



Research paper

First published online: October 27, 2025

Luigi Capoani* Mattia Banin[°] Barbara Brollo**

CAMPI GRAVITAZIONALI E AUTO-CORRELAZIONE SPAZIALE COME METODI DI ANALISI DELL'ECONOMIA: UN'APPLICAZIONE SUI SALARI NEGLI STATI UNITI

Abstract

The primary goal of this paper is to compare and combine different spatial analysis tools, Moran's global and local Index, the Getis-Ord Index with the gravitational model. These techniques were applied to a sample of wages from the manufacturing and financial sectors across counties in the United States. The method identifies and investigates patterns of spatial concentration through a cross-analysis that integrates gravitational fields. It also expands the study of trade and market dynamics beyond conventional theories, and highlights the significance of spatial analysis in improving the understanding of how economic forces shape such spatial patterns.

Keywords: Spatial analysis, gravitational model, spatial autocorrelation, economic geography, econo-physics

* (Corresponding author) Department of Economics, Ca' Foscari University of Venice, Venice, Italy.

[°] European Youth Think Tank, 1 Place des Orphelins, Strasbourg, France

** Department of Methods and Models for Territory, Economics and Finance (MEMOTEF), Sapienza University of Rome, Italy

Introduzione

Questo studio prende in esame i contributi di John Quincy Stewart (1947) alla fisica sociale e la teoria gravitazionale di (Isard, 1954), stabilendo connessioni tra la teoria commerciale e la scienza regionale (Capoani, 2023a). In linea con l'approccio originario del modello gravitazionale, che nasce per analizzare le interazioni spaziali potenziali tra luoghi, si fa riferimento a due sue applicazioni nello specifico: il concetto di potenziale di mercato, introdotto da (Harris, 1954), e di potenziale di reddito, sviluppato in contemporanea dallo stesso Isard (1954), successivamente rivisto anche da (Nijkamp, 1975). In tale ottica, ogni punto dello spazio geografico può essere associato ad un valore potenziale assoluto, che interagisce con tutte le altre unità territoriali, secondo un principio di influenza gravitazionale. Si propone perciò un confronto metodologico con altre tecniche di analisi spaziale, quali l'indice di Moran globale e locale, e l'indice di Getis-Ord; in tal modo, è possibile comprendere i loro punti di forza, di debolezza e di applicabilità in varie situazioni. L'integrazione di questi approcci facilita quindi lo studio delle forze centripete e centrifughe che influenzano le dinamiche commerciali, dei modelli di agglomerazione e di una visione più ampia della geografia economica, come illustrato nel modello dei campi gravitazionali (Capoani, 2023b). Utilizzando un ampio e dettagliato dataset relativo agli Stati Uniti, la nostra ricerca offre l'opportunità di indagare come questi metodi si comportano in relazione a vari schemi spaziali, fornendo intuizioni che sono raramente esplorate in letteratura. Esiste infatti una significativa lacuna in analisi comparativa, perché gran parte degli studi esistenti tendono a concentrarsi su un singolo metodo o a usare diversi metodi nell'ambito dell'analisi spaziale, non considerando il modello gravitazionale. Questa espansione concettuale, in relazione all'integrazione tra modelli gravitazionali e strumenti di analisi spaziale offre inoltre l'opportunità di analizzare più a fondo le dinamiche dei mercati nazionali, le interazioni regionali e i cluster, fornendo così un apporto rilevante alla teoria economica. Nello studio si utilizza l'analisi scalare come strumento per mappare i campi gravitazionali, in cui le forze economiche sono generate dalle interazioni intra-contea e inter-contea, andando oltre il tradizionale modello bilaterale, e adottando invece un approccio spaziale e multilaterale, come già delineato nei lavori di (Harris, 1954), (Isard, 1954), (Nijkamp, 1975) e, più recentemente, (Capoani, 2024). Seguendo l'intuizione di Isard in particolare, si offre una soluzione per conciliare le teorie commerciali con le teorie sulla localizzazione, e si utilizza il principio della sovrapposizione scalare, che consente di ottenere un campo totale completo. La concentrazione scalare, d'altro canto, determinata per l'appunto dal principio di sovrapposizione, può essere utilizzata per confrontare più di due punti nello spazio. Quest'idea quindi viene implementata tramite gradienti gravitazionali che possono essere confrontati tra loro mediante il calcolo scalare, mostrando la caratteristica della modularità. Tutto ciò facilita l'analisi dei centri urbani americani nelle coste e in altre regioni stilizzate e permette di capire quanto la distanza influisca sulla capacità attrattiva di un'area. L'adozione di strumenti mutuati dalla fisica consente inoltre di rafforzare l'interpretazione visuale e funzionale dei legami spaziali in ambito economico. L'articolo esordisce con la descrizione dei principali metodi di analisi spaziale, che al contempo supportano l'idea di utilizzare i campi gravitazionali, esposti invece nella sezione successiva, per studiare le dinamiche economiche. Segue un'introduzione al contesto geo-economico degli Stati Uniti,

con l'obiettivo di comprendere i futuri risultati dell'applicazione di tali tecniche al dataset dei salari nei due settori economici considerati: manifatturiero e finanziario. Infine, dopo aver mostrato suddetti risultati, viene effettuato un confronto tra essi, unito a osservazioni conclusive riguardanti i metodi utilizzati, i loro limiti e le loro potenziali applicazioni future.

1 Metodi di analisi spaziale

1.1 L'autocorrelazione spaziale

La statistica spaziale offre diversi strumenti di indagine della dimensione localizzativa dei fenomeni di interesse. Tale disciplina comprende, infatti, l'insieme dei metodi statistici che analizzano dati riferiti a posizioni nello spazio, con l'obiettivo di identificare pattern, relazioni o dipendenze, per l'appunto spaziali, tra unità geografiche. Uno dei primi contributi teorici in questo ambito è offerto da Cliff e Ord (*Spatial Autocorrelation*, 1973; *Spatial Process: Models and Applications*, 1981) che, distinguendo tra serie storiche e serie spaziali hanno mostrato come l'assunto di indipendenza tra osservazioni non sia più valido quando si considerano dati georeferenziati. Da qui nasce la necessità di declinare nuovi metodi specifici per dati geografici e la conseguente formalizzazione del concetto di autocorrelazione spaziale. Un ulteriore sviluppo teorico è fornito da Anselin (*Spatial Econometrics: Methods and Models*, 1988), che ha determinato lo sviluppo dell'econometria spaziale, nonché introdotto alcuni esempi di errori di misura nell'analisi spaziale, e formulato concetti quali esternalità spaziali ed effetti spillover. Elemento centrale per la costruzione degli indici di autocorrelazione spaziale è la matrice dei pesi spaziali W , che definisce il grado di vicinanza tra le diverse unità geografiche, assegnando loro pesi diversi. Tale matrice può essere costruita sulla base di diverse nozioni di distanza, non univoche né necessariamente fisiche: a seconda degli obiettivi di ricerca, si può far riferimento alla distanza geografica, economica, infrastrutturale o a una combinazione di esse. Ad esempio, Fingleton (2003), in uno studio sui salari nel Regno Unito, costruisce W sulla base dei flussi pendolari tra regioni, riflettendo i costi di trasporto. Ertur e Koch (2007) utilizzano invece la distanza geografica tra Paesi, per cogliere gli effetti spillover. Da questa matrice discende il concetto di spatial lag, ovvero il valore medio di una variabile, ricavato osservando quel valore nelle unità spaziali adiacenti a quella considerata. Questo strumento consente di valutare il grado di coerenza tra il valore di una variabile in un'area e quello registrati nelle aree circostanti, e permette dunque di identificare eventuali dipendenze (autocorrelazioni) spaziali all'interno del fenomeno osservato. Per questo motivo, è alla base degli indici spaziali più utilizzati. Tra gli indicatori più noti in questo ambito, vi è l'indice di Moran, il quale misura l'intensità dell'autocorrelazione spaziale tra unità geografiche vicine tra loro. Questa considerazione è alla base della prima legge della geografia, secondo cui le entità vicine sono più simili tra loro rispetto a quelle distanti (Tobler, 1970). La versione globale dell'indice fornisce un valore sintetico, che riassume l'autocorrelazione complessiva, considerando tutte le relazioni tra le unità. Concettualmente, si tratta di un'estensione della correlazione di Pearson applicata alla stessa variabile osservata in diverse località.

