

Beniamino Murgante, Francesco Scorza

Autocorrelazione Spaziale e Pianificazione del Territorio: Principi ed Applicazioni

L'autocorrelazione spaziale ha importanti implicazioni nella pianificazione del territorio, poiché consente di identificare i modelli di distribuzione spaziale delle caratteristiche geografiche, come la densità della popolazione, la disuguaglianza sociale, la distribuzione delle attività commerciali e la presenza di servizi pubblici. La conoscenza di tali modelli può aiutare i pianificatori a identificare le aree che richiedono particolare attenzione e interventi specifici. Inoltre, l'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per valutare l'efficacia delle politiche di pianificazione territoriale e sviluppo urbano, per identificare i processi di gentrificazione o di esclusione sociale in determinate zone e per valutare l'impatto di politiche di housing o di sviluppo economico sulle disuguaglianze territoriali.

L'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per identificare le aree di rischio o la vulnerabilità in caso di eventi naturali o di disastri, come terremoti, alluvioni o incendi. Identificare le zone ad alto rischio può aiutare i pianificatori a sviluppare politiche di prevenzione e di emergenza per ridurre al minimo i danni in caso di eventi catastrofici.

L'autocorrelazione spaziale è una tecnica di analisi utilizzata nella salvaguardia ambientale per identificare e mappare la distribuzione spaziale delle caratteristiche ambientali e valutare la loro relazione con altre variabili ambientali o socio-economiche.

In particolare, l'analisi dell'autocorrelazione spaziale è utilizzata per valutare se le caratteristiche ambientali si distribuiscono in modo casuale o se esiste una tendenza a raggrupparsi in aree specifiche.

Questo tipo di analisi è particolarmente utile nella valutazione dell'impatto ambientale delle attività umane, come l'industrializzazione, l'agricoltura intensiva e lo sviluppo urbano. Inoltre, l'analisi dell'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per identificare le aree prioritarie in cui concentrare gli sforzi di salvaguardia e ripristino ambientale.

In questo volume illustrati tutti i fondamenti dell'autocorrelazione spaziale, mostrando anche dei casi studio.

Beniamino Murgante

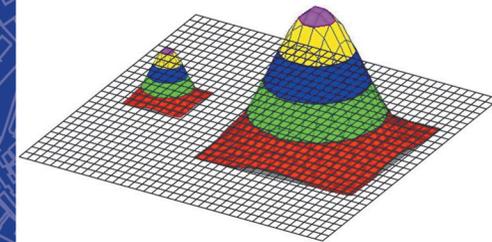
Docente di Pianificazione Territoriale presso la Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata. Dottore di ricerca in Scienze e Metodi per la Città e il Territorio Europei presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa, ha svolto attività di ricerca presso il "Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information" dell'Institut National des Sciences Appliquées di Lione, diretto dal Professor Robert Laurini. È autore di oltre 200 pubblicazioni internazionali su rivista nel settore delle tecnologie applicate alla città ed al territorio. Membro dell'Editorial Board di numerose riviste internazionali, di comitati scientifici di molte conferenze nazionali ed internazionali e del consiglio scientifico di alcune organizzazioni nazionali ed internazionali. Presidente del consiglio scientifico della Computational Science and Its Applications (ICCSA) Association. Responsabile Scientifico del Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi Urbani e Territoriali della Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata. Coordinatore del Consiglio dei corsi di Studio in Ingegneria Civile-Ambientale della Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata.

Francesco Scorza

Ingegnere ambientale e Dottore di Ricerca in "Scienze e metodi per la città e il territorio europei" presso l'Università degli Studi di Pisa, dal 2006 sviluppa attività di ricerca applicata alle discipline della pianificazione urbana e regionale presso il Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi Urbani e Territoriali (LISUT) della Scuola di Ingegneria (SI) dell'Università degli Studi della Basilicata. Dal 2019 è Professore Associato di Pianificazione Urbana e Territoriale presso la Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi della Basilicata. I principali settori di interesse scientifico riguardano lo sviluppo regionale, la pianificazione urbana e territoriale con approfondimenti relativi alla valutazione dell'impatto di piani e progetti, la gestione della conoscenza a supporto del processo di pianificazione con riferimento a strumenti, tecnologie e approcci innovativi (DSS), mobilità urbana sostenibile. È stato consulente per enti pubblici e privati nell'ambito di attività di ricerca tecnico-scientifica per il coordinamento e lo sviluppo di progetti europei di cooperazione transnazionale. È membro di società scientifiche internazionali. Dal 2018 è Presidente della sezione lucana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica (INU).

