

# Modellizzazione geometrica nella narrazione delle aree metropolitane: un punto di vista sulle dinamiche attrattive

Amedeo Ganciu

## Abstract

*Le nuove geografie urbane sono caratterizzate da una elevata varietà di attività e funzioni che interagiscono tra loro con diverse complessità, creando organizzazioni spaziali policentriche, gerarchiche e asimmetriche. Le nuove geografie urbane, fatte di relazioni obbligate, obbligano un ripensamento radicale del mappare, più rivolto all'esplorazione di nuove realtà immateriali e svincolato dalla necessità della correttezza cartografica; un atto volontario fatto di scelte, omissioni, aggiunte. Cercando e sperimentando nuove modalità rappresentative della complessità metropolitana, in particolare della forza attrattiva delle città si è giunti a una modellizzazione di superfici geometriche tridimensionali capaci di descrivere il fenomeno con maggiore enfasi e capacità comunicativa. L'analisi è svolta adottando un punto di vista dall'alto: bird's eye, il quale, se pure tende a generalizzare semplificando la complessità di un sistema territoriale, consente di osservarne e comprenderne globalmente le caratteristiche. La modellizzazione geometrica del fenomeno attrattivo è il risultato di una complessa procedura algoritmica grafico-analitica basata su una ibridazione tra la teoria dei grafi e sofisticate metodologie di spatial analysis. Il risultato ottenuto è una superficie geometrica tridimensionale di estensione pari all'area di analisi, la cui morfologia di ispirazione einsteiniana si deforma in funzione della forza di gravità esercitata dalla metropoli. I casi studio sono due Regioni con al loro interno le principali aree metropolitane italiane: Roma e Milano.*

*Parole chiave: mappe, cartografia, visualizzazione dati, fenomeni urbani, aree metropolitane.*

## Introduzione: punti di vista sull'evoluzione del mappare

L'evoluzione del 'mappare', dalle origini alla contemporaneità, è sempre stata caratterizzata dalla costante necessità di connettere la realtà e la sua rappresentazione, indipendentemente dalle condizioni del contesto storico, economico e sociale in cui questa attività è eseguita [Cosgrove 1999; Salerno 2021]. Concettualmente la mappa è un modello nella sua accezione più formale, ossia un artefatto progettato e utilizzato per sostituire la realtà con una sua rappresentazione meno complessa, sia essa fisica o astratta, per consentire misurazioni o azioni di diverso genere impossibili da eseguire nella realtà, mettendo in evidenza gli elementi che soggettivamente si ritiene essere i più importanti in relazione a un determinato scopo. Questa definizione consente di esplicitare due questioni fondamentali

e consequenziali riguardo le operazioni di mappatura. La prima è l'imprescindibile soggettività nello scegliere cosa è importante in funzione dello scopo e del modo in cui l'osservatore decide di esaminare la realtà, ossia il suo punto di vista sull' 'oggetto' che sta studiando e rappresentando. La seconda deriva dalla prima, ed è tanto semplice quanto fondamentale: la mappa non è la realtà ma una sua interpretazione, più o meno sofisticata, più o meno corretta, e alle volte paradossalmente anche fuorviante o disonesta [Bergamo 2021; Moretti 2021].

Il progresso tecnologico che ha interessato particolarmente le discipline tecnico-scientifiche ha inevitabilmente agito da elemento catalizzatore nell'evoluzione delle scienze cartografiche, relativamente alle tecniche di rilievo, alla

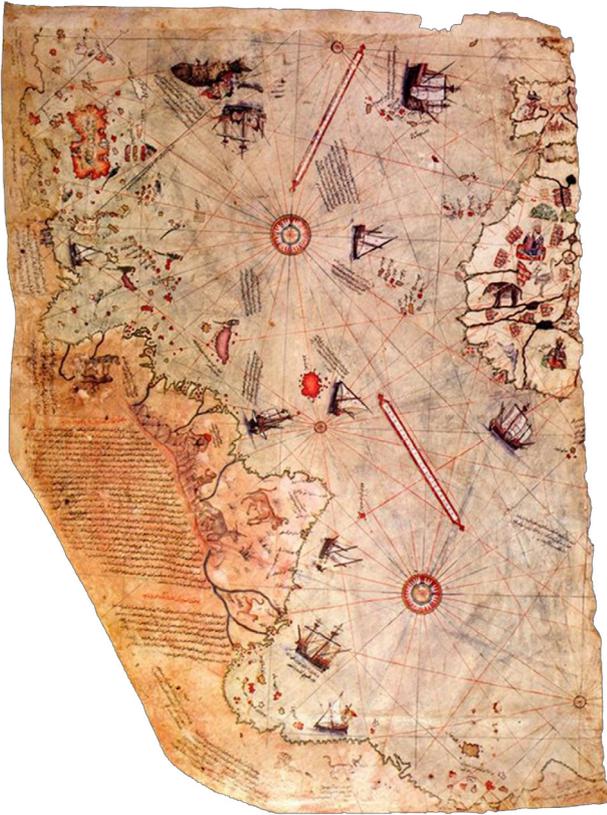


Fig. 1. Frammento della mappa realizzata dall'ammiraglio Ahmed Muhiddin Piri nel 1511 e ritrovata dal teologo Gustav Adolf Deissman nel 1929 presso la biblioteca del Palazzo di Topkapı a Istanbul dove è attualmente custodita.

catalogazione e rappresentazione, alle finalità, all'oggetto stesso della realtà modellizzata attraverso il mezzo cartografico [Llopis Verdú et al. 2019]. Si è passati da modalità di accumulo del dato geografico per conoscenza diretta e dalla loro successiva elaborazione all'interno dei portolani fin dal XV secolo [Lepore et al. 2017; Palestini 2021; Piscitelli 2011] (fig. 1), ai contemporanei mezzi per l'acquisizione massiva e indiretta e per la gestione interattiva di dati attraverso tecnologie di *remote sensing* satellitari [Buchhorn et al. 2020] (fig. 2).

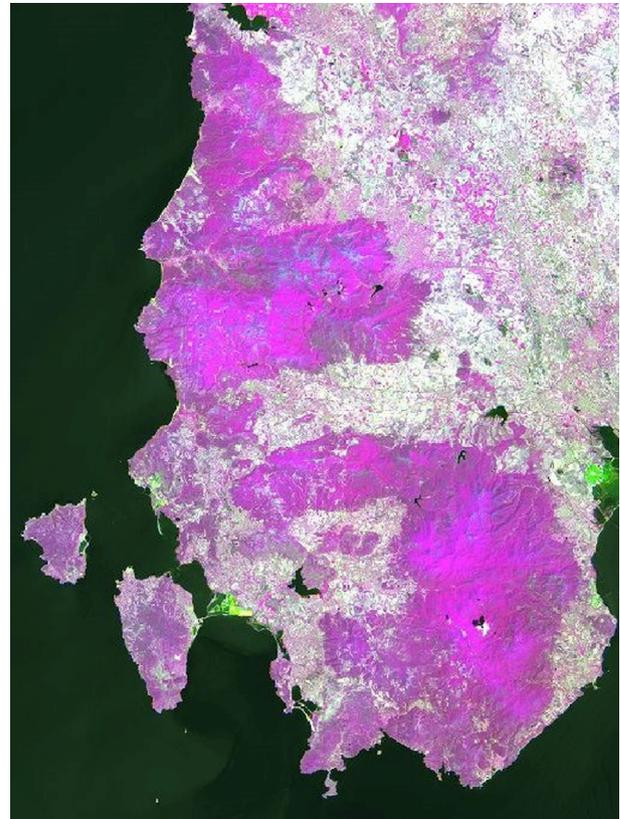


Fig. 2. Mappa da elaborazione multispettrale da acquisizione satellitare Sentinel2, nel particolare la costa sud-occidentale della Sardegna con evidenziato in colore magenta le aree vegetate tramite algoritmo NDVI (elaborazione grafica dell'autore).