La dimensione spaziale viene integrata, come detto, tramite una matrice di pesi, e la formula dell'indice è la seguente:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (1)$$

dove n è il numero totale delle unità geografiche considerate, W_{ij} l'elemento alla riga i -esima e alla colonna j -esima della matrice dei pesi W e z la variabile di riferimento per cui si calcola l'indice. Possiamo quindi osservare, come anticipato, che lo spatial lag compare effettivamente in tale definizione: dal momento che la somma del valore di z per ogni entità geografica, moltiplicato per il peso ad essa associato, viene divisa per la somma dei pesi di W , come in una media ponderata. L'ipotesi nulla testata è quella di distribuzione spaziale casuale: in caso di rigetto, si osserva una distribuzione non randomica, ovvero una concentrazione (valori positivi dell'indice) o una dispersione (valori negativi). Accanto all'indice globale, l'analisi spaziale utilizza una versione locale dello stesso indicatore, nota come LISA (Local Indicators of Spatial Association), che consente di valutare l'autocorrelazione per ciascuna singola unità geografica. Tale approccio permette di individuare e mappare i cluster locali, classificandoli generalmente in quattro tipologie: unità con valori "alto-alto", che registrano valori superiori alla media vicino ad altri con la stessa tendenza, "basso-basso", analoghi ai precedenti, ma per valori più bassi della media, "alto-basso" e "basso-alto", casi di outliers nei quali l'unità considerata presenta valori opposti, sempre nel confronto con la media, a quelli delle entità circostanti. Un ulteriore indicatore largamente utilizzato è l'indice Getis-Ord, il quale, rispetto al Moran, attribuisce maggiore rilevanza alla differenza tra coppie di unità geografiche, anziché alla differenza dalla media complessiva. In termini di restituzione grafica, tale indice consente non solo la possibilità di osservare la presenza di cluster, e se questi si riferiscono a valori positivi o negativi, ma anche informazioni sul livello di confidenza statistica. Le varie unità geografiche sono state trattate come dati puntuali, ed ogni regione è di conseguenza rappresentata dal proprio centroide geometrico, ovvero dal baricentro. Inoltre, i calcoli sono stati eseguiti utilizzando la distanza euclidea. Questa impostazione è utilizzata sia per l'analisi tramite indici spaziali, sia per la costruzione del campo gravitazionale, illustrato nella sezione successiva.

1.2 La teoria di gravità nella fisica sociale

L'applicazione della legge gravitazionale newtoniana all'analisi dei fenomeni sociali ha origine con John Quincy Stewart (1894-1972), pioniere della fisica sociale, il quale formalizzò l'idea secondo cui le interazioni tra entità umane possono essere modellizzate come forze attrattive proporzionali alla "massa sociale" (popolazione, reddito, produzione) e inversamente proporzionali alla distanza. Come osservato da Capoani (2023), l'economista americano Walter Isard (1954) applicò invece il modello gravitazionale al commercio internazionale, anticipando anche la formula di Tinbergen (1962), ampiamente riconosciuta in economia come la formula gravitazionale standard. Quest'ultima stima lo scambio com-

merciale tra paesi come funzione delle rispettive masse economiche e della distanza tra di essi. Più precisamente:

$$F_{ij} = A \frac{Y_i Y_j}{D_{ij}} \quad (2)$$

dove F_{ij} rappresenta il volume di scambio tra i paesi i e j , A è una costante, solitamente di proporzionalità; Y_i e Y_j sono variabili di “massa economica” — tipicamente il PIL, o il PNL (Prodotto Nazionale Lordo) — delle nazioni i e j , e D_{ij} la distanza tra le entità i e j (Capoani, 2023a).

(Isard, 1954) applicò per primo il modello gravitazionale all’economia regionale, introducendo la nozione di *potenziale di reddito*, ispirandosi nel suo lavoro alla gravità demografica di (Stewart, 1947). Tale concetto è definito nel seguente modo:

$$iV = \sum_{j=1}^n iV_j = \sum_{j=1}^n k \frac{Y_j}{d_{ij}^a} \quad (3)$$

In questo caso, Y_j è il reddito del paese j , d_{ij} la distanza media effettiva tra le nazioni i e j , a un esponente di attenuazione della distanza, e k una costante che richiama la costante gravitazionale. iV_j rappresenta il reddito potenziale prodotto dal paese j per il paese i , mentre iV è il reddito potenziale totale per la nazione i , dato dai contributi di tutte le n nazioni (Capoani, 2023b).

Il contributo di (Isard, 1954) all’applicazione della teoria della gravità in ambito sociale ed economico è dunque la costruzione di un approccio capace di combinare l’analisi regionale con le teorie di localizzazione e di commercio, consentendo di concepire una più avanzata e complessa teoria dell’economia internazionale, in grado di connettere tra loro i tre aspetti citati.

Riassumendo, il modello del potenziale di reddito considera le interazioni tra partner commerciali sulla base delle dimensioni economiche e della distanza reciproca. Quest’ultima è un aspetto fondamentale anche nella decisione di localizzazione delle imprese: come sostenuto da (Weber, 1911) e da (Ohlin, 1933), essa è in grado di ridurre i costi di trasporto, ricoprendo un ruolo chiave nelle operazioni aziendali.

Uno sviluppo di tali teorie lo si trova in (Harris, 1954), che introdusse il concetto di *potenziale di mercato* per studiare la localizzazione industriale. Rispetto a (Isard, 1954), Harris si focalizzò su una misura della domanda potenziale, stimata sulla base delle vendite al dettaglio piuttosto che della popolazione. Più precisamente, tale concetto venne definito come un indice in grado di misurare l’intensità dei possibili legami che ogni centro potrebbe avere con gli altri mercati. La formula costruita è la seguente:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{d_{ij}} \quad (4)$$

dove P_i rappresenta il potenziale di mercato della città i , M_j l’accessibilità di quest’ultima al mercato della città j e d_{ij} la distanza — aggiustata per il costo dei trasporti — tra i centri i e j (Harris, 1954). La misura proposta per M si rifà per l’appunto alle vendite al

dettaglio, ovvero al Valore Aggiunto Lordo (Bruna, 2024). Tuttavia, Harris (1954) trascurò l'effetto delle variazioni dei prezzi sulle decisioni di localizzazione delle imprese. I concetti di *potenziale di reddito* e *potenziale di mercato* estendono il modello gravitazionale a dati non propriamente definibili come “di flusso” — quali scambi commerciali, migrazioni, ecc. — o che, per lo meno, non pongono l'accento su questo aspetto. Tale modello è inoltre adatto a stimare i flussi, in particolare quelli economici (si veda ad esempio la formula di Tinbergen (1962), generando effetti cumulativi e di concentrazione e consentendo al sistema economico di funzionare in modo analogo alla gravità che attrae le masse e ne determina la forma.

In questo contesto, la gravità economica viene interpretata come forza attrattiva, in opposizione a una forza dispersiva, spesso associata all'entropia (Nijkamp, 1974a,b). Le due forze, in equilibrio dinamico, danno luogo a flussi economici spaziali e favoriscono processi di agglomerazione. Le imprese tendono infatti a concentrarsi in aree con condizioni economiche favorevoli, aumentando così la specializzazione produttiva, gli investimenti e la crescita territoriale (Krugman, 1992). Tuttavia, il flusso di beni e servizi tra i paesi è caratterizzato dalla *distanza economica* (Cartone, 2022), in quanto anche i vantaggi dell'agglomerazione diminuiscono con l'aumentare della distanza dalla fonte (Sinclair-Smith, 2012).

I meccanismi che influenzano la geografia economica possono quindi essere compresi tenendo conto dell'interazione tra modelli di accumulazione e di agglomerazione, nonché tra gravità economica e variabilità della resistenza. Fattori come l'accessibilità al mercato, la vicinanza ai fornitori e la gestione della concorrenza influenzano la distribuzione spaziale delle attività economiche.

Una precisazione, ad ogni modo, deve essere fatta: seppur nella maggior parte delle applicazioni del modello gravitazionale si utilizzino flussi osservabili, è bene ricordare che questo è applicabile non solo a tali quantità, bensì con lo scopo più ampio di analizzare *interazioni spaziali potenziali* tra regioni geografiche, attraverso la generazione di *campi gravitazionali di influenza* per ognuna di esse. Tale concetto è sostenuto anche da (Nijkamp, 2021), i quali affermano che “la geografia ha grande importanza nel commercio internazionale, non solo in termini di elasticità dei flussi relativi alla distanza (in accordo con il principio newtoniano gravitazionale), ma anche in termini di specifiche aree di mercato orientate geograficamente, siano esse regionali o internazionali” (p. 415)¹. Nella presente ricerca si propone, di conseguenza, un contributo teorico ed empirico allo studio della geografia economica, integrando le logiche della fisica sociale con i metodi dell'economia regionale.