Beniamino Murgante, Francesco Scorza

Autocorrelazione Spaziale e Pianificazione del Territorio: Principi ed Applicazioni



ISBN 978-88-6764-323-3



euro 12,00

9 788867 643233



L I B R I A

Territorio e Cultura di Piano

Territorio e Cultura di Piano
A P R I L E 2 0 2 3

Direttore Responsabile

Piergiuseppe Pontrandolfi

Casa Editrice Libria
Melfi / Italia
www.librianet.it

ISBN 978 88 6764 323 3

Tutti i diritti di riproduzione, anche parziale
del testo e delle immagini, sono riservati.

Stampato in Italia
per conto della Casa Editrice Libria

Beniamino Murgante, Francesco Scorza

**AUTOCORRELAZIONE SPAZIALE E PIANIFICAZIONE
DEL TERRITORIO: PRINCIPI ED APPLICAZIONI**

L I B R I A

INDICE

Informazione geografica e pianificazione del territorio	9
I fondamenti dell'Autocorrelazione Spaziale	15
1 La prima legge della geografia di Waldo Tobler	
2 Tecniche di statistica Spaziale	17
2.1 Point Pattern Analysis	18
2.1.1 Statistiche centrografiche	19
2.1.2 Indici basati su misure di densità	21
Il metodo Quadrat Counts	21
La Kernel Density Estimation	22
2.1.3 Indici basati su misure di distanza	27
3 Autocorrelazione Spaziale	28
3.1 Indicatori Globali e Locali di Autocorrelazione Spaziale	29
Applicazioni di Autocorrelazione Spaziale alla pianificazione del territorio	
1 Introduzione	45
2 Analisi dei fenomeni immigratori mediante tecniche di autocorrelazione spaziale	46
2.1 Dati e metodologia	47
2.1.1 Il fenomeno migratorio: tecniche di analisi tradizionali	47
Indice di efficacia migratoria	48
Quoziente di localizzazione	49
Indice di dissimilarità	50
Autocorrelazione spaziale e fenomeni migratori	52
2.2 La distribuzione spaziale degli immigrati in Italia	53
2.3 Conclusioni	66
3 Individuazione di aree urbane da rigenerare mediante indicatori di autocorrelazione spaziale	70
4 Individuazione di aree periurbane del sistema insediativo della provincia di Potenza mediante tecniche di autocorrelazione spaziale	80
Conclusioni	93
Riferimenti Bibliografici	99

Informazione geografica e pianificazione del territorio

Da alcuni decenni, il concetto di Sistema Informativo Territoriale (SIT) è stato incorporato con vari livelli di dettaglio nelle normative urbanistiche regionali, inserendo di fatto l'analisi geografica nel campo dell'urbanistica. Nonostante questa riconosciuta importanza, i SIT sono stati poco utilizzati dedicati a supportare le decisioni nel settore della pianificazione territorio. In molti casi, questi strumenti sono stati sviluppati in una fase successiva alla redazione del piano per puri fini di visualizzazione o per consentire l'inserimento del piano nei geo-portali regionali. Questo avviene ad esempio quando si utilizza un Sistema Informativo Geografico (GIS) principalmente per scopi di digitalizzazione, convertendo i dati cartacei dei documenti di piano. Una volta completata la stesura del Piano, il Sistema Informativo Territoriale (SIT) diventa uno strumento essenziale per facilitare l'attuazione e il monitoraggio continuo dei risultati previsti. Si tratta di avere accesso all'"informazione corretta al momento opportuno", ovvero a un insieme di conoscenze che mette a confronto le aspirazioni, i bisogni e le priorità dei cittadini con l'evoluzione del sistema territoriale [1].