Uguualmente, anche dal punto di vista delle finalità, l'evoluzione del mezzo cartografico mostra un elevato dinamismo: dagli scopi militari e difensivi delle cartografie tridimensionali francesi del XVIII sec. realizzate attraverso la tecnica del 'Plans-Reliefs' [Salerno 2019], alle finalità politiche e di rappresentazione della 'Civitas' piuttosto che alla 'Urbs' nella pianta di Roma realizzata da Nolli a metà del XVIII sec. utilizzando per la restituzione grafica la tecnica 'à poché' [Colonnese 2021] (fig. 3), agli scopi strategico-commerciali e di *softpower* della politica economica europea

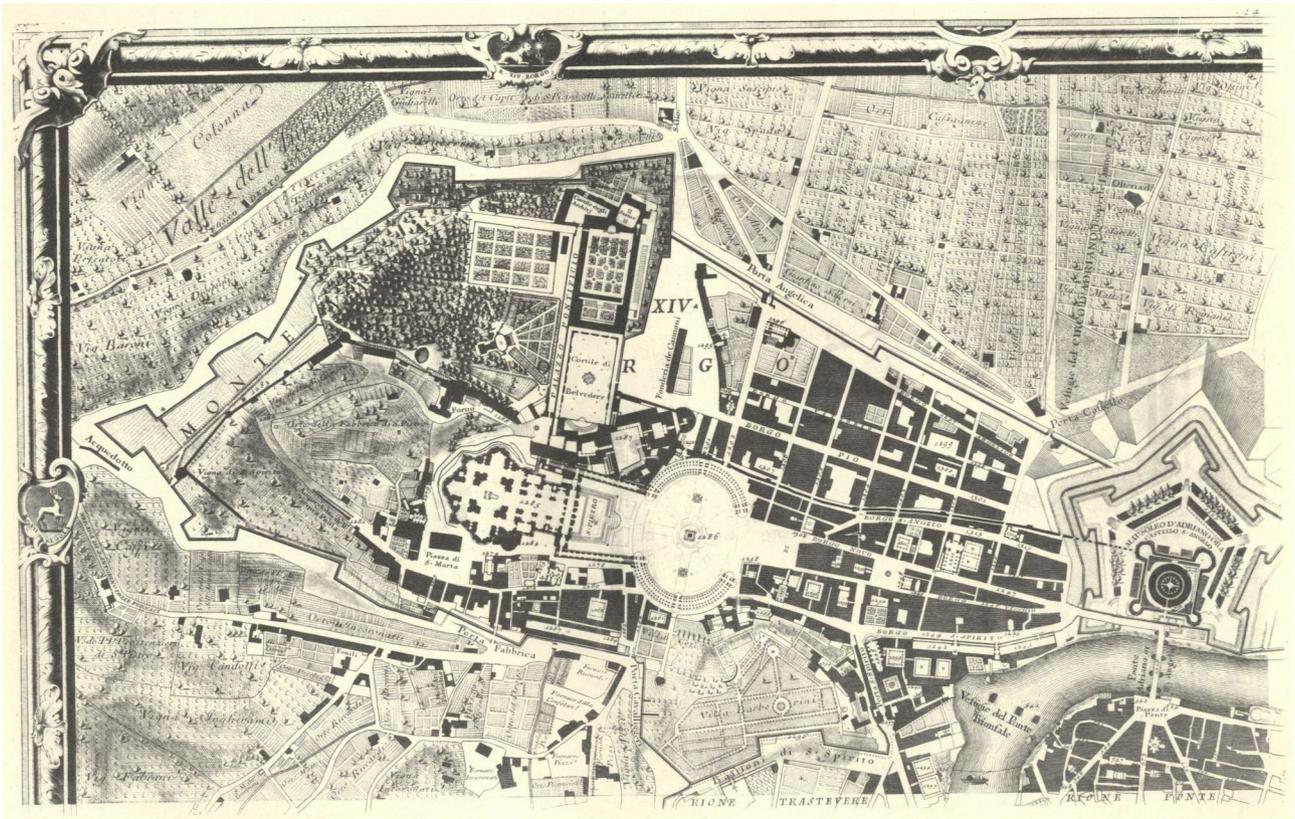


Fig. 3. Particolare della Pianta di Roma realizzata da Giovanni Battista Nelli nel 1748, particolare zona Vaticano. Risorsa disponibile online: <<https://geoportale.cittametropolitanaoma.it/cartografia-storica/20/39/roma-nel-1748-9>> (consultato il 23 maggio 2023).

su scala globale di COPERNICUS [Zeil et al. 2017], a un indirizzo squisitamente artistico come nel progetto 'Maps' realizzato dalla graphic designer americana Paula Scher in cui la metrica convenzionale cede il primato d'importanza al contenuto e alla sua forma comunicativa [Palomba, Scandurra 2021].

Da quando nei primi anni '60 del secolo passato il geografo Roger Tomlinson creò il primo sistema GIS, conosciuto come il *Canadian Geographic Information System* (CCIS), l'informatizzazione del dato geografico si è rapidamente

diffusa ed evoluta in termini di capacità e complessità di analisi [March, Scarletto 2017]. Lo sviluppo di nuove 'realità' parallele al nostro vissuto all'interno del cyberspazio, la crescente possibilità di accesso ai big data [Llopis Verdú, et al., 2019] e la possibilità di studiare i sistemi dinamici complessi attraverso algoritmi e reti di calcolatori, hanno modificato radicalmente il punto di vista sull'oggetto da rappresentare; non più spazi fisici ma spazi virtuali sempre più estesi e interattivi caratterizzati da livelli relazionali economici e sociali crescenti [Bergamo 2021]. In questa dire-

zione, per assecondare la crescente necessità informativa correlata alla crescente complessità evolutiva territoriale, lo strumento cartografico si è evoluto verso forme digitali, dinamiche [Bergamo 2021; Salerno 2021] e dematerializzate [Valese, Natta 2021] capaci di 'catturare' e rappresentare anche l'informazione immateriale attraverso l'uso di codici visuali infografici rivolti ad ogni tipo di utente [Zerlenga 2008] basate sulla combinazione mappa-diagramma [Llopis Verdú et al. 2019] a elevata densità informativa ma tuttavia capaci di far emergere le peculiarità del territorio.

### Punti di vista sulla rappresentazione delle aree metropolitane

La questione metropolitana si riferisce al consolidamento di un'interdipendenza asimmetrica tra comuni contigui, dove l'asimmetria è data dalla presenza di un comune più grande degli altri la cui forza di attrazione struttura il territorio circostante [Calafati 2013]. L'elemento che caratterizza tutti i maggiori agglomerati urbani e in particolare le mega-città [Blackburn et al. 2019], ossia quelle con una popolazione superiore ai dieci milioni di abitanti, è la loro crescente capacità attrattiva rivolta verso persone, merci ed energia [Wu et al. 2014; Batty 2011]. La discrezionalità della scelta del punto di vista ha prodotto nel tempo numerosi esempi sul piano analitico e rappresentativo delle aree metropolitane. Sul piano analitico, per lo studio dei flussi intra e inter-metropolitano esistono diverse metodologie in letteratura, principalmente derivate dalle scienze ecologiche ed economiche [Sen, Smith 2012; Fujita, Thisse 2013; Haynes, Fotheringham 2020]. Alcuni autori si sono concentrati nel definire il grado di policentricità tra i diversi nuclei urbani appartenenti alla medesima area metropolitana attraverso l'applicazione di modelli gravitazionali [De Goei et al. 2010; Van Oort et al. 2010], altri si sono concentrati nello studio delle relazioni tra il centro e il territorio circostante [Burger, Meijers 2012]. In questa direzione si sono sviluppati e utilizzati diversi indicatori di centralità per la definizione dei sub-centri all'interno della costellazione metropolitana [Vasanen 2012; Veneri 2010; Veneri 2013; Roca Cladera et al. 2009; Krehl 2018; Limtanakool et al. 2007]. Tuttavia, la complessità di questi modelli è spesso talmente elevata da rendere le rappresentazioni dei loro risultati inaccessibili se l'utilizzatore è privo delle adeguate conoscenze teoriche o più generalmente non possiede un adeguato livello di *graphicacy* [Cicalò 2020]. In questa