2 Introduzione al caso studio: il contesto geografico-economico degli Stati Uniti

L'analisi delle aree geografiche con le maggiori concentrazioni economiche di un paese fornisce preziose intuizioni sulle dinamiche dell'economia nazionale e sui principali motori di

¹ Si riporta qui in nota il testo originale: “Geography matters in international trade, not only in terms of the elasticity of flows regarding distance (the Newtonian gravitational principle), but also in terms of specific geographically-oriented market areas, be it regional or (inter)national”

crescita e sviluppo. Questo è particolarmente vero nel caso degli Stati Uniti, un territorio vasto e caratterizzato da evidenti differenze regionali. Comprendere tali disparità è dunque fondamentale per comprendere a sua volta l'andamento complessivo dell'economia americana. Secondo una ricerca di (?), le aree metropolitane degli USA costituiscono la spina dorsale dell'economia statunitense: le prime dieci infatti, tra cui New York, Los Angeles, Chicago e San Francisco, rappresentano circa un terzo del PIL del paese. Inoltre, California e Washington rivestono un ruolo chiave nel commercio con l'Asia, fungendo da punti di scambio per i prodotti agricoli statunitensi e quelli industriali provenienti dal continente orientale.

Questa tendenza alla concentrazione di attività economica in specifiche aree non è un fenomeno nuovo, e si accentua nelle città e regioni che prosperano nell'economia basata sulla conoscenza (Rappaport, 2003). Comparando il volume di affari, tali aree metropolitane mostrano una forte diversificazione economica, che le rende complementari tra loro. New York, ad esempio, si distingue come *hub* finanziario globale, grazie alla concentrazione di grandi aziende, banche d'investimento e istituzioni finanziarie (Sassen, 1999). In quest'area metropolitana si concentrano inoltre importanti attività nei settori dei media, dell'editoria e delle nuove tecnologie, essendo la sede di multinazionali come Verizon, JPMorgan Chase, Pfizer, Citigroup e MetLife.

Los Angeles, d'altro canto, si afferma in ambiti diversi, tra cui l'intrattenimento, la produzione, il commercio e il turismo, supportati dalla presenza dell'industria cinematografica di Hollywood, dal Porto di Los Angeles e dalle principali aziende manifatturiere e aerospaziali (Hudgins, 1997). Nel frattempo, la posizione strategica centrale di Chicago, insieme all'ampia infrastruttura di trasporti e alla diversificata base industriale, agevolano volumi consistenti di commercio, produzione e attività finanziarie negli Stati Uniti (Lewis, 2008). La San Francisco Bay Area invece, in particolare la Silicon Valley, è ampiamente riconosciuta come sede di nuove imprese tecnologiche, società di venture capital, startup e istituti di ricerca, che la rendono un polo globale per l'innovazione (McNeill, 2016).

Se si considera infine l'economia dell'East Coast — con Philadelphia (circa 478 miliardi di dollari) e Boston (circa 532 miliardi), accanto a New York — si osserva un valore economico complessivo paragonabile a quello della California secondo i dati del 2023 del Bureau of Economic Analysis (BEA). Nel corso degli anni, gli Stati Uniti hanno visto nascere alcune tra le principali aziende tecnologiche al mondo (Apple, Google, Microsoft), contribuendo a ridurre le distanze economiche attraverso l'innovazione. A tal proposito, è emerso il concetto della “morte della distanza” (Cairncross, 2001), secondo cui la digitalizzazione attenua l'importanza della distanza fisica. Tuttavia, altri studi affermano che tale dichiarazione sia prematura (Rietveld, 2004) e che la distanza fisica sia ancora rilevante nelle dinamiche economiche (Brun et al., 2005).

Quel che è certo, tuttavia, è che gli Stati Uniti hanno rappresentato una forza magnetica per le industrie ad alta tecnologia, posizionandosi tra i paesi leader nella nuova frontiera dell'innovazione, in particolare per quanto riguarda l'informazione e la tecnologia digitale. La concentrazione di tali aziende si registra però solo in alcune aree del paese: de facto, il 48% dei brevetti statunitensi proviene dalle dieci città più innovative (Balland et al., 2020). Analizzando l'evoluzione dei brevetti più nello specifico, periodo compreso tra il 1850 e il

2010, Balland et al. (2020) mostrano che i brevetti più complessi — quindi più innovativi — si concentrano soprattutto nelle aree urbane, mentre quelli meno articolati tendono a essere distribuiti in modo più omogeneo.

La polarizzazione geografica si riflette anche nella distribuzione della ricchezza. Le due coste, Est ed Ovest, mostrano alti livelli di urbanizzazione e sviluppo, in netto contrasto con gli Stati del Midwest e delle Grandi Pianure (Atkinson et al., 2019). Un modo per misurare queste differenze consiste nel confrontare il prezzo degli asset immobiliari: secondo (Florida, 2017), come riportato in un'indagine pubblicata su *The Atlantic*, l'80% delle aree postali con asset superiori al milione di dollari è compreso nelle aree metropolitane di New York, San Francisco e Los Angeles.

(Florida, 2017) propone anche la teoria dell'*urbanesimo del vincitore prende tutto*, secondo cui alcune "city globali" accumulano una quota sproporzionata di talento e ricchezza economica, determinando un concentramento eccessivo di innovazione, start-up e produzione. Il principio può essere esteso anche alla geografia dell'innovazione, evidenziando come gli spazi con alta concentrazione di attività innovative tendano ad accrescere la propria attrattività. Queste dinamiche si estendono agli investimenti in start-up e in capitale di rischio: solo le prime cinque città rappresentano quasi la metà di tali investimenti a livello mondiale, mentre le prime venticinque ne comprendono oltre il 75%. Ulteriori studi hanno inoltre mostrato che, anche all'interno delle città, tale attività è spesso concentrata in poche zone.

Inoltre, sempre più spesso, le ampie combinazioni di città e aree metropolitane — le cosiddette *mega-regioni* — rappresentano la vera forza trainante dell'economia, sia a livello statunitense che globale. Queste aree, visibili persino dai satelliti, hanno una popolazione superiore a 5 milioni di abitanti, generano un prodotto interno lordo superiore a 300 miliardi di dollari e includono almeno due zone metropolitane contigue. Negli Stati Uniti esse rappresentano oltre il 70% del PIL nazionale (OECD, 2018), e tale quota è in crescita. Il geografo economico Jean Gottmann (Gottmann, 1961) introdusse il termine *megalopoli* per descrivere il polo economico emergente che si estendeva da Boston a Washington D.C. L'espressione iniziò poi a essere utilizzata per molte altre regioni, come la grande megalopoli del Midwest che si estende tra Chicago, Detroit, Cleveland e Pittsburgh, e che Gottmann definì "Chi-Pitts". Questa, considerata la quattordicesima economia più grande al mondo, ha una popolazione superiore a 30 milioni di persone e produce un prodotto interno lordo di oltre 2 trilioni di dollari, pari a quello della Corea del Sud.

Parallelamente alla crescita delle aree più dinamiche, permangono forti disuguaglianze territoriali, accentuate dal diverso grado di accesso al mercato e di capitale umano. (Fallah et al., 2010) dimostrano che, nelle aree metropolitane degli Stati Uniti, la letteratura della Nuova Geografia Economica evidenzia come non solo i salari medi siano più alti nelle aree con maggiore accesso al mercato, ma anche come i differenziali retributivi risultino più accentuati. In particolare, per le persone nella parte bassa della distribuzione salariale, un maggiore accesso al mercato è correlato a risultati inferiori.

Nel tentativo di stimolare la crescita economica, diversi Stati hanno istituito zone di libero scambio tra loro: i Porti dell'Indiana e il Kansas City Smart Port sono esempi di tali iniziative. Queste aree offrono incentivi fiscali e regolamentari per attirare le imprese e incoraggiarle a stabilire le loro operazioni nelle zone designate (Cooper, 2014). In secondo

luogo, una maggiore quota di lavoratori altamente qualificati risulta positivamente correlata con il potenziale di mercato. L'analisi spiega infatti la relazione spesso osservata tra il premio salariale per i lavoratori qualificati e la percentuale di lavoratori altamente qualificati nelle aree metropolitane. Tuttavia, accanto a queste aree di crescita, gli Stati Uniti ospitano anche regioni segnate dal declino, come la *Rust Belt* ("cintura della ruggine"), che comprende aree tradizionalmente industriali quali parte di New York, Pennsylvania, Ohio, Michigan, Indiana, Illinois e Wisconsin. Segnata dalla deindustrializzazione e dall'abbandono urbano, questa regione rimane emblematica delle disuguaglianze economiche territoriali. Tali dinamiche, accentuate dalla crescente concentrazione di capitale e di innovazione, rappresentano una delle principali sfide per la coesione economica e sociale del paese (Piketty, 2014).

