in rosso le *lines* più integrate, con i colori freddi dell'azzurro e del violetto le *lines* più segregate) sulla corrispondente *axial map*. Nelle figure 13 e 14, per maggiore chiarezza, si riportano le medesime rappresentazioni relative all'altrettanto paradigmatico caso urbano di Manciano.

In definitiva, le conclusioni di questa disamina possono essere riepilogate nelle tre considerazioni che seguono, presentate in ordine decrescente di ovvietà e di prevedibilità.

Per prima cosa, è stato illustrato e comprovato che l'assetto configurazionale e quello morfologico sono fra loro strettamente correlati, nel senso che la specifica modalità con cui i corpi edilizi sono singolarmente disposti e aggregati all'interno dell'insediamento e la specifica articolazione dei percorsi per il loro reciproco collegamento influenzano in modo determinante la configurazione della griglia urbana, così come questa si sostanzia nel complesso degli indici configurazionali. Sotto tale riguardo appare indiscutibile il ruolo specifico della consistenza orografica del suolo, che, suggerendo ricorrenti e tipiche soluzioni morfologiche e strutturali, determina altrettanto tipici e ricorrenti assetti configurazionali; e, a sua volta, l'assetto configurazionale determina, lo si è visto più volte, effetti ricorrenti nella distribuzione degli usi del suolo e nell'andamento della centralità.

In secondo luogo, l'andamento orografico ha indubbiamente un rilievo non trascurabile nella determinazione della configurazione spaziale: non tanto nel senso, atteso, di una decisiva correlazione fra la pendenza dei percorsi e la loro impedenza spaziale, ma in quello, non previsto in origine, di una sua influenza sull'organizzazione dello spazio urbano e, pertanto, sulla configurazione della griglia. Ciò che in alcuni casi comporta l'esito sorprendente che proprio i percorsi più ripidi risultano essere i più integrati (e quindi più attrattivi per le attività), mentre quelli pianeggianti rimangono fra i più segregati.

In terzo luogo, non solo l'analisi configurazionale, tramite l'indice di integrazione, è in grado di riprodurre la geografia interna di un insediamento con riferimento alla distribuzione delle attività; ma appare anche in grado di descrivere, in modo inevitabilmente approssimativo e pur tuttavia costante, il modo in cui un insediamento urbano si adatta alle specifiche condizioni del luogo, ovvero il modo in cui la sua organizzazione spaziale è resa di fatto concretamente possibile nel locale, specifico contesto geografico.

## **7 Bibliografia**

Bortoli M., Cutini V. (2001) *Centralità e uso del suolo urbano. L'analisi configurazionale del centro storico di Volterra*. Pisa: ETS.

- Cutini, V. (2001) Centrality and Land Use: Three Case Studies on the Configurational Hypothesis, *Cybergeo, Revue Européenne de Géographie*, n° 188, 26 mars 2001.
- Cutini V. (2008) Grilling the grid: a non-ultimate (nor objective) report on the configurational approach to urban phenomena. In: Albeverio S., Andrey D., Giordano P. Vancheri A. (eds.) *The dynamics of complex urban systems – An interdisciplinary approach*, Heidelberg: Physica-Verlag, pp. 163-184.
- Cutini (2010) *La rivincita dello spazio urbano. L'approccio configurazionale all'analisi e allo studio dei centri abitati*. Pisa, PLUS Pisa University Press.
- Cutini V., Petri M., Santucci A. (2004) From axial maps to Mark Point Parameter Analysis (Ma.P.P.A.). A G.I.S. implemented method to automate configurational analysis. In: AA.VV., *Computational Science and its Applications – ICCSA 2004 – Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3044, pp. 1107-1116.
- Hillier B. (1996) *Space is the Machine*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier B. (1999) Why Space Syntax Works, When It Looks as It Should Not, *Environment and Planning B, Planning and Design*, n.26, pp. 47-68.
- Hillier B., Hanson J. (1984) *The Social Logic of Space*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier B., Penn A. (2004) Rejoinder to Carlo Ratti, *Environment and Planning B, Planning and Design*, vol. 31, pp. 501-511.
- Ratti C. (2004) Space Syntax: some inconsistencies, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 31, pp. 487-499.
- Turner A. (2000) *Angular Analysis: a method for the quantification of space*, CASA (Centre for Advanced Spatial Analysis) Working Paper Series, Paper 23, University College of London, London.
- Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D., Penn, A. (2001) From Isovists to Visibility Graphs: A Methodology for the Analysis of Architectural Space, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 28, pp. 103-121.