direzione, è orientato il lavoro di Craig Taylor come *Senior Data Visualisation Design Manager* di "mapzilla" [1]. Le sue elaborazioni, se pure basate su una solida base metodologica e analitica, sono maggiormente orientate allo sviluppo di infografiche capaci di filtrare e rappresentare con maggiore impatto e comprensione la complessità territoriale e l'organizzazione dei sistemi metropolitani sotto diversi punti di vista. Per esempio, nello studio dell'accessibilità territoriale metropolitana, la visualizzazione dei tempi di percorrenza tra il centro geografico della metropoli e le aree periferiche è mappato attraverso dei 'reticoli coralliferi', il cui spessore è direttamente proporzionale al livello di accessibilità (fig. 4). Considerata l'immaterialità dello spazio dei flussi del nuovo secolo [Castells 2000] appare ugualmente significativa la ricerca condotta dal *Senseable City Lab* del MIT di Boston [2], in particolare sul progetto denominato *Wanderlust*, orientata alla descrizione quantitativa della mobilità delle persone, in particolare verso luoghi attrattivi, attraverso una loro rappresentazione in forma spettrale spaziale e temporale [Salerno 2021] (fig. 5). Le precedenti ricerche sono state possibili grazie all'esplosivo sviluppo tecnologico e ai *big data*, che stanno agendo da elemento catalizzatore per l'evoluzione degli artefatti grafici verso *workflow* basati su software e algoritmi per la costruzione di nuovi paesaggi aumentati, necessari per sondare la complessità del non-umano per comprenderne e governarne le dinamiche [Bergamo 2021]. In questa direzione, è possibile individuare in letteratura diverse ricerche che concettualizzano l'area metropolitana in forma di *network* per poi essere studiata attraverso la teoria dei grafi e le metriche che questa mette a disposizione [Newman, Girvan 2004; Boccaletti et al. 2006]. Secondo questa impostazione, un'area metropolitana può essere schematizzata attraverso nodi che rappresentano i nuclei urbani all'interno della costellazione metropolitana e relativi link che li connettono, con i quali si rappresentano diverse tipologie di relazioni: flusso di pendolari, merci, energia, relazioni politiche, economiche o sociali [Derrible, Kennedy 2011; Szymytkie 2017].

### Caso studio e metodologia

Con questa ricerca si vogliono sondare nuove modalità di rappresentazione delle relazioni territoriali all'interno delle aree metropolitane. I casi studio selezionati sono le regioni Lombardia e Lazio perché caratterizzate al loro

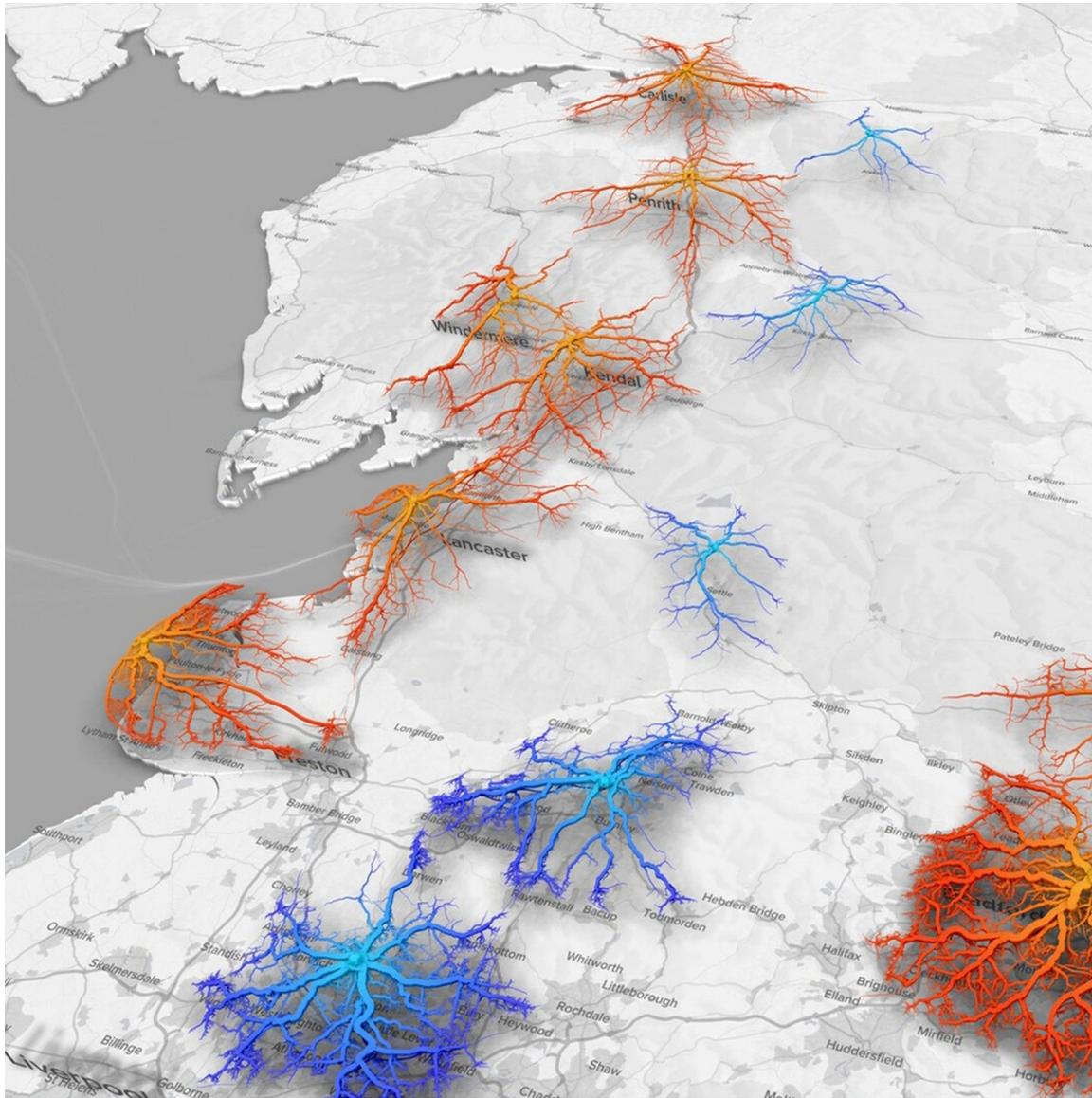


Fig. 4. Le Città Corallifere realizzate da Craig Taylor attraverso cui si raffigura l'accessibilità territoriale entro 30 minuti muovendosi dal centro urbano verso le periferie in automobile. Risorsa online: <<https://mapzilla.co.uk/work/the-coral-cities>> (consultato il 23 maggio 2023).