3 Un'applicazione empirica di diversi metodi di analisi spaziale sui salari negli Stati Uniti

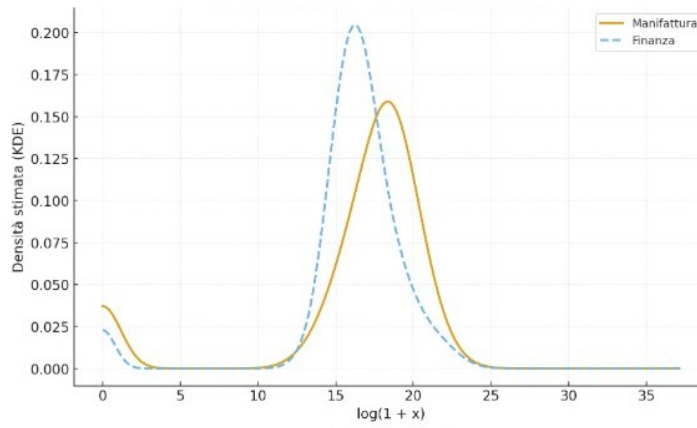
Dopo aver illustrato la proposta metodologica e aver introdotto il contesto di studio, il testo si concentrerà ora sull'applicazione pratica degli strumenti proposti. In particolare, l'analisi riguarda la distribuzione spaziale dei salari nei settori manifatturiero e finanziario degli Stati Uniti, due comparti chiave dell'economia nazionale. Come unità territoriale di riferimento sono state scelte le contee, in totale 3,142. Questa scala di analisi, più dettagliata rispetto a quella statale, consente di cogliere con maggiore precisione eventuali fenomeni di concentrazione, dispersione o polarizzazione salariale, rilevanti sia per le implicazioni di *policy*, sia per gli obiettivi conoscitivi di questo studio.

I dati sono stati estratti dallo *U.S. Bureau of Economic Analysis* e dallo *U.S. Bureau of Labor Statistics*, e si riferiscono all'anno 2022. Le informazioni geografiche derivano invece dallo *shapefile* fornito dallo *U.S. Census Bureau* (sezione *Cartographic Boundary Files*), che include una mappa dettagliata delle contee degli Stati Uniti. Poiché l'analisi richiede continuità territoriale e confrontabilità geografica, sono state mantenute solo le contee appartenenti ai 48 Stati contigui degli USA (oltre a Washington D.C.). Tra quelle escluse, di conseguenza, si annoverano tutte le contee e le regioni amministrative equivalenti di Alaska, Hawaii e Puerto Rico, a causa della loro posizione isolata o discontinua rispetto al territorio continentale. Pertanto, dopo questa selezione, l'analisi include un totale di 3,108 contee.

Una prima analisi descrittiva permette di osservare innanzitutto la distribuzione dei dati. Gli istogrammi e i *density plot* dei salari annuali nei settori manifatturiero e finanziario a livello di contea mostrano distribuzioni fortemente asimmetriche, con la maggior parte delle contee concentrate su valori bassi e poche con salari molto elevati. Applicando la trasformazione $\log(1+x)$, le distribuzioni diventano più simmetriche e leggibili (Figura 1). La distribuzione dei salari nel settore manifatturiero presenta un picco di densità associato a valori di salario superiori rispetto al settore finanziario, il quale mostra una distribuzione più concentrata attorno al proprio picco.

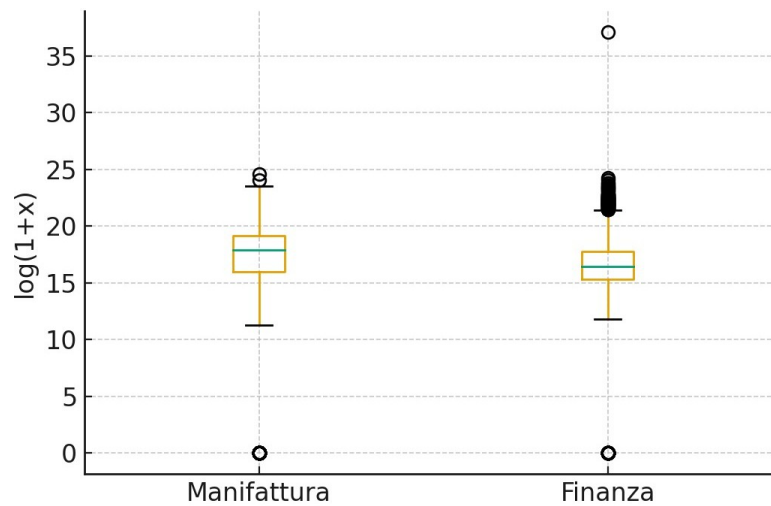
Il boxplot (Figura 2) conferma queste osservazioni, permettendo di osservare come la mediana dei salari nella manifattura sia superiore a quella dei salari nella finanza. Nel settore finanziario la contea di New York registra salari eccezionalmente elevati.

Figura 1. Confronto tra la distribuzione log-trasformata dei salari nei settori manifatturiero e finanziario per le contee degli Stati Uniti



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

Figura 2. Boxplot dell'indicatore salari nel settore finanziario per le contee degli Stati Uniti

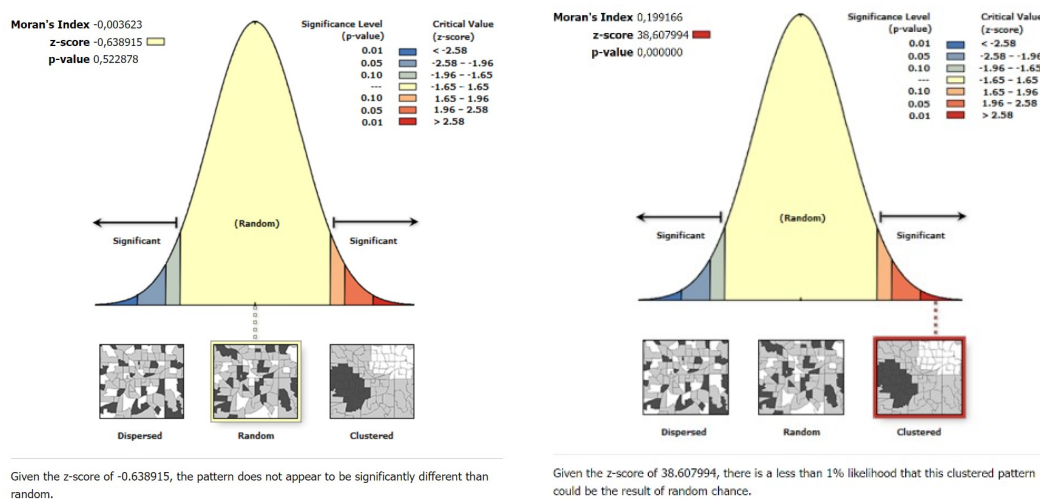


Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

3.1 Analisi tramite indici di autocorrelazione spaziale

L'analisi empirica inizia esaminando il settore manifatturiero, con riferimento al totale dei salari pagati a livello statale e di contea. È importante ricordare che, mentre l'Indice globale di Moran fornisce una misura sintetica dell'autocorrelazione spaziale complessiva su tutta l'area di studio, le mappe locali (Local Moran's I, o LISA) permettono invece di individuare in modo puntuale le aree che presentano concentrazioni o anomalie significative. Anche in presenza di un valore globale modesto, possono infatti emergere cluster locali rilevanti, come avviene nel nostro caso. Questo approccio fornisce, quindi una base solida per la mappatura delle concentrazioni economiche. Il primo passo prevede il calcolo dell'indice globale di Moran a livello di stati.

Figura 3. Distribuzione spaziale dell'indicatore salariale nelle contee degli Stati Uniti



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

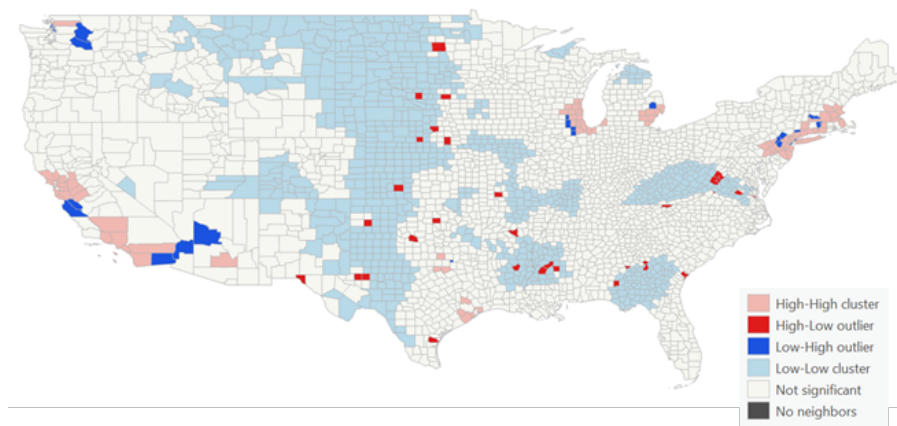
Come si evince dal report generato con *ArcGIS Pro 3.2* (Figura 1), i valori a livello statale risultano distribuiti spazialmente in modo casuale, con un p -value pari a 0.523. Tuttavia, l'analisi condotta a livello di contea restituisce un risultato opposto: il report indica chiaramente una distribuzione non casuale (p -value < 0.001), rigettando quindi l'ipotesi nulla di assenza di autocorrelazione spaziale. Questa tendenza è ulteriormente confermata dal supporto visivo fornito dall'indice locale di autocorrelazione, ovvero l'*Anselin Local Moran's I (LISA)*², rappresentato in Figura 2, nonché dall'analisi degli *hotspot* condotta mediante l'indice di *Getis-Ord Gi**, illustrata in Figura 3.