La pianificazione del territorio e l'informazione geografica sono strettamente interconnesse e non vanno considerate in maniera separata. L'informazione geografica fornisce una base di conoscenza fondamentale per la pianificazione del territorio. Attraverso dati geografici come mappe, immagini satellitari, dati demografici e ambientali, è possibile comprendere la distribuzione e le caratteristiche spaziali dei fenomeni territoriali. Queste informazioni sono fondamentali per analizzare e valutare le risorse, i vincoli e le potenzialità di un'area, nonché per identificare le opportunità di sviluppo e le problematiche da affrontare.

Nella pianificazione del territorio, l'informazione geografica viene utilizzata per la formulazione di strategie e politiche, la perimetrazione di aree e la definizione confini, la valutazione degli impatti ambientali e la programmazione di nuove infrastrutture. Le analisi

spaziali e le tecniche di modellazione basate sull'informazione geografica consentono di valutare la compatibilità tra diverse attività e di prevedere gli effetti sul territorio.

D'altra parte, la pianificazione del territorio guida anche la raccolta e l'organizzazione dell'informazione geografica. Le esigenze di pianificazione determinano quali dati sono rilevanti e necessari per prendere decisioni informate. Ad esempio, potrebbe essere necessario raccogliere dati sulla popolazione, sulle infrastrutture, sull'uso del suolo e sull'ambiente naturale per supportare la pianificazione territoriale.

In sintesi, la pianificazione del territorio e l'informazione geografica si integrano reciprocamente per supportare decisioni informate e sostenibili riguardo alla gestione e allo sviluppo del territorio. L'informazione geografica fornisce i dati e gli strumenti per l'analisi spaziale, mentre la pianificazione del territorio determina le esigenze informative e guida l'utilizzo dell'informazione geografica per raggiungere obiettivi di sviluppo sostenibile.

È ormai consolidato un approccio alla pianificazione basato su un ufficio specifico in grado di guidare l'intero processo di redazione e di attuazione del piano attraverso un'attività quotidiana. In maniera del tutto analoga andrebbero realizzati i Sistemi Informativi Territoriali (SIT). È essenziale che i SIT vengano sviluppati all'interno della pubblica amministrazione, seguendo le stesse tappe del piano. Il SIT deve essere aggiornato quotidianamente per evitare che i dati diventino obsoleti. Questo permette di simulare varie ipotesi di piano e valutare la loro compatibilità con gli aspetti ambientali, i vincoli normativi, gli investimenti in corso e altri strumenti di pianificazione prodotti da altre amministrazioni. In caso di ipotesi di piano non coerenti o di cambiamenti di contesto, i sistemi informativi geografici consentono di formulare nuove ipotesi di piano e verificare la loro compatibilità. Il sistema informativo territoriale diventa quindi uno strumento fondamentale per il monitoraggio del sistema e la simulazione di scenari futuri.

L'informazione geografica svolge un ruolo fondamentale nella produzione di scenari. Grazie alla disponibilità di dati geografici dettagliati, è possibile analizzare e comprendere i fenomeni spaziali e utilizzare queste informazioni per creare scenari futuri. I sistemi informativi geografici sono strumenti essenziali per creare modelli e simulazioni utili per valutare diversi scenari di sviluppo. La produzione di scenari alternativi consente di esplorare differenti possibili scelte di piano, consentendo di valutare gli effetti sul territorio e sull'ambiente. Ad esempio, è possibile simulare il risultato di diverse strategie di gestione delle risorse o valutare

gli impatti di diverse politiche di sviluppo urbano. L'informazione geografica facilita la produzione di scenari alternativi basati sui dati, fornendo una base solida a supporto di decisioni informate e sostenibili.

I sistemi di supporto alle decisioni sono strumenti utilizzati per assistere i decisori nel processo gestionale e di sviluppo con il fine di indirizzare scelte informate e razionali. Questi sistemi raccolgono, organizzano e analizzano dati e informazioni provenienti da diverse fonti al fine di fornire una base solida per valutare le opzioni disponibili e i possibili risultati delle decisioni da intraprendere. Essi utilizzano algoritmi, modelli e tecniche di analisi per generare report, simulazioni e previsioni che supportano il processo decisionale. Questi sistemi possono essere impiegati in vari settori, come il business, la finanza, la sanità e la gestione delle risorse, consentendo ai decisori di ottenere una visione più chiara e completa delle situazioni complesse e di prendere decisioni più efficaci e strategiche.