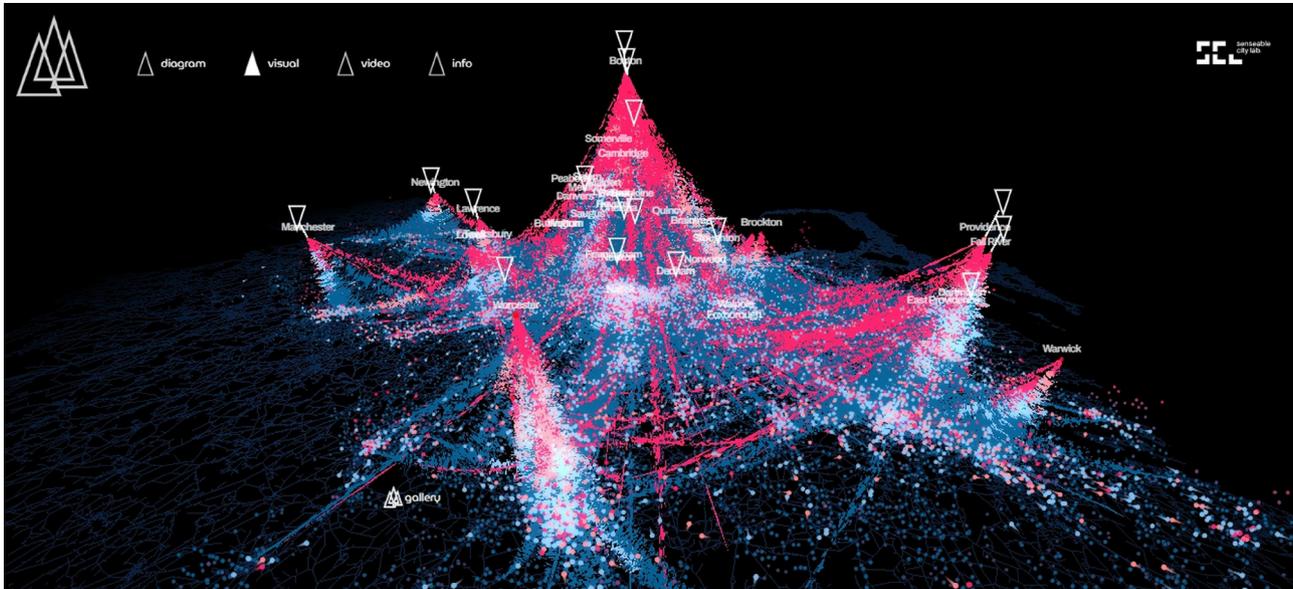


Fig. 5: Rappresentazione del "The universal visitation law for human mobility" realizzata da Schlöpfer presso il Senseable City Lab del MIT e pubblicata sulla rivista Nature [Schlöpfer et al. 2021].

interno dai due sistemi metropolitani italiani principali, in termini di popolazione residente e di nuova ricchezza economica prodotta [UNHSP 2016]: Milano e Roma. Le potenzialità analitiche della teoria dei grafi sono già state dimostrate misurando la forza attrattiva di ogni centro urbano all'interno delle regioni di studio, quantificando algebricamente questa forza in funzione del numero dei pendolari che si sposta quotidianamente [Ganciu et al. 2018]; tuttavia, l'obiettivo di questa ricerca non è indagare la dinamica in termini quantitativi, semmai sviluppare nuove modalità per la sua rappresentazione, maggiormente adatte nel rappresentare la complessità del fenomeno. Per una maggiore comprensione della ricerca, si ritiene comunque necessario richiamare alcuni elementi di lavori precedenti [Ganciu et al. 2018], che costituiscono la base di partenza per questo sviluppo. I dati sul pendolarismo sono stati estrapolati dalla Matrice Nazionale del Pendolarismo dell'ISTAT realizzata sulla base del 15° Censimento Nazionale della Popolazione. Si tratta di un database composto da 4.876.242 record che condensa

l'intervista di 28.871.447 cittadini che si spostano quotidianamente tra la propria residenza e il luogo di studio o di lavoro, con qualsiasi mezzo di trasporto, sia pubblico che privato. Sostanzialmente è una matrice in cui su ogni riga sono indicati i Comuni 'Source' e 'Target', cioè origine e destinazione e quante persone si muovono tra ciascuno Comune. Le analisi quantitative sono state ottenute trasformando la matrice del pendolarismo in un Grafo (G) composto da un insieme non vuoto di nodi indicati come " $V(G)$ ", un insieme di link indicati come " $E(G)$ " disgiunti da " $V(G)$ ", e le relazioni ( $\Psi$ ) associate a ogni link che collega due nodi [Boccaletti et al. 2006]; questa trasformazione è stata eseguita utilizzando una specifica libreria del linguaggio Python chiamata NetworkX, e importando il relativo file all'interno del software Gephi per i successivi calcoli. I nodi rappresentano i comuni, la presenza di un link tra due nodi indica l'esistenza di un flusso di pendolari tra di essi; l'entità di questo flusso, cioè il numero di persone che si spostano tra due comuni è associata al link come peso ( $w$ ).

Al fine di determinare la capacità di attrazione di ciascun Comune si sono svolte le principali misure di centralità, come il grado del nodo pesato "Deg(w)", che rappresenta la somma di tutti i link pesati convergenti su ciascun nodo della rete, in altre parole il totale dei pendolari che entra e parte da ciascun Comune della rete, formalmente:

$$Deg(w) = \sum_{j=1,n} e_{ij}$$

con "e" che rappresenta il link pesato tra i nodi (i) e (j). Considerato che per ciascun Comune solitamente è presente un flusso di pendolari in entrata e in uscita, è possibile calcolare i pendolari in entrata attraverso il  $DegIN(w)$  e i pendolari in partenza verso altri Comuni attraverso il  $DegOUT(w)$ , quindi per ciascun Comune interessato dallo studio vale anche la seguente relazione:

$$DegTOT(w) = DegIN(w) + DegOUT(w)$$

(figg. 6, 7).

Nell'evoluzione che si presenta, partendo dalla precedente equazione è possibile ricavare il flusso netto dei pendolari per ciascun Comune, intendendo con questo la differenza algebrica tra pendolari in entrata e in partenza per ogni Comune, ossia:

$$Fn = DegIN(w) - DegOUT(w)$$

quindi un flusso netto positivo ( $Fn+$ ), indicherà centri urbani attrattori, viceversa un flusso netto negativo ( $Fn-$ ) sarà invece indice di quei Comuni che cedono quotidianamente pendolari, a vantaggio dei centri maggiori. Successivamente indicando con 'z', il flusso netto di pendolari ( $Fn$ ), la variabile può essere trattata come la terza coordinata spaziale da utilizzare nella modellizzazione della superficie geometrica che, come detto, rappresenterà la capacità di attrazione dei pendolari di ciascun Comune. La metodologia proposta ha inoltre la capacità di considerare l'effetto cumulativo prodotto dalla vicinanza tra i centri urbani ipotizzando che la capacità attrattiva di una determinata porzione territoriale contenente due o più unità amministrative, possieda una capacità attrattiva superiore alla somma dei rispettivi comuni presi singolarmente.

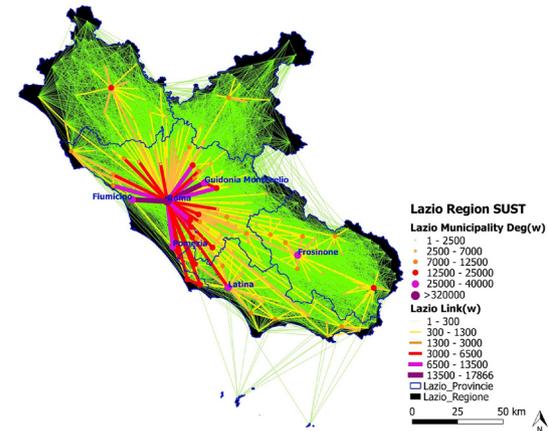
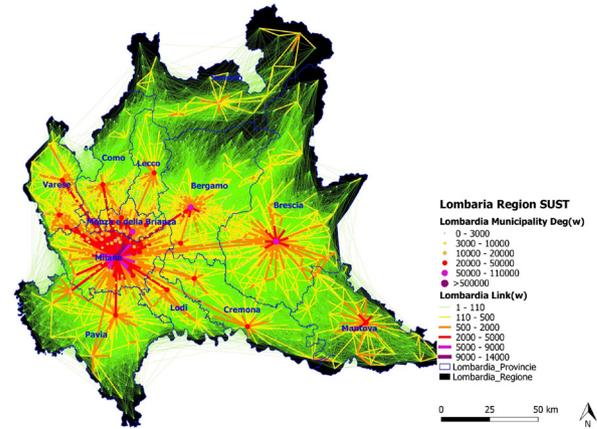


Fig. 6. Mappa della mobilità dei pendolari in Lombardia basata su dati ISTAT 2011 [Ganciu et al. 2018, p. 11]. La presenza di un link indica un flusso di pendolari tra due Comuni, il numero di viaggiatori è espresso tramite il peso (w).