Prima di considerare la distribuzione della variabile in sé, è utile osservare la conformazione della rete territoriale per una corretta interpretazione dei risultati. La densità delle con-

2 L'analisi è stata calcolata considerando una relazione spaziale di distanza inversa, che attribuisce un peso maggiore alle relazioni di stretta prossimità, utilizzando il metodo di distanza euclideo e la standardizzazione per riga. È stata inoltre applicata la correzione *False Discovery Rate* (FDR) per controllare l'errore di tipo I nelle analisi multiple. L'intervallo di confidenza adottato è pari al 95%, con un totale di 9,999 permutazioni, al fine di ottenere un valore di significatività pari a $p \leq 0.0001$.

tee risulta infatti molto più elevata nella parte orientale del Paese, in ragione della maggiore urbanizzazione, mentre nella parte occidentale esse appaiono più ampie e meno numerose. Tale configurazione geografica, unita all'elevato numero di osservazioni, può rendere più complessa la lettura complessiva dei fenomeni; tuttavia, nel presente caso, l'organizzazione spaziale emerge con sufficiente chiarezza. L'impiego del *Geographic Information System* (GIS) ha consentito di visualizzare i risultati dell'indice di autocorrelazione spaziale locale e di individuare i cluster statisticamente significativi, secondo le quattro categorie previste. In particolare, sono rappresentati in rosa i raggruppamenti di valori elevati (*high-high*), in rosso i valori elevati circondati da valori bassi (*high-low*), in blu i valori bassi circondati da valori elevati (*low-high*), e in azzurro i raggruppamenti di valori bassi (*low-low*).

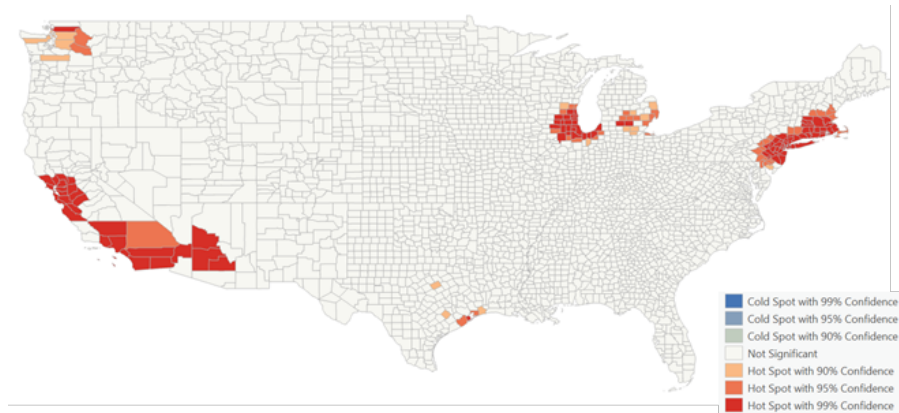
Figura 4. Indice locale di Moran per il totale degli stipendi nel settore manifatturiero a scala di contea



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

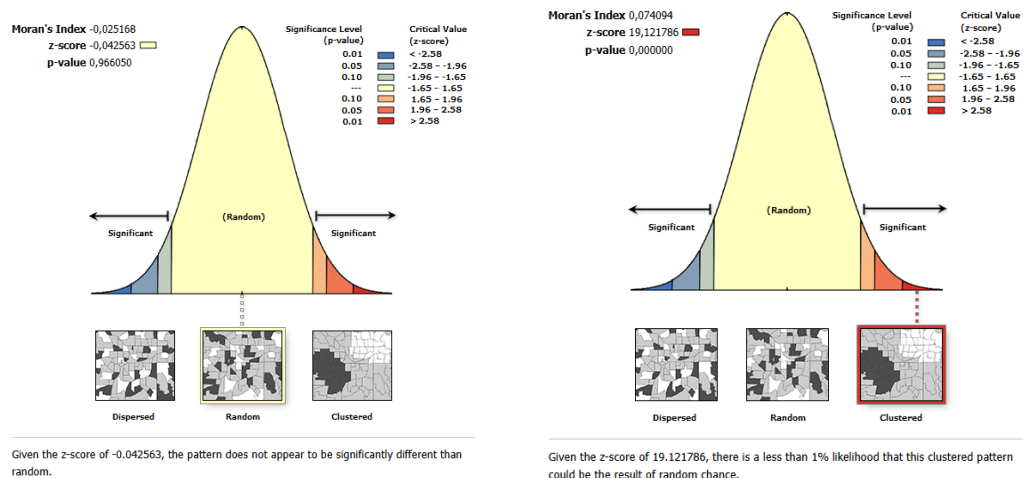
Dalla Figura 4 emerge come una minore attività manifatturiera sia localizzata soprattutto nelle aree centrali del Paese, a est delle Montagne Rocciose, ma anche in altre regioni, quali Virginia, West Virginia (in passato parte della cosiddetta *Manufacturing Belt*) e Georgia. Raggruppamenti di tipo *high-high* emergono invece in due zone della costa occidentale e in altrettante del Nord-Est. Questi cluster risultano confermati come significativi dall'indice di Getis-Ord G_i^* (Figura 5). Si osserva, in particolare, come ad Ovest spicchi l'area della California: non a caso, qui è presente un importante distretto di tecnologia avanzata, con grandi imprese specializzate nella produzione di processori e componenti per l'informatica (ad es., Intel, Nvidia). Un altro cluster significativo si trova attorno alla baia di San Francisco. Nel Nord-Est, si osservano due *hotspot* significativi: il più intenso ed esteso ha come fulcro New York, mentre l'altro è localizzato in corrispondenza del Lago Michigan, dove si trovano centri rilevanti quali Chicago (Illinois) e Milwaukee (Wisconsin). Replichiamo le stesse analisi per il settore finanziario. Anche in questo caso, l'Indice globale di Moran a livello di Stati non evidenzia valori significativi; rivolgiamo dunque l'attenzione alla scala delle contee. A questo livello, l'Indice globale di Moran — pari a 0.07, con z -score di 19.12 e p -value < 0.001 — evidenzia una marcata autocorrelazione spaziale.

Figura 5. Indice di Getis-Ord G_i^* per il totale degli stipendi nel settore manifatturiero a scala di contea



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

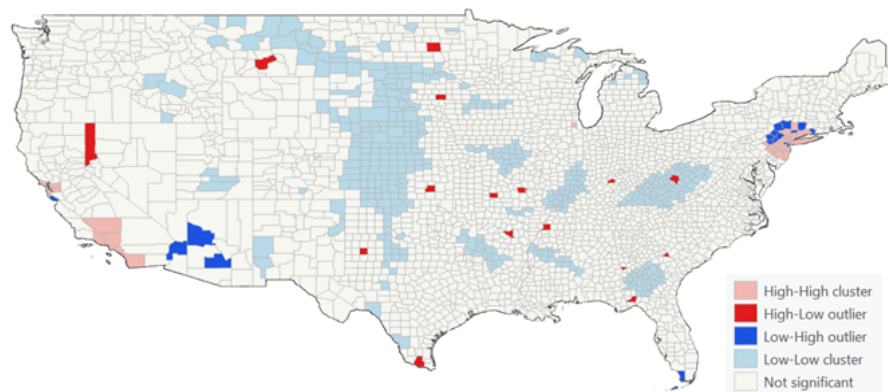
Figura 6. Indice globale di Moran misurato per il totale degli stipendi nel settore finanziario a livello statale (a sinistra) e di contea (a destra)



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

Anche in questo caso, l'interpretazione combinata delle mappe LISA (Figura 7) e Getis-Ord Gi* (Figura 8) conferma la presenza di cluster significativi. Il pattern territoriale rispecchia in larga parte quello del settore manifatturiero, ma in modo ancora più accentuato. I cluster si concentrano quasi esclusivamente lungo le coste: ad Ovest, come nel caso precedente, ne emergono due in California — uno attorno alla *Silicon Valley* e l'altro nella baia di San Francisco. Sulla costa orientale, l'unico cluster di rilievo è quello nei pressi di New York, contea che presenta i valori nominali più elevati del Paese, coerentemente con la sua consolidata natura di città globale (Sassen, 1999). Un segnale più debole si registra anche nell'area di Miami, sebbene con un'estensione e un livello di confidenza inferiori.