Mentre nel settore privato i sistemi di supporto alle decisioni sono stati inseriti in maniera sistematica nella gestione dei processi nel pubblico si continua ad utilizzare approcci tradizionali che non consentono di andare oltre il navigare a vista. Nelle banche, ad esempio, si utilizzano da decenni sistemi di supporto alle decisioni a supporto delle attività finanziarie. L'obiettivo principale di tali sistemi è fornire informazioni tempestive e accurate per facilitare la valutazione dei rischi, la gestione del portafoglio, l'analisi delle performance e altre decisioni strategiche. Grazie a queste soluzioni, le banche possono migliorare l'efficienza operativa, ridurre i rischi e prendere decisioni informate per ottimizzare i risultati finanziari.

L'informazione geografica svolge un ruolo cruciale nel supporto dei processi decisionali in diversi settori, inclusa la pianificazione del territorio. Essa fornisce dati geografici dettagliati e strumenti analitici che consentono di acquisire una comprensione approfondita delle caratteristiche spaziali di un'area e di valutare l'impatto delle decisioni sul territorio.

Il primo passo per consentire una corretta valutazione di scelte è la raccolta, l'organizzazione e la gestione dei dati geografici provenienti da diverse fonti. Questi dati possono includere mappe, immagini satellitari, dati demografici, dati ambientali, dati di infrastrutture e molti altre tipologie di informazioni. La capacità di acquisire e integrare tali dati è fondamentale per una corretta valutazione del contesto territoriale e per supportare le decisioni basate su evidenze.

Questo quadro conoscitivo costituisce la base per utilizzare strumenti e tecniche per l'analisi spaziale, che permettono di esplorare le relazioni tra le diverse variabili geografiche e di

individuare pattern o tendenze nascoste nel territorio. Questa analisi spaziale consente di identificare aree critiche, aree di interesse prioritario o aree ad alto rischio, fornendo un contesto informativo per le decisioni.

L'informazione geografica consente, inoltre, di creare modelli e simulazioni del territorio, permettendo di valutare gli effetti di diverse decisioni e politiche prima della loro implementazione effettiva. Ciò consente di testare scenari alternativi, valutare le conseguenze delle decisioni e guidare la pianificazione in modo più consapevole.

Una volta raccolti ed analizzati i dati è possibile la visualizzazione e la comunicazione delle analisi territoriali in modo chiaro e comprensibile. Attraverso mappe, grafici e visualizzazioni interattive, l'informazione geografica aiuta a comunicare efficacemente le informazioni spaziali complesse ai decisori, facilitando la comprensione e la condivisione delle informazioni tra gli stakeholder.

In sintesi, l'informazione geografica supporta i processi decisionali fornendo dati accurati e dettagliati, strumenti analitici avanzati e capacità di modellazione e simulazione. Attraverso l'utilizzo dell'informazione geografica, i decisori possono prendere scelte più informate, basate su evidenze spaziali, e valutare l'impatto delle decisioni sul territorio in modo più efficace.

Se in tutte le amministrazioni, a qualsiasi livello istituzionale, avessero sviluppato i propri Sistemi Informativi Territoriali (S.I.T.), sarebbe possibile adottare un approccio integrato alla pianificazione territoriale, collegando le rispettive banche dati territoriali e garantendo l'interoperabilità tra le amministrazioni stesse attraverso una logica di collaborazione e concertazione. Questa possibilità è in linea con i principi di sussidiarietà e co-pianificazione presenti in molte leggi urbanistiche regionali, che promuovono modalità di concertazione. Sorge quindi la necessità di coordinamento tra amministrazioni pubbliche, strumenti di programmazione economica e diversi livelli di pianificazione territoriale. È importante territorializzare gli investimenti previsti dalla programmazione socio-economica e confrontarli con le previsioni di piano, creando una base di dati coerente e omogenea con gli enti locali, in modo da fornire un solido supporto informativo per le decisioni.