Fig. 7. Mappa della mobilità dei pendolari nel Lazio basata su dati ISTAT 2011 [Ganciu et al. 2018, p. 11]. La presenza di un link indica un flusso di pendolari tra due Comuni, il numero di viaggiatori è espresso tramite il peso (w).

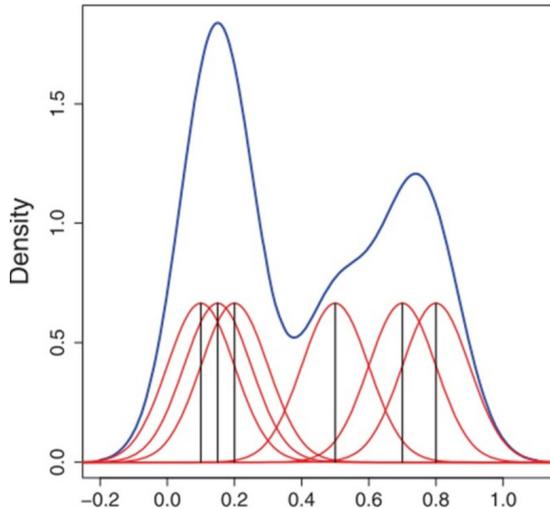


Fig. 8. Esempio geometrico-matematico della stima cumulata attraverso la KD [Chen 2017].

Le geometrie delle unità amministrative comunali elaborate in formato vettoriale (shp.file) sono state prelevate dalla banca dati ISTAT. Successivamente, tramite GIS si è utilizzato un algoritmo per calcolare il centroide relativo a ogni geometria comunale, che può essere indicato sommariamente come il baricentro geometrico del poligono comunale considerato. Ciò consente di ottenere un nuovo file vettoriale composto da primitive puntuali caratterizzate da triple di coordinate cartesiane, con i valori di 'X' e 'Y' che esprimono rispettivamente le coordinate Est e Nord di ciascun centroide rispetto al sistema di riferimento scelto, in questo caso basato sulla proiezione RDN2008/UTM zone 32N, e la terza coordinata 'z' che rappresenta il valore del (Fn). La capacità di attrazione cumulata è stata calcolata, attraverso l'utilizzo dell'algoritmo della Kernel Density (KD) [Chen 2017], che è influenzato sia dal grado di prossimità o vicinanza tra i centroidi, ma anche ovviamente della relativa variabile 'z'. In particolare, la KD conosciuta anche come Parzen window [Parzen 1962], è uno degli approcci più noti per stimare la funzione di densità di probabilità di un insieme di dati. Il KD essendo uno stimatore di densità non parametrico, cioè non richiede l'assunzione che la funzione di densità sottostante appartenga a una famiglia

parametrica, consente all'algoritmo di apprendere autonomamente la forma distributiva della densità dai dati (fig. 8). Nella figura 8 si illustra con un semplice esempio la logica sottostante l'algoritmo della KD: sono presenti sei osservazioni, situate nelle posizioni indicate dalle linee nere. Le singole osservazioni consentono di determinare la probabilità della densità espressa tramite la gaussiana in colore rosso, che sommate consentono di ottenere la stima della densità cumulata espressa dalla curva blu. Attraverso la KD, per ciascuna delle due Regioni oggetto di studio si sono quindi identificate le aree di interferenza positive e negative entro un raggio di 20 km da ciascun centroide comunale; questo raggio di analisi è stato scelto perché rappresentativo della distanza media di ciascun centroide dai suoi più prossimi confinanti. Il risultato dell'analisi è restituito tramite un modello raster con una risoluzione di cella di  $250 \times 250$  m. Ciascun pixel di questo raster contiene quindi un valore numerico rappresentativo della capacità di attrazione cumulata dei Comuni che è stato successivamente utilizzato per la modellizzazione di una superficie geometrica che interpola tutti i valori contenuti all'interno dei pixel ottenuti dalla KD. L'algoritmo utilizzato per l'interpolazione è l'Inverse Distance Weighting (IDW) [Lu, Wong 2008; Choi, Chong 2022], che in base all'approccio bird's eye, come descritto nell'introduzione, è stato configurato per considerare l'intero dataset a disposizione. In altre parole, dati 'n' valori presenti in 'n' pixel, il raster di output è stato generato interpolando  $n \cdot (n-1)$  valori, consentendo di stimare il valore della variabile sull'intera superficie regionale. Anche in questo caso il risultato è fornito attraverso un modello raster per ciascuna delle due Regioni, con risoluzione di  $250 \times 250$  m. Questa matrice grafico-numerica è stata infine trattata come una sorta di DTM (Digital Elevation Model) per la modellizzazione e visualizzazione tridimensionale (figg. 10-12), consentendo di visualizzare efficacemente la forza attrattiva dei poli urbani attraverso delle mappe che avranno la caratteristica peculiare di essere deformate dalla forza attrattiva che la metropoli esercita sul territorio circostante.

## Risultati e conclusioni

La modellizzazione geometrica conferma le precedenti ricerche che individuano nelle città di Milano e Roma dei massicci poli attrattori capaci di influenzare

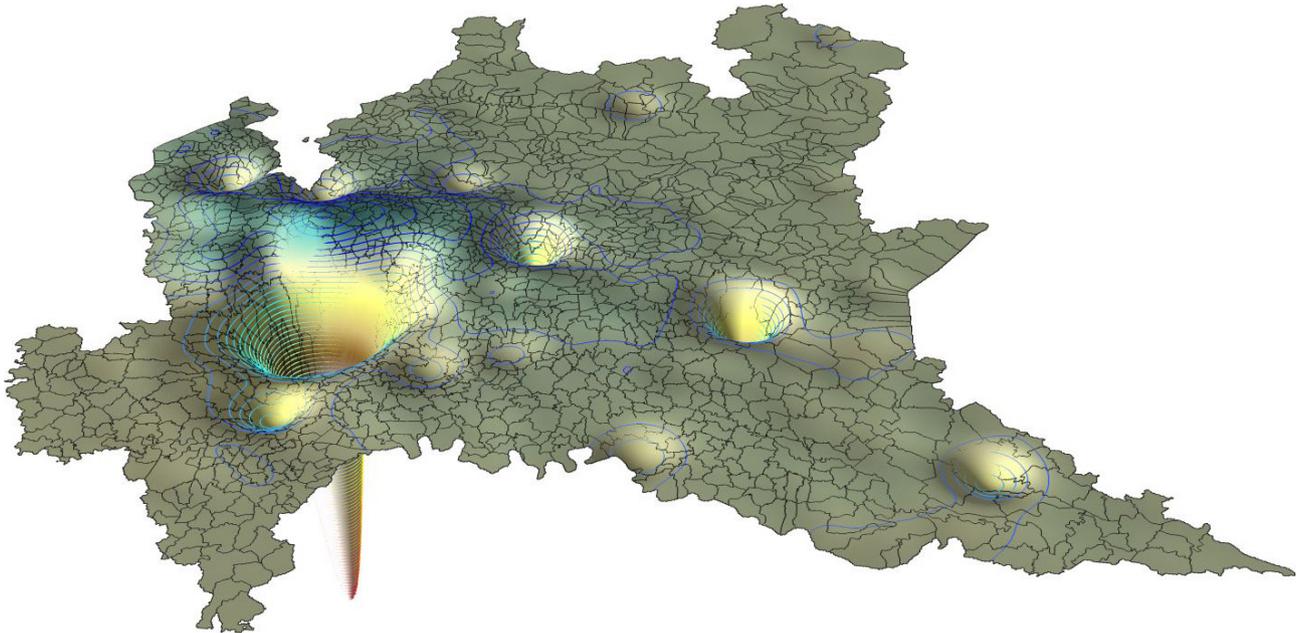
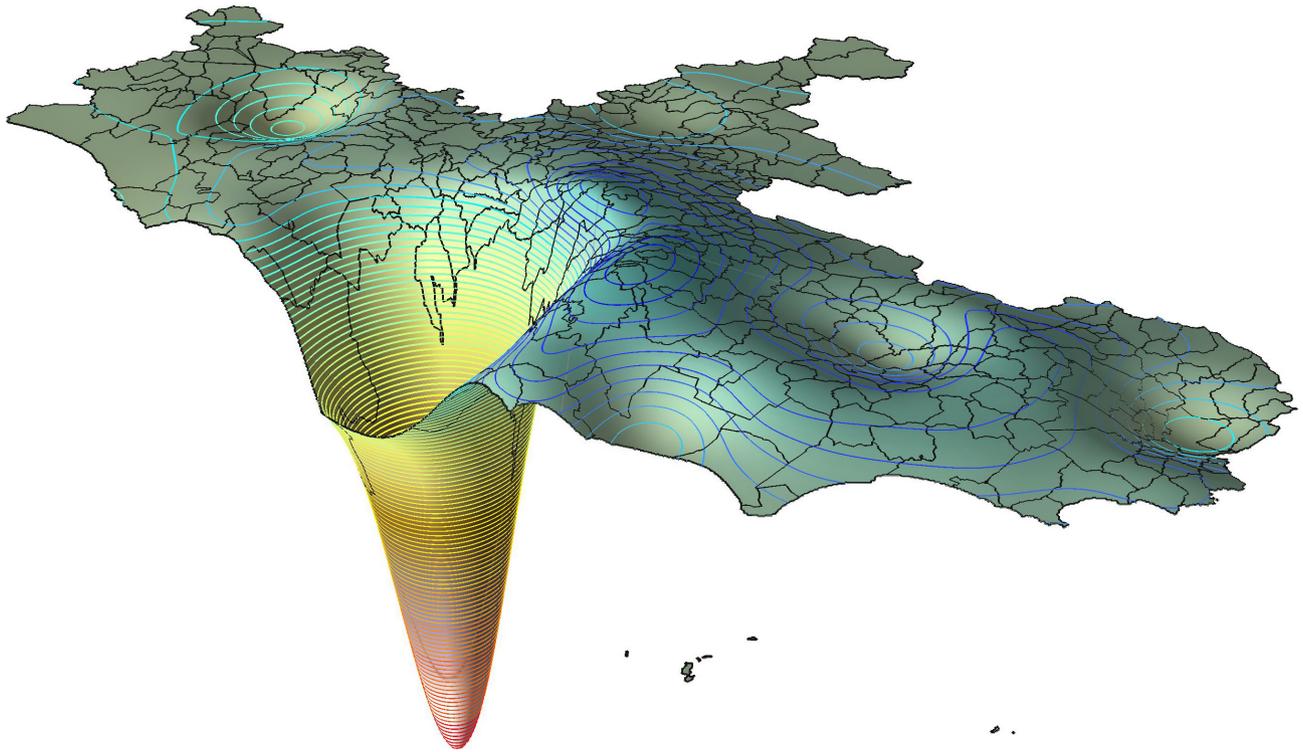