Figura 7. Indice locale di Moran per il totale degli stipendi nel settore della finanza a scala di contea



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

Figura 8. Indice Getis-Ord Gi* per il totale degli stipendi nel settore della finanza a scala di contea



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

3.2 Analisi tramite modelli gravitazionali

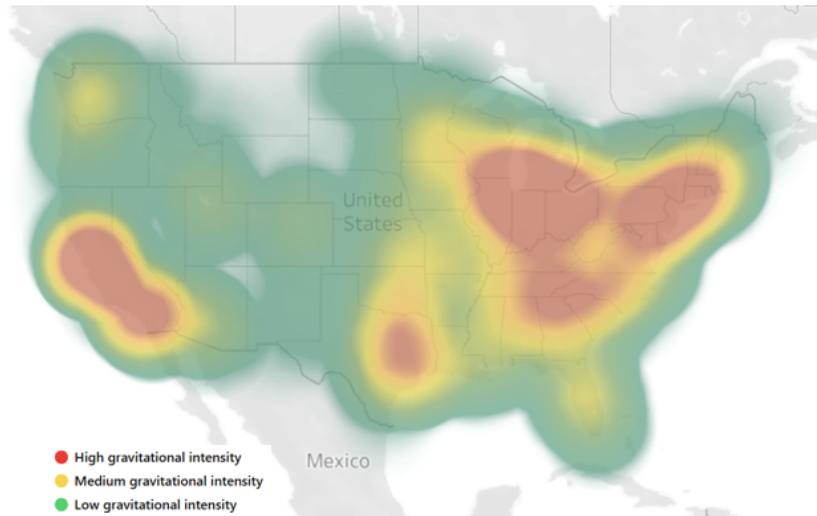
Dopo aver applicato gli indici di autocorrelazione spaziale, l'analisi prosegue con l'utilizzo del modello gravitazionale, ispirato alle formulazioni di Isard (1954) e (Stewart, 1947). L'obiettivo è individuare le principali polarità economiche interne agli Stati Uniti, modellando le interazioni spaziali attraverso il concetto di attrazione gravitazionale. La mappa scalare gravitazionale è stata realizzata mediante la piattaforma di geolocalizzazione *Visual Analytics*, aggregando spazialmente i valori osservati per costruire un campo gravitazionale in cui l'intensità cromatica rappresenta la concentrazione del salario totale nelle diverse aree geografiche.

Come osservato anche in studi recenti (Broitman, 2020), l'analisi evidenzia la presenza di polarità attrattive differenti, dislocate in varie aree del Paese, i cui risultati sono illustrati nelle Figure 9 (settore manifatturiero) e 10 (settore finanziario). Le polarità individuate confermano le dinamiche già emerse dalle analisi precedenti. Lungo la costa orientale si distinguono in particolare le città di New York City e Washington D.C., che ospitano grandi conglomerati aziendali e importanti istituzioni finanziarie. Il Midwest, e in particolare Chicago e l'area limitrofa ai Grandi Laghi, mostra una notevole concentrazione della produzione manifatturiera, sebbene con una forza attrattiva inferiore rispetto alle aree costiere. Sulla costa occidentale, la *Silicon Valley* e Los Angeles rappresentano uno dei principali poli di innovazione industriale e tecnologica, costituendo una delle maggiori forze di attrazione del modello. Anche il Texas e, più in generale, il Sud-Est del Paese — con città come Dallas, Houston, Atlanta e Miami — si configurano come nuovi centri attrattivi, probabilmente in virtù di politiche più liberalizzate, di un'urbanizzazione consolidata e di recenti investimenti infrastrutturali.

Rispetto ai risultati ottenuti mediante gli indici di Moran e di Getis-Ord G_i^* , il modello gravitazionale offre una prospettiva complementare, in quanto tiene esplicitamente conto della distanza economica — una dimensione che, nelle analisi di autocorrelazione spaziale, viene considerata solo indirettamente in funzione della struttura della matrice dei pesi spaziali adottata. In letteratura, l'inclusione della distanza economica nella costruzione della matrice \mathbf{W} è stata esplorata da diversi autori: (Pietrzak, 2010) ha evidenziato l'importanza di tale variabile nella misurazione delle interazioni economiche, mentre approcci più sofisticati sono stati proposti da (ParentLeSage, 2008), con la definizione di una matrice \mathbf{W} “annidata”, in grado di incorporare molteplici dimensioni di prossimità — economiche, tecnologiche e infrastrutturali (Zhu, 2022). Sebbene varie metodologie siano state sviluppate, molte analisi spaziali continuano a trascurare la dimensione economica nella definizione della matrice dei pesi. Il presente studio, al contrario, intende valorizzare l'integrazione tra prossimità economica e dinamiche spaziali, proponendo un utilizzo congiunto dei modelli gravitazionali e degli indici di autocorrelazione come strumento per una lettura più completa e multilivello delle polarizzazioni territoriali.

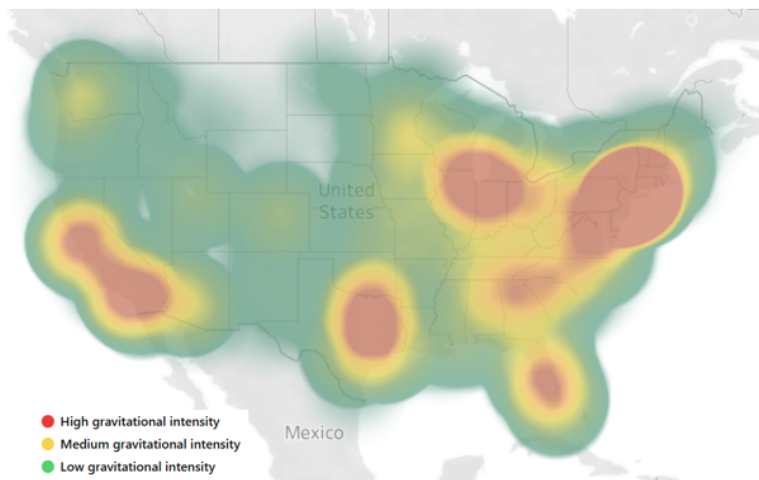
Le polarità individuate confermano le dinamiche precedentemente emerse. Lungo la costa Est si distinguono le città di New York City e Washington D.C., che ospitano grandi conglomerati aziendali e importanti istituzioni finanziarie. Il Midwest, in particolare Chicago e l'area limitrofa ai Grandi Laghi, presenta una significativa concentrazione della produzione manifatturiera, sebbene con una forza attrattiva minore rispetto alle aree costiere.

Figura 9. Heat-map del modello gravitazionale per il totale degli stipendi nel settore manifatturiero



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

Figura 10. Heat-map del modello gravitazionale per il totale degli stipendi nel settore della finanza



Fonte: elaborazione propria su dati U.S. Bureau of Labor Statistics

re. Sulla costa Ovest, la Silicon Valley e Los Angeles costituiscono uno dei principali poli di innovazione industriale e tecnologica, rappresentando una delle maggiori forze di attrazione del modello. Anche il Texas e, più in generale il Sud-Est, con città come Dallas, Houston, Atlanta e Miami, appaiono come nuovi centri attrattivi, probabilmente grazie a politiche più liberalizzate, ad un'urbanizzazione consolidata e a nuove opere infrastrutturali.