A partire dalle variegate tipologie di dati presenti nei sistemi informativi territoriali le tecniche per l'analisi spaziale consentono di esplorare, misurare e comprendere le relazioni spaziali tra le entità geografiche. Queste tecniche vengono utilizzate per identificare pattern

spaziali, rilevare cluster o hot spot di fenomeni, valutare la distribuzione spaziale delle variabili, analizzare l'autocorrelazione spaziale e studiare l'interazione tra le entità geografiche.

Le analisi di densità permettono di mappare e analizzare la concentrazione o la dispersione degli elementi in uno spazio geografico specifico.

L'interpolazione spaziale permette di stimare i valori delle variabili in posizioni non campionate all'interno dello spazio geografico, utilizzando tecniche come il kriging o il nearest neighbor.

Le analisi del network consentono di studiare la connettività e le relazioni tra gli elementi attraverso l'uso di reti geografiche, come le reti stradali o le reti idriche.

Le analisi di cluster identificano le aree in cui gli elementi si raggruppano in maniera significativa rispetto alla distribuzione casuale, utilizzando tecniche come il clustering spaziale o la statistica dei quadrati.

L'autocorrelazione spaziale permette di valutare la dipendenza spaziale tra le entità geografiche attraverso vari indicatori.

La scelta delle tecniche dipende dall'obiettivo dell'analisi, dalle caratteristiche dei dati geografici e dal contesto di studio. L'uso delle tecniche di analisi spaziale sull'informazione geografica consente di ottenere una migliore comprensione dei fenomeni spaziali, facilitando la pianificazione, la gestione del territorio, la valutazione degli impatti ambientali e molte altre applicazioni che richiedono una conoscenza approfondita delle relazioni spaziali.

Come già anticipato in precedenza le tecniche di autocorrelazione spaziale consentono di analizzare la distribuzione spaziale delle variabili geografiche e di identificare eventuali modelli o dipendenze spaziali. Queste tecniche valutano se gli oggetti o gli eventi si dispongono in modo casuale, aggregato o disperso nello spazio. L'autocorrelazione spaziale può essere misurata attraverso vari indici come l'indice di Moran o l'indice di Geary, che confrontano la similarità tra i valori di una variabile in una località con i valori delle località vicine.

L'uso delle tecniche di autocorrelazione spaziale sull'informazione geografica consente di rivelare relazioni spaziali nascoste, identificare cluster o hot spot di fenomeni, individuare pattern di distribuzione e comprendere l'interazione tra le variabili geografiche. Queste analisi sono di grande utilità nella pianificazione del territorio, nell'identificazione delle aree di intervento prioritario, nella valutazione degli impatti ambientali o sociali, e in molti altri contesti decisionali.

In sintesi, l'informazione geografica fornisce i dati spaziali necessari per condurre l'analisi di autocorrelazione spaziale, mentre le tecniche di autocorrelazione spaziale consentono di esplorare e interpretare i dati geografici, rivelando relazioni e pattern spaziali che supportano la pianificazione e la presa di decisioni basate su evidenze.

I fondamenti dell'Autocorrelazione Spaziale

1. La prima legge della geografia di Waldo Tobler

La prima legge della geografia di Waldo Tobler sulla geografia fu introdotta in un articolo pubblicato su *Economic Geography* nel 1970 [2], in cui presentava un modello di crescita della popolazione di Detroit dal 1910 al 2000. Il modello utilizzava celle di griglia quadrate di 1,5 miglia e influenze temporali dalle popolazioni dei decenni precedenti, mentre le conseguenze spaziali provenivano dalle celle adiacenti. Per rendere operativa la sua simulazione, Tobler ha invocato la prima legge della geografia: "Ogni cosa è legata a ogni altra, ma le cose vicine sono più legate di quelle lontane". L'articolo è stato citato oltre 5.000 volte ed è diventato estremamente influente nella letteratura accademica e di ricerca, con un interesse per la legge che è cresciuto esponenzialmente nel tempo.