Fig. 9. Rappresentazione delle deformazioni cartografiche generate dal potere attrattivo delle città in Lombardia (elaborazione grafica dell'autore).

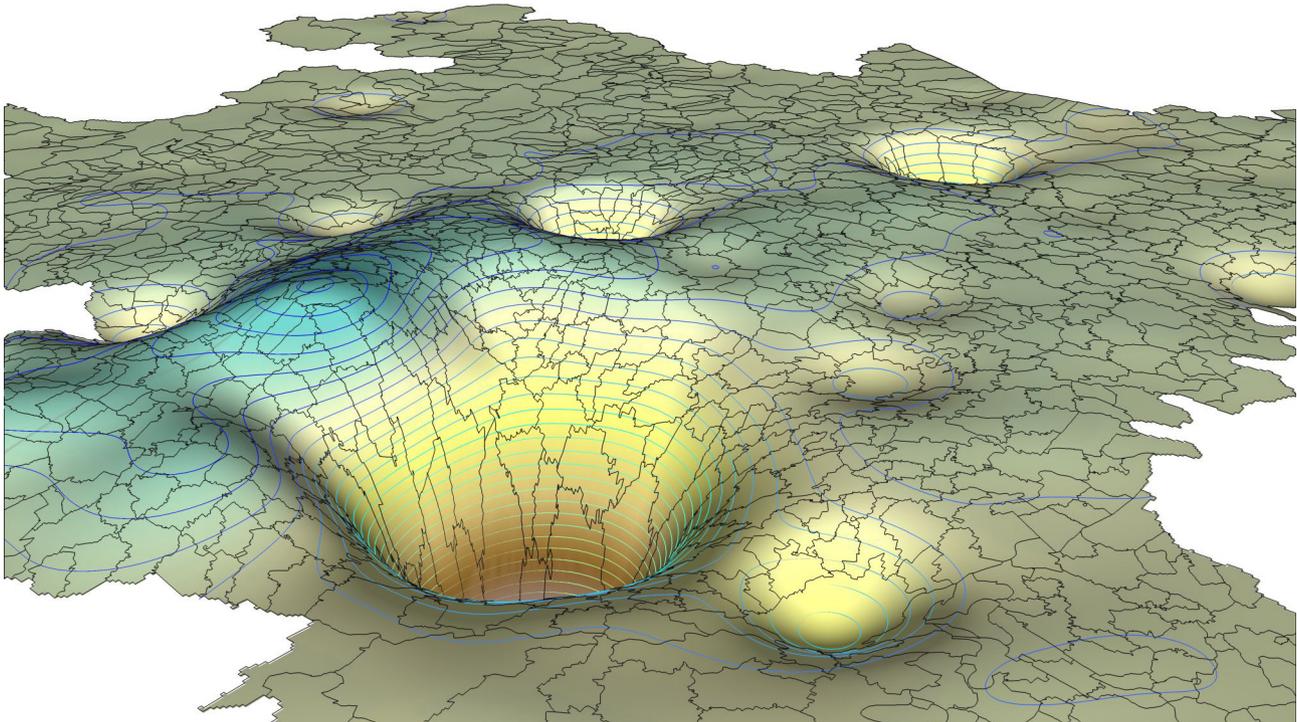
Fig. 10. Rappresentazione delle deformazioni cartografiche generate dal potere attrattivo delle città nel Lazio (elaborazione grafica dell'autore).



significativamente il contesto regionale in cui sono inseriti, con l'incidenza delle deformazioni crescente all'approssimarsi del grande polo urbano. Infatti, attraverso un'operazione di 'drapping' (tecnica che può essere sintetizzata immaginando di stendere un lenzuolo trasparente su un solido) tra il layer vettoriale che contiene i poligoni comunali e la superficie geometrica calcolata, è particolarmente evidente come le geometrie dei poligoni tendendo ad allungarsi sensibilmente superata una soglia di attrazione (figg. 9-12). La modellizzazione dimostra il modo in cui, oltrepassato questo limite, la forza della città cresce esponenzialmente e questa forma di rappresentazione è risultata più efficace rispetto alle precedenti visualizzazioni bidimensionali basate esclusivamente sulla visualizzazione del network [Ganciu 2018]. Tuttavia, non si è ancora in grado

di rispondere alla legittima domanda su quanto sia esteso in termini areali la capacità attrattiva della città. In altre parole, è necessario un ulteriore sviluppo nelle forme di rappresentazione per identificare la soluzione che consenta di visualizzare l'estensione complessiva delle ramificazioni che partendo dal polo metropolitano si diramano su tutto il territorio circostante. Si può infatti osservare, che nella superficie che contiene Roma, il "cono gravitazionale" sia meno profondo ma molto più largo di quello osservabile a Milano; questa apparente anomalia si può spiegare considerando che la modellizzazione proposta è sensibile al numero di pendolari in entrata, manifestando il fenomeno attraverso la profondità del cono, ma è anche sensibile alle interazioni con l'intero contesto regionale secondo un approccio "bird's eye", valutando la capacità attrattiva

Fig. 11. Particolare delle deformazioni cartografiche generate dal potere attrattivo della metropoli milanese in Lombardia, si può osservare come in prossimità del cono gravitazionale le deformazioni dei poligoni comunali crescano vertiginosamente (elaborazione grafica dell'autore).