4 Un confronto tra metodi di analisi spaziale

L'Indice globale di Moran, allo stesso modo di quello locale, nonché dell'indice di Getis-Ord, rappresenta uno strumento consolidato per individuare concentrazioni geografiche e cluster significativi. Tuttavia, tali metodi sono generalmente costruiti sulla base della vicinanza fisica tra le unità territoriali, come definita dalla matrice dei pesi spaziali W . È questa matrice, come illustrato nella sezione metodologica, a determinare se includere o meno interazioni a lungo raggio³. Nella maggior parte delle applicazioni empiriche, W viene costruita considerando soltanto relazioni tra regioni geograficamente contigue o vicine. Questo rappresenta un limite significativo nelle analisi, poiché la sola vicinanza geografica non è sempre il principale fattore determinante nella formazione di poli di attrazione economica. Ad esempio, un centro finanziario come New York possiede un forte impatto anche su zone geograficamente remote, come Miami e Los Angeles, proprio attraverso la presenza di relazioni commerciali a lungo raggio. Tali legami non sono, dunque, catturati dagli indici classici di autocorrelazione spaziale. Il modello gravitazionale, al contrario, implementa direttamente il concetto di distanza economica, superando la necessità di definire una matrice W ad hoc e offrendo un'alternativa metodologica per analizzare le polarizzazioni territoriali. L'analisi svolta tramite l'Indice Getis-Ord G_i^* conferma la presenza di hotspot economici nelle aree ad alta concentrazione salariale. Tuttavia, questo metodo non distingue tra regioni economicamente interconnesse ed aree che emergono come poli attrattivi indipendenti. Il modello gravitazionale, al contrario, misura l'intensità dell'attrazione economica esercitata da ogni polo, permettendo di valutare la potenza dell'influenza di una regione su un'altra. Questa tecnica è particolarmente adatta nel rilevare i cosiddetti fenomeni di "cattedrali nel deserto", cioè aree economicamente importanti, ma isolate sul piano geografico. Ad esempio, alcuni distretti manifatturieri ad alta tecnologia nel Texas centrale e in Arizona, non emergono come cluster significativi negli indici di autocorrelazione spaziale, ma risultano, come detto, poli di attrazione economica evidenti nell'analisi gravitazionale. Questo dimostra come il modello possa integrare e arricchire l'interpretazione fornita dalle tecniche di analisi spaziale più tradizionali. Per maggiore chiarezza, il confronto tra i metodi adoperati nello studio è riassunto in tabella 1. Il loro utilizzo combinato offre un'analisi più completa della situazione economica statunitense, generando anche spunti utili per la formulazione di strategie di sviluppo territoriale.

3 Utilizzando ad esempio un numero K più elevato di vicini in fase di costruzione della matrice, prendendo in considerazione una distanza più ampia (implementando quindi un algoritmo kNN, K-nearest neighbors), oppure rimuovendo direttamente la distanza massima (cut-off) oltre cui il peso tra due unità si azzera automaticamente, reputando perciò ogni regione del campione come possibile vicino, per quanto lontano questo possa essere.

Nessuno dei metodi analizzati è privo di criticità. Le tecniche dell'analisi spaziale ad esempio, sono fortemente influenzate dal criterio adottato per costruire la matrice dei pesi W , come già evidenziato: nei diversi esempi riportati nel testo, si possono infatti osservare numerose definizioni, tratte da diversi ambiti (geografico, economico, ecc.), assegnate al concetto di distanza. In secondo luogo, gli indici di Moran, sia globale che locale, dipendono dagli scarti dalla media della variabile di riferimento, rendendoli fortemente sensibili ad outliers. Nel caso specifico dell'indice locale di Moran inoltre, analogamente a quanto accade anche per l'indice di Getis-Ord, unità geografiche "parzialmente isolate", ovvero caratterizzate da uno scarso numero di vicini (Contee), presentano un minor quantitativo di informazione disponibile, determinando quindi risultati con maggiori probabilità di distorsione o non significatività. Un'altra ipotesi critica, condivisa dagli indici spaziali tradizionali, riguarda la linearità delle relazioni spaziali: si assume che entità vicine abbiano relazioni proporzionali, ipotesi che potrebbe non reggere in contesti economici caratterizzati da effetti soglia, complementarità o discontinuità. Anche il modello gravitazionale, sebbene utile per rappresentare in modo sintetico le interazioni spaziali, si basa su ipotesi semplificate – come la simmetria delle relazioni, la forma fissa della funzione di distanza e le diverse possibili formulazioni relative alla "massa" delle unità statistiche – che potrebbero non riflettere pienamente la complessità dei fenomeni reali. Inoltre, l'uso di dati aggregati per contea può introdurre problemi legati a disomogeneità interne o ad effetti di scala, che potrebbero a loro volta introdurre distorsioni nei risultati.

5 Conclusioni

Questo studio fornisce un'indagine dettagliata delle dinamiche spaziali dei salari nel settore manifatturiero e finanziario negli Stati Uniti, combinando le tecniche di analisi spaziale convenzionali e il modello gravitazionale. L'ampio dataset utilizzato, che raccoglie più di 3000 contee, permette di avere una visione dettagliata della distribuzione economica, superando alcune delle limitazioni riscontrate negli studi precedenti, basati su aggregazioni territoriali più ampie o su metodologie singole. L'aspetto più innovativo di questa ricerca risiede proprio nel confronto sistematico tra approcci metodologici spesso considerati alternativi e raramente integrati in letteratura. Mentre gli indicatori di autocorrelazione spaziale – Indice globale e locale di Moran, Indice Getis-Ord – si interessano alla distribuzione spaziale della variabile in esame e alla presenza di cluster ed hotspot economici, il modello gravitazionale fornisce una componente dinamica che implementa direttamente la distanza economica e definisce la capacità di attrazione delle diverse regioni. Questo confronto ha quindi evidenziato come l'uso combinato di tali tecniche possa fornire un quadro più ricco e articolato della geografia economica statunitense, permettendo non solo di individuarne i poli principali, ma anche di quantificare le interazioni tra le diverse aree. I risultati ottenuti confermano, infatti, la rilevanza di specifiche regioni, come conseguenza della presenza di cluster ben definiti nelle principali città costiere, ad esempio New York e San Francisco, ed una chiara concentrazione del settore manifatturiero nel Midwest. L'analisi gravitazionale ha, inoltre, permesso di evidenziare fenomeni che non emergerebbero da un'analisi puramente spaziale, come il ruolo crescente di nuove aree attrattive nel Sud-Est e nel Texas, oltre alla presenza di centri isolati con una forte capacità economica, spesso trascurati dai

modelli basati esclusivamente sulla contiguità geografica. Altro contributo significativo di questa ricerca, come anticipato, è l'utilizzo di mappe scalari nell'applicazione di misure di attrazione economica, una scelta che allarga l'orizzonte ad ulteriori prospettive di analisi nel quadro della geografia economica. L'adozione di questa tecnica consente infatti di integrare variabili economiche e spaziali in una sola mappa, migliorando ulteriormente la comprensione delle dinamiche regionali, e offrendo spunti interessanti per la pianificazione territoriale e l'attività di politiche economiche. In sintesi, il presente lavoro rappresenta un passo in avanti nello studio dell'analisi spaziale applicata all'economia, perché propone un modello che combina strumenti storici con approcci innovativi al fine di restituire una rappresentazione più realistica. La metodologia multidimensionale utilizzata permette anche di imprimere un marchio di modello riproducibile per ulteriori ricerche su altre regioni geografiche o su diversi settori economici. La potenziale integrazione di queste tecniche con dati aggiornati, nonché analisi longitudinali, offre una promettente prospettiva per la futura ricerca, aprendo la strada allo sviluppo di metodi sempre più precisi nello studio della distribuzione economica e delle forze che la muovono. Tra le prospettive future più promettenti, si segnala l'integrazione con ulteriori strumenti analitici, come le funzioni di Ripley - in particolare la funzione K, e una sua trasformazione, la funzione L di Besag. Queste permettono di valutare la presenza e l'intensità di aggregazioni spaziali su differenti scale, migliorando l'interpretazione dei pattern di clustering e dispersione. L'integrazione di tali tecniche con i metodi presentati in questo studio potrebbe quindi contribuire allo sviluppo di strumenti sempre più accurati e completi per l'analisi della distribuzione economica e delle forze che la plasmano.

Tabella 1. Confronto tra modelli di analisi spaziale: metodi e applicazioni.

Metodo	Focus	Cont.	Outlier	Output	Adatto a
Global Moran	Correlazione spaziale globale	Sì	Concentrazione globale	Singolo, globale	Analisi globale di pattern spaziali
Local Moran	Identificazione cluster locali	Sì	Locali	Mappa cluster	Analisi di cluster locali
Getis-Ord Gi*	Identificazione hotspot	Sì	Hotspot	Mappa hotspot	Analisi di cluster locali
Modello gravitazionale	Distanza massa economica	e No	Estremi	Mappa potenziale economico	Analisi del potenziale economico

Fonte: elaborazione propria.

Ringraziamenti

Ringraziamo l'European Youth Think Tank per averci dato spazi e possibilità di incontrarci per sviluppare l'idea iniziale e alcune parti di questo articolo.