Questa legge è spesso riassunta con l'espressione "la vicinanza spaziale implica la vicinanza funzionale". In altre parole, le caratteristiche geografiche che si trovano vicine l'una all'altra tendono ad avere legami più stretti tra di loro rispetto a quelle che sono più distanti. Questa legge è stata una delle prime a sottolineare l'importanza della dimensione spaziale nella comprensione dei fenomeni geografici. Ha avuto risvolti applicativi in molteplici settori, tra cui l'urbanistica, l'ecologia e la geografia economica. Ad esempio, la legge di Tobler fornisce interessanti spiegazioni sul perché le città si sviluppano spesso lungo i corsi d'acqua o lungo le coste, dove caratteristiche simili hanno fornito una fonte di sostentamento o di collegamento con altre aree. La legge di Tobler è stata applicata anche negli studi della diffusione di malattie infettive: le persone che vivono vicine l'una all'altra sono più suscettibili di diffondere la malattia rispetto a quelle che vivono lontane. Inoltre, questa legge ha portato alla formulazione

di altri concetti geografici importanti, come ad esempio il concetto di scala. La scala geografica si riferisce alla dimensione spaziale dell'analisi geografica, ed è importante perché gli effetti delle entità geografiche possono variare a seconda della scala a cui vengono analizzati. La legge di Tobler ha portato alla comprensione che la dimensione spaziale è un elemento fondamentale per comprendere i fenomeni geografici, e che le entità geografiche sono connesse tra di loro in modi complessi e dinamici. La legge di Tobler si basa sulla teoria dei sistemi, che suggerisce che gli elementi di un sistema sono interdipendenti e influenzati dalle loro relazioni con gli altri elementi del sistema.

Nonostante la sua enorme semplicità [3] questo concetto è rimasto senza grandi applicazioni [4] per più di quindici anni, solo la diffusione dell'informazione geospaziale ha enfatizzato notevolmente questa legge a tal punto che oggi è considerata una pietra miliare non solo in geografia.

Il significato della prima legge di Tobler sulla geografia dovrebbe essere esaminato indagando su cosa significhi una prima legge in geografia e se altre discipline abbiano delle prime leggi. Dovremmo anche definire cosa si intende per "tutto" e come si determina se due cose sono correlate. La definizione di "cosa" dovrebbe essere chiarita e dovremmo specificare esplicitamente come misuriamo la distanza e cosa viene considerato "vicino" o "lontano". Dobbiamo anche stabilire se la relazione raggiunge mai a zero [5].

Westlund [6], analizzando la legge più di recente, considera che con la transizione da un'economia manifatturiera-industriale a un'economia globale della conoscenza la prima legge della geografia ha perso il suo potere esplicativo per alcune attività. L'importanza della prossimità è diminuita in alcuni settori, mentre è aumentata la mobilità. Tuttavia, c'è almeno un settore in cui la prima legge della geografia è ancora valida: i densi ambienti creativi in cui nascono nuove conoscenze specializzate e tacite e in cui le conoscenze esistenti vengono trasformate e commercializzate. Questi cluster di conoscenza stanno crescendo in tutto il mondo e sono sempre più connessi tra loro. Sebbene la mobilità sia aumentata, la prima legge della geografia è ancora valida perché è tutt'altro che infinita e le persone non hanno più ore in un giorno. La geografia del tempo, sviluppata da Hägerstrand [7], dimostra che la prima legge della geografia è ancora valida, anche se oggi "vicino" può essere un po' più distante di un tempo.

In geografia, come in altri settori, le leggi scientifiche sono fondamentali per la comprensione e la spiegazione dei fenomeni, anche se il loro ruolo e la loro validità possono variare in base alle diverse teorie e prospettive [8] è fondamentale, quindi, porre una maggiore attenzione alla complessità della geografia e alla necessità di sviluppare approcci di modellizzazione e analisi dei processi spaziali più sofisticati e flessibili.

L'interesse per la prima legge di Tobler è poi cresciuto rapidamente nell'ultimo decennio, in gran parte di pari passo con la crescita della GIScience e la geografia quantitativa, fino a diventare il fulcro della geostatistica e dell'autocorrelazione spaziale[9].