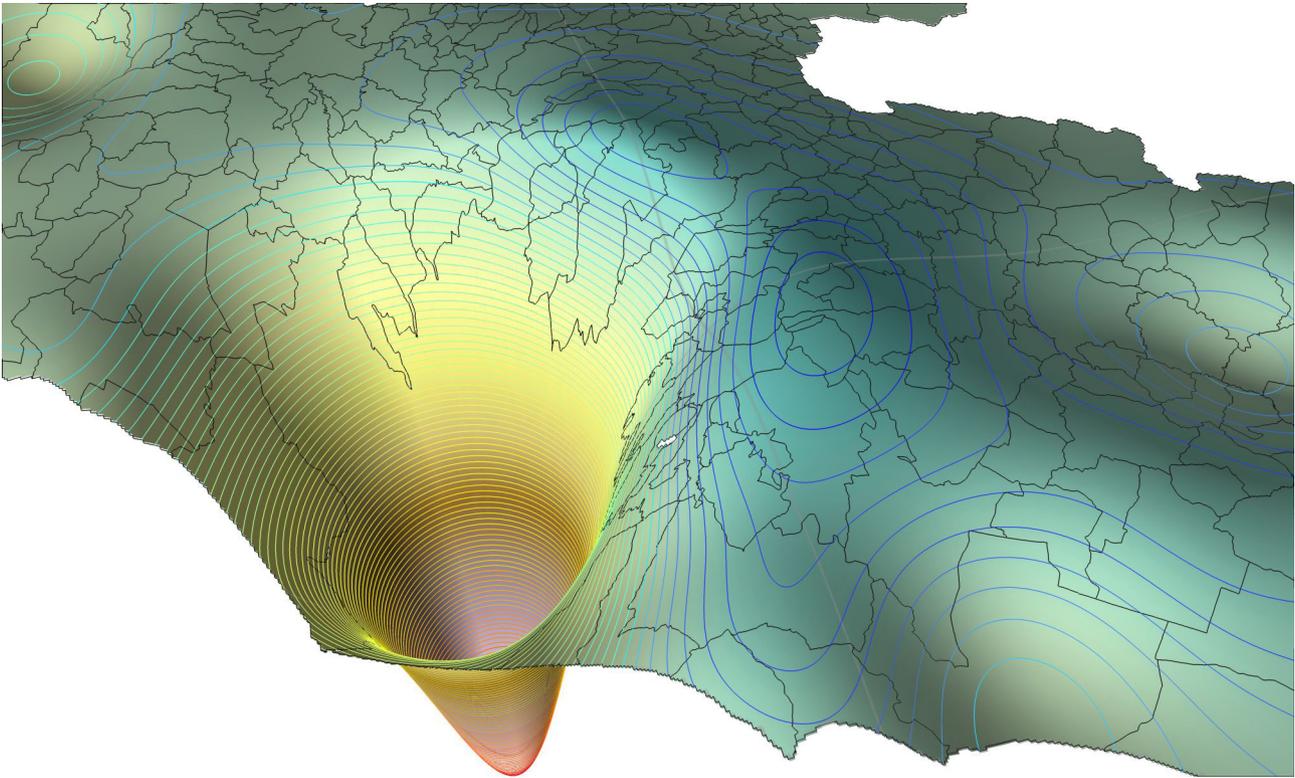


Fig. 12. Particolare delle deformazioni cartografiche generate dal potere attrattivo delle città nel Lazio, anche in questo caso si può osservare come in prossimità del cono gravitazionale di Roma le deformazioni dei poligoni comunali crescano vertiginosamente (elaborazione grafica dell'autore).

di tutti i Comuni e la loro capacità di opporre resistenza all'attrazione della metropoli. Se infatti nel Lazio non esistono potenti centri gravitazionali con significative capacità di bilanciare l'attrazione dell'area metropolitana romana, lo stesso non può essere detto nel caso della Lombardia con la presenza di Milano e altri centri urbani capaci di resistere all'attrazione della grande metropoli.

Concludendo, la mappatura proposta è frutto di una scelta, ponderata ma comunque arbitraria, sulle variabili da considerare nello studio, della metodologia per analizzarle e rappresentarle, sul punto di vista adottato dal ricercatore per osservare l'oggetto che sta studiando. Questa considerazione, alla luce anche degli altri esempi

illustrati, risulta di fondamentale importanza nella capacità di osservare comunque con occhio critico il risultato grafico ottenuto al di là della complessità metodologica. In altre parole, non è possibile escludere che variazioni del punto di vista sul fenomeno metropolitano possano generare risultati differenti, anche se questo appare poco probabile. Considerate le ulteriori conferme ottenute in questa ricerca, la metodologia proposta si è dimostrata un utile strumento per rappresentare fenomeni complessi anche immateriali come il potere attrattivo delle città; si ritiene tuttavia necessaria un'ulteriore evoluzione per soddisfare nuove domande di ricerca come determinare qual è l'estensione territoriale dell'influenza.

## Note

[1] <[www.mapzilla.co.uk](http://www.mapzilla.co.uk)> (consultato il 22 maggio 2023).

[2] <<https://senseable.mit.edu/>> (consultato il 22 maggio 2023).

## Autori

Amedeo Ganciu, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Università degli Studi di Sassari, [aganciu@uniss.it](mailto:aganciu@uniss.it)

## Riferimenti bibliografici

Batty, M. (2011). When all the world's a city. In *Environment and Planning A*, 43, n. 4, pp. 765-772.

Bergamo, F. (2021). Rappresentazione e nuove epistemologie: tra mappe e visual thinking. Representation and New Epistemologies: between Maps and Visual Thinking. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 78-101, Alghero: Publica.

Blackburn, S., Pelling, M., Marques, C. (2019). Chapter 38 - Megacities and the coast: global context and scope for transformation. In E. Wolanski, J. W. Day, M. Elliot, R. Ramachandran (Eds.). *Coasts and Estuaries. The Future*, pp. 661-669. Amsterdam: Elsevier.

Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. In *Physics reports*, n. 424, pp. 175-308.

Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L., Smets, B. (2020). Copernicus global land cover layers-collection 2. In *Remote Sensing*, 12, n. 6, <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/1044>> (consultato il 16 maggio 2023).

Burger, M., Meijers, E. (2012). Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity. In *Urban studies*, 49, n. 5, pp. 1127-1149.

Calafati, A. (2013). Città e aree metropolitane in Italia. Cities and Metropolitan Areas in Italy. In *GSSI Urban Studies Working Paper*, n. 1, <[https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN\\_ID2369323\\_code496761.pdf?abstractid=2369323&mirid=1](https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID2369323_code496761.pdf?abstractid=2369323&mirid=1)> (consultato il 18 maggio 2023).

Castells, M. (Ed.). (2000). *The rise of the network society*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell.

Castells-Quintana, D., Wenban-Smith, H. (2020). Population dynamics, urbanisation without growth, and the rise of megacities. In *The Journal of Development Studies*, 56, n. 9, pp. 1663-1682.

Chen, Y. C. (2017). A tutorial on kernel density estimation and recent advances. In *Biostatistics & Epidemiology*, 1, n. 1, pp. 161-187.

Choi, K., Chong, K. (2022). Modified inverse distance weighting interpolation for particulate matter estimation and mapping. In *Atmosphere*, 13, n. 5, 846, <<https://www.mdpi.com/2073-4433/13/5/846/pdf?version=1653209472>> (consultato il 18 maggio 2023).

Cicalò, E. (2020). *Graphic Intelligence: Drawing and Cognition*. Cham: Springer.

Colonnese, F. (2021). La Pianta di Roma di Giovan Battista Nolli come artefatto spaziale e politico. Giovan Battista Nolli's Pianta di Roma as a Work of Space and Politics. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 608-637. Alghero: Publica.

Cosgrove, D. (Ed.) (1999), *Mappings*. Londra: Reaktion Books.