Riferimenti bibliografici

- Abdallah, N. B. e Dabbou, H. e. I. G. M. (2022). The contribution of spatial econometrics in the field of empirical finance. *Review of Economics e Finance*, 20:17–31.
- Anselin, Luc e Bera, A. K. (1998). Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In Ullah, Aman e Giles, D. E., editor, *Handbook of Applied Economic Statistics*, pages 237–289.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods e Models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Atkinson, Robert e Muro, M. e. W. J. (2019). *The Case for Growth Centers*. Brookings Institution, Washington, DC.
- Autant-Bernard, Corinne e Mairesse, J. e. M. N. (2007). Spatial knowledge diffusion through collaborative networks. *Papers in Regional Science*, 86(3):341–350.
- Balle, Pierre-Alexandre e Jara-Figueroa, C. e. P. S. G. e. S. M. P. A. e. R. D. L. e. H. C. A. (2020). Complex economic activities concentrate in large cities. *Nature Human Behaviour*, 4:248–254.
- Brun, Jean-François e Carrère, C. e. G. P. e. d. M. J. (2005). Has distance died? evidence from a panel gravity model. *The World Bank Economic Review*, 19(1):99–120.
- Bruna, F. (2024). Market potential: the measurement of domestic market size. *Letters in Spatial e Resource Sciences*, 17(13).
- Cairncross, F. (2001). *The Death of Distance 2.0*. Texere Publishing, London.
- Capoani, L. (2023a). Review of the gravity model: Origins e critical analysis of its theoretical development. *SN Business & Economics*, 3(5):95.
- Capoani, L. (2023b). Theory of commercial gravitational fields in economics: The case of Europe. *Networks e Spatial Economics*.
- Capoani, L. (2024). The gravity equation in international trade: An overview of the introduction of gravity to the study of economics e its systematic barriers. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 31(3):487–520.
- Cliff, Andrew D. e Ord, J. K. (1973). *Spatial Autocorrelation*. Pion, London.
- Cliff, Andrew D. e Ord, J. K. (1981). *Spatial Processes: Models e Applications*. Pion, London.
- Cooper, W. H. (2014). Free trade agreements: Impact on US trade e implications for US trade policy. Technical report, Congressional Research Service.
- dos Santos, Daniel A. e Lopes, T. R. e. D. F. M. e. D. S. N. (2024). Evaluation of deforestation, climate change e CO₂ emissions in the Amazon biome using the Moran index. *Journal of South American Earth Sciences*, 143.
- Feenstra, James E. e van Wincoop, E. (2003). Gravity with gravitas: A solution to the border puzzle. *American Economic Review*, 93(1):170–192.
- Ertur, Cem e Koch, W. (2007). Growth, technological interdependence e spatial externalities: theory e evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(6):1033–1062.
- Esri (2025). Spatial weights. ArcGIS Pro Documentation.
- Farinelli, F. (2003). *Geografia. Un'introduzione ai modelli del mondo*. Einaudi, Torino.
- Fingleton, B. (2003). Increasing returns: Evidence from local wage rates in Great Britain. *Oxford Economic Papers*, 55(4):716–739.
- Florida, Richard e Mellé, C. (2019). The geography of the global super-rich. *Cities*,

88:112–124.

- Florida, R. (2017). Why america's richest cities keep getting richer. *The Atlantic*.
- Fotheringham, A. Stewart e Brunsdon, C. e. C. M. (2000). *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*. SAGE Publications.
- Frey, Carl Benedikt e Berger, T. e. C. C. (2018). Political machinery: did robots swing the 2016 us presidential election? *Oxford Review of Economic Policy*, 34(3):418–442.
- Fujita, Masahisa e Thisse, J.-F. (2003). Does geographical agglomeration foster economic growth? e who gains e loses from it? *The Japanese Economic Review*, 54(2):121–145.
- Fujita, Masahisa e Krugman, P. e. V. A. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions, e International Trade*. MIT Press, Cambridge.
- Galster, George e Hanson, R. e. R. M. R. e. W. H. e. C. S. e. F. J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: defining e measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12(4):681–717.
- Gerten, Christian e Fina, S. e. R. K. (2019). The sprawling planet: simplifying the measurement of global urbanization trends. *Frontiers in Environmental Science*, 7:140.
- Graaflé, Johan e Verbruggen, H. (2021). Free-market, perfect market e welfare state perspectives on “good” markets: an empirical test. *Applied Research in Quality of Life*, 17:1113–1136.
- Griffith, D. A. (2009). Celebrating 40 years of scientific impacts by cliff e ord. *Geographical Analysis*, 41(4):343–345.
- Gwartney, James e Lawson, R. e. H. J. e. M. R. (2020). Economic freedom of the world: 2020 annual report.
- Harris, C. D. (1954). The market as a factor in the localization of industry in the united states. *Annals of the Association of American Geographers*, 44(4):315–348.
- Huang, Albert e Levinson, D. (2009). Retail location choice with complementary goods: An agent-based model. In *Complex Sciences: First International Conference, Complex 2009, Shanghai, China, February 23–25, 2009. Revised Papers, Part 1*, pages 175–187. Springer Berlin Heidelberg.
- Hudgins, E. L. (1997). *Freedom to Trade. Refuting the New Protectionism*. Cato Institute, Washington, DC.
- Isard, W. (1954). Location theory e trade theory: Short-run analysis. *The Quarterly Journal of Economics*, 68(2):305–320.
- Isard, W. (1956). *Location e Space-Economy: A General Theory Relating to Industrial Location, Market Areas, Le Use, Trade, e Urban Structure*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Johnson, P. (2018). *New Firms: An Economic Perspective*. Routledge.
- Jones, Ronald W. e Kierzkowski, H. (2005). International fragmentation e the new economic geography. *The North American Journal of Economics e Finance*, 16(1):1–10.
- Klimczuk, erzej e Klimczuk-Kochańska, M. (2019). Core-periphery model. In Romaniuk, Scott Nicholas e Thapa, M. e. M. P., editor, *The Palgrave Encyclopedia of Global Security Studies*, pages 1–8. Palgrave Macmillan.
- Krugman, P. (1992). A dynamic spatial model. NBER Working Paper 4219, National Bureau of Economic Research.

- Lewis, R. D. (2008). *Chicago Made: Factory Networks in the Industrial Metropolis*. University of Chicago Press, Chicago.
- Martinez, Leonardo e Steven, A. e. D. M. (2016). East coast vs. west coast: Analyzing the routing choices of asian exporters to the us. *Transportation Research Part E: Logistics e Transportation Review*, 91:274–289.
- McNeill, D. (2016). Governing a city of unicorns: technology capital e the urban politics of san francisco. *Urban Geography*, 37(4):494–513.
- Nijkamp, Peter e Broitman, D. e. K. K. e. R. W. (2021). Gravitational analysis in regional science e spatial economics: A vector gradient approach to trade. *International Regional Science Review*, 44(3-4):400–431.
- Nijkamp, Peter e Paelinck, J. (1974a). Geometric programming e entropy maximizing models. *JORBEL – Belgian Journal of Operations Research, Statistics, e Computer Science*, 14(1):1–18.
- Nijkamp, Peter e Paelinck, J. H. (1974b). A dual interpretation e generalization of entropy-maximization models in regional science. In *Papers of the Regional Science Association*, volume 33, pages 13–31. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Nijkamp, P. (1975). Reflections on gravity e entropy models. *Regional Science e Urban Economics*, 5(2):203–225.
- Ohlin, B. (1933). *Interregional e International Trade*. Harvard University Press, Cambridge.
- Park, S. C. (2018). Us protectionism e trade imbalance between the us e northeast asian countries. *International Organisations Research Journal*, 13(2):76–100.
- Piketty, T. (2014). *Capital in the Twenty-First Century*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Rappaport, Jordan e Sachs, J. D. (2003). The united states as a coastal nation. *Journal of Economic Growth*, 8(1):5–46.
- Ren, X. (2021). Suburbs e urban peripheries in a global perspective. *City & Community*, 20(1):38–47.
- Rietveld, Piet e Vickerman, R. (2004). Transport in regional science: The “death of distance” is premature. *Papers in Regional Science*, 83(1):229–248.
- Sassen, S. (1999). Global financial centres. *Foreign Affairs*, 78(1):75–87.
- Sinclair-Smith, Ken e Turok, I. (2012). The changing spatial economy of cities: An exploratory analysis of cape town. *Development Southern Africa*, 29(3):391–417.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature e Causes of the Wealth of Nations*. W. Strahan e T. Cadell, London.
- Tinbergen, J. (1962). *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. The Twentieth Century Fund.
- Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the detroit region. *Economic Geography*, 46:234–240.
- Tranos, Emmanouil e Nijkamp, P. (2013). The death of distance revisited: Cyber-place, physical e relational proximities. *Journal of Regional Science*, 53(5):855–873.
- Weber, A. (1911). Die steortslehre und die heelspolitik. *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, pages 674–677.
- Zhang, Z. (2016). Introduction to machine learning: k-nearest neighbors. *Annals of*

Translational Medicine, 4(11).

Zhu, Peiyuan e Li, J. e. H. Y. (2022). Applying a population flow-based spatial weight matrix in spatial econometric models: Conceptual framework e application to covid-19 transmission analysis. *Annals of the American Association of Geographers*, 112(8):2266–2286.