2. Tecniche di statistica Spaziale

Le tecniche di statistica spaziale sono ampiamente utilizzate nella pianificazione del territorio per comprendere la distribuzione spaziale di una serie di fenomeni, sono spesso utilizzate per comprendere la relazione tra le unità territoriali e per identificare aree di particolare interesse o criticità. L'uso delle tecniche di statistica spaziale nella pianificazione del territorio consente di identificare le relazioni spaziali tra le diverse variabili, fornendo informazioni importanti per la definizione di politiche e interventi territoriali mirati. Ciò consente di comprendere se gli eventi che rappresentano un fenomeno sono distribuiti casualmente o se esiste una tendenza all'aggregazione o alla dispersione.

Queste tecniche sono particolarmente utili per la definizione di strategie di sviluppo territoriale sostenibile, in quanto consentono di identificare aree di particolare importanza dal punto di vista ambientale e di pianificare interventi di salvaguardia e valorizzazione.

Bailey e Gatrell [10] individuano tre principali tipologie di tecniche di analisi spaziale: *point pattern analysis*, *spatially continuous data analysis*, and *area data analysis*.

La *point pattern analysis* si occupa di analizzare la distribuzione e il raggruppamento di singoli oggetti puntiformi nello spazio. Queste tecniche includono metodi per misurare la casualità spaziale, identificare cluster spaziali e verificare la dipendenza spaziale tra i punti. Gli elementi puntuali possono avere anche degli attributi quantitativi associati.

La *spatially continuous data analysis* è incentrata su analisi di dati che variano continuamente nello spazio, come la temperatura, le precipitazioni o l'altitudine. Queste

tecniche comprendono anche i metodi di interpolazione per stimare i valori in luoghi non campionati, l'analisi di regressione spaziale per modellare la relazione tra le variabili continue e le covariate spaziali e l'analisi delle superfici per visualizzare ed esplorare i modelli nei dati continui.

La *area data analysis* si prefigge di analizzare i modelli spaziali dei dati che vengono aggregati a livello areale, come i dati del censimento o le mappe dell'uso del suolo. Queste tecniche includono metodi per misurare l'autocorrelazione spaziale tra unità areali, identificare cluster spaziali o hotspot e modellare la distribuzione spaziale dei dati areali utilizzando la regressione o altri modelli statistici.

2.1 Point Pattern Analysis

La *Point Pattern Analysis* consiste in una serie di tecniche e metodi utilizzati per analizzare la distribuzione spaziale di eventi puntuali, al fine di studiare come questi eventi siano distribuiti sul territorio. Un *point pattern* è un insieme di eventi localizzati in una regione di studio [11], definibili come le occorrenze nello spazio del fenomeno considerato, quale esso sia. I punti possono essere disposti in modo casuale, regolare o raggruppato. L'obiettivo della *Point Pattern Analysis* è quello di individuare e descrivere se i punti corrispondenti agli eventi analizzati si distribuiscono in modo regolare o concentrati in determinate zone dell'area di studio (cluster).

Nella *Point Pattern Analysis* possono essere analizzati effetti del primo e del secondo ordine a seconda che si faccia riferimento alla posizione assoluta o relativa.

In dettaglio gli effetti del primo ordine nella *Point Pattern Analysis* si riferiscono alla distribuzione spaziale dei singoli eventi nella mappa attraverso misure di tendenza centrale, di dispersione di densità. In altre parole, l'analisi del primo ordine valuta se i punti sono distribuiti in modo casuale, uniforme o raggruppati in cluster. Questo tipo di analisi fornisce informazioni sulla densità degli eventi e sulla presenza di zone con alta o bassa concentrazione di eventi. Ciò può essere importante per identificare modelli spaziali che possono essere rilevanti per fenomeni specifici, come la diffusione di una malattia o la concentrazione dell'inquinamento in determinate aree. Nel complesso, gli effetti del primo ordine forniscono un'utile base per ulteriori analisi dei modelli e dei processi spaziali alla base dei dati puntuali.

Gli effetti di secondo ordine nell'analisi dei modelli puntuali si riferiscono alle interazioni spaziali tra coppie di eventi in un modello puntuale ovvero alla presenza di clustering o dispersione dei punti. In altre parole, gli effetti del secondo ordine descrivono come la presenza di un evento in una determinata posizione spaziale influenzi la probabilità di trovare un altro evento nelle vicinanze. La comprensione degli effetti di secondo ordine è importante in molti campi, tra cui l'ecologia, l'epidemiologia e la criminologia, dove l'analisi delle interazioni spaziali tra gli eventi può aiutare a identificare i processi sottostanti e supportare strategie di gestione. La presenza di effetti del secondo ordine può avere implicazioni importanti nella pianificazione del territorio e nella salvaguardia ambientale, poiché può suggerire la presenza di aree a rischio o di potenziali hot spot di un fenomeno di interesse (ad esempio, la presenza di insediamenti industriali e di inquinamento). Inoltre, la conoscenza degli effetti del secondo ordine può essere utile per ottimizzare la distribuzione di servizi e infrastrutture in modo da ridurre il costo e massimizzare l'efficienza.

Esistono varie tipologie di metodi in grado di descrivere la distribuzione spaziale di questi eventi:

- statistiche centrografiche: indici di descrizione delle caratteristiche generali di una distribuzione spaziale dei punti, che indagano sugli effetti di primo ordine;
- indici basati sull'intensità del fenomeno determinati mediante misure di densità, che analizzano gli effetti di primo ordine;
- indici incentrati su misure di distanza che si focalizzano sulla relazione tra la distribuzione spaziale dei punti e la loro vicinanza reciproca misurando gli effetti del secondo ordine.

2.1.1 Statistiche centrografiche

Consideriamo una distribuzione di punti $L=(l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n)$ ricadenti nell'area di Studio R. Ciascun evento i è individuato da un vettore l_i definito dalle sue coordinate x_i e y_i fondamentali per sviluppare le analisi spaziali. Nel caso fosse necessario è possibile anche considerare le proprietà di questi punti mediante gli attributi A_i connessi alle coordinate.

È possibile calcolare il centro medio o baricentro o centro di gravità della distribuzione:

$$\bar{L} = (\mu_x, \mu_y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \quad (1)$$

Per una singola variabile, la media rappresenta il punto in cui la somma di tutte le differenze rispetto agli altri punti è zero. Quando si lavora con due variabili, il baricentro rappresenta il punto in cui la somma di tutte le differenze tra la media delle coordinate x e tutte le altre coordinate x è zero, e allo stesso tempo la somma di tutte le differenze tra la media delle coordinate y e tutte le altre coordinate y è zero.

Volendo considerare anche gli attributi l'equazione 1 diventa:

$$\bar{L} = (\mu_x, \mu_y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{n}; \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{n} \right) \quad (2)$$

In modo simile a quanto accade per una singola variabile, anche le statistiche centrali di una distribuzione composta da due variabili sono influenzate in modo significativo dai valori estremi. Pertanto, è importante valutare quanto i valori della distribuzione si disperdano intorno alla media. La misura più semplice di tale dispersione è la deviazione standard delle coordinate x e y.

$$\bar{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2}{(n-1)}}; \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}{(n-1)}} \right) \quad (3)$$

La deviazione standard delle coordinate x e x non fornisce una singola misura complessiva della dispersione dei punti la dispersione lungo l'asse x e la dispersione lungo l'asse y. Per superare questi problemi è utile utilizzare la distanza standard, che definisce una misura di dispersione degli eventi rispetto al centro medio della distribuzione.

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 + (y_i - \mu_y)^2}{n}} \quad (4)$$

2.1.2 Indici basati su misure di densità

Il metodo Quadrat Counts

Il metodo *Quadrat Counts* [11] è una tecnica di analisi spaziale utilizzata per analizzare la distribuzione di eventi o punti in un'area geografica. Consiste nel dividere l'area di studio in una griglia di quadrati o rettangoli di uguali dimensioni, chiamati "quadrats", e nel contare il numero di punti all'interno di ciascun quadrat. Questo processo crea una tabella di frequenza che mostra il numero di punti all'interno di ogni quadrato. Analizzando questa tabella è possibile determinare se i punti sono distribuiti in modo casuale, raggruppati o dispersi nell'area di studio. Questo metodo è relativamente semplice da usare e non richiede software o attrezzature specializzate. È comunemente utilizzato in ecologia e negli studi ambientali per analizzare la distribuzione di piante e animali.