Dana Tomlin, C. (2017). The Bird's-Eye View from a Worm's-Eye Perspective. In Advances in Griffith, D. A., Chun, Y., Dean, D. J. (Eds.). *Advances in Geocomputation*. Atti del: 13<sup>th</sup> International Conference Geocomputation 2015, Dallas, 20- 23 maggio 2015, pp. 21-31. Cham: Springer.

De Goei, B., Burger, M. J., Van Oort, F. G., Kitson, M. (2010). Functional polycentricism and urban network development in the Greater South East, United Kingdom: Evidence from commuting patterns, 1981-2001. In *Regional Studies*, 44, n. 9, pp. 1149-1170. <<https://michaelkitson.files.wordpress.com/2013/02/de-goei-et-al-rs-2010.pdf>> (consultato il 18 maggio 2023).

Derrible, S., Kennedy, C. (2011). Applications of graph theory and network science to transit network design. In *Transport reviews*, 31, n. 4, pp. 495-519.

Fujita, M., Thisse, J. (2013). *Economics of Agglomeration. Cities, Industrial Location, and Globalization*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ganciu, A., Balestrieri, M., Imbroglini, C., Toppetti, F. (2018). Dynamics of metropolitan landscapes and daily mobility flows in the Italian context. An analysis based on the theory of graphs. In *Sustainability*, 10, n. 3, 596, <<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/596/pdf?version=1519665440>> (consultato il 18 maggio 2023).

Haynes, K. E., & Fotheringham, A. S. (2020). *Gravity and spatial interaction models*. WVU Research Repository: <<https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=rri-web-book>> (consultato il 18 maggio 2023).

Krehl, A. (2018). Urban subcentres in German city regions: Identification, understanding, comparison. In *Papers in Regional Science*, 97, S1, pp. S79-S104.

Lepore, F., Piccardi, M., Pranzini, E. (2017). Latitudine senza latitudine. La carta nautica di Francesco Beccari (1403). Misurazioni astronomiche e carte per navigare nell'Europa tardo-medievale. In *Studi Costieri*, n. 27, pp. 33-110. <<http://www.gnrac.it/rivista/Numero27/Articolo3.pdf>> (consultato il 18 maggio 2023).

- Limtanakool, N., Dijst, M., Schwanen, T. (2007). A theoretical framework and methodology for characterising national urban systems on the basis of flows of people: empirical evidence for France and Germany. In *Urban Studies*, 44, n. 11, pp. 2123-2145.
- Llopis Verdú, J., Serra Lluch, J., Torres Barchino, A. M. (2019). Digital diagrams and urban and territorial cartography. Contemporary schematic depictions of immateriality. In *DisegnareCon*, 12, n. 22, pp. 12.1 -12.18; <<https://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/556/348>> (consultato il 18 maggio 2023).
- Lu, G. Y., Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. In *Computers & geosciences*, 34, n. 9, pp. 1044-1055.
- March, G., Scarletto, E. (2017). The evolution of GIS services within North American academic libraries: Documenting change through the decades (1995–2016). In *Journal of Map & Geography Libraries*, 13, n. 2, pp. 222-245.
- Moretti, M. (2021). Mentire (meno) con le mappe. Il caso Glocal Climate Change. Lying (Less) with Maps. The Glocal Climate Change Case. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 972-989, Alghero: Publica.
- Newman, M. E., Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. In *Physical review E*, 69, n. 2, 026113.
- Palestini, C. (2021). Portolani e mappe nautiche, nozioni grafiche sull'arte del navigare. Pilot Books and Nautical Maps, Graphic Notions on the Art of Sailing. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 258-285, Alghero: Publica.
- Palomba, D., Scandurra, S., (2021). Le mappe quali artefatti significanti per rappresentazioni altre. Maps as Significant Artifacts for Other Representations. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 862-845, Alghero: Publica.
- Parzen, E. (1962). On estimation of a probability density function and mode. In *The annals of mathematical statistics*, 33, n.3, pp. 1065-1076.
- Piscitelli, M. (2021). Le carte nautiche medievali. Strumenti per la navigazione e narrazioni vive. The Medieval Nautical Charts. Instruments for Navigation and Visual Narrations. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 286-309, Alghero: Publica.
- Roca Cladera, J., Marmolejo Duarte, C. R., Moix, M. (2009). Urban structure and polycentrism: Towards a redefinition of the sub-centre concept. In *Urban Studies*, 46, n.13, pp. 2841-2868.
- Salerno, R. (2019). Drawing, Map, Maquette. Plan-relief Landscape Depiction. *DisegnareCon*, 12, n. 22, pp. 22.1 -22.9; <<https://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/531/353>> (consultato il 18 maggio 2023).
- Salerno, R. (2021). Mappare flussi e spazi. Immagini dinamiche e mappe digitali. Mapping the Flowing pace. Dynamic Images and Digital Maps. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 58-77, Alghero: Publica.
- Schläpfer, M., Dong, L., O'Keeffe, K., Santi, P., Szell, M., Salat, H., West, G. B. (2021). The universal visitation law of human mobility. In *Nature*, 593, n. 7860, pp. 522-527.
- Scott, A. J., Storper, M. (2015). The nature of cities: The scope and limits of urban theory. In *International journal of urban and regional research*, 39, n. 1, pp. 1-15.
- Sen, A., Smith, T. E. (2012). *Gravity models of spatial interaction behavior*. Charm: Springer.
- Szymytkie, R. (2017). Application of graph theory to the morphological analysis of settlements. In *Quaestiones Geographicae*, 36, n.4, pp. 65-80, <<https://sciendo.com/article/10.1515/quageo-2017-0036>> (consultato il 18 maggio 2023).
- United Nations Human Settlements Programme (UNHSP) (2016). *World Cities Report. : Urbanization and Development - Emerging Futures*. Nairobi: UNHSP <<https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/WCR-2016-WEB.pdf>> (consultato il 22 maggio 2023).
- Urry, J. (2000). *Sociology beyond Societies: Mobilities for the Twenty-First Century*. Londra: Routledge.
- Valese M., Natta H., (2021). Mappare per perdersi: intelligenza artificiale e immaginazione cartografica. Map to Get Lost: AI and Cartographic Imagination. In E. Cicalò, V. Menchetelli, M. Valentino (a cura di). *Linguaggi Grafici. Mappe*, pp. 794-823, Alghero: Publica.
- Van Oort, F., Burger, M., Raspe, O. (2010). On the economic foundation of the urban network paradigm: Spatial integration, functional integration and economic complementarities within the Dutch Randstad. In *Urban Studies*, 47, n. 4, pp. 725-748.
- Vasanen, A. (2012). Functional polycentricity: Examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centres. In *Urban studies*, 49, n. 16, pp. 3627-3644.
- Veneri, P. (2010). Urban polycentricity and the costs of commuting: Evidence from Italian metropolitan areas. In *Growth and Change*, 41, n. 3, pp. 403-429.
- Veneri, P. (2013). The identification of sub-centres in two Italian metropolitan areas: A functional approach. In *Cities*, 31, pp. 177-185.
- Wu, J., Xiang, W. N., Zhao, J. (2014). Urban ecology in China: Historical developments and future directions. In *Landscape and Urban Planning*, 125, pp. 222-233.
- Zeil, P., Ourevitch, S., Debien, A., Pico, U. (2017). Copernicus User Uptake—Copernicus Relays and the Copernicus Academy. In *GI Forum-Journal for Geographic Information Science*, 5, n. 1, pp. 253-259. <[http://austriaca.at/0xc1aa5576\\_0x00369d9d.pdf](http://austriaca.at/0xc1aa5576_0x00369d9d.pdf)> (consultato il 18 maggio 2023).
- Zerlenga, O. (2008). *Dalla grafica all'infografica. Nuove frontiere della rappresentazione nel progetto di prodotto e comunicazione*. Foggia: Grenzi.
- Zhong, C., Schläpfer, M., Müller Arisona, S., Batty, M., Ratti, C., Schmitt, G. (2017). Revealing centrality in the spatial structure of cities from human activity patterns. In *Urban Studies*, 54, n. 2, pp. 437-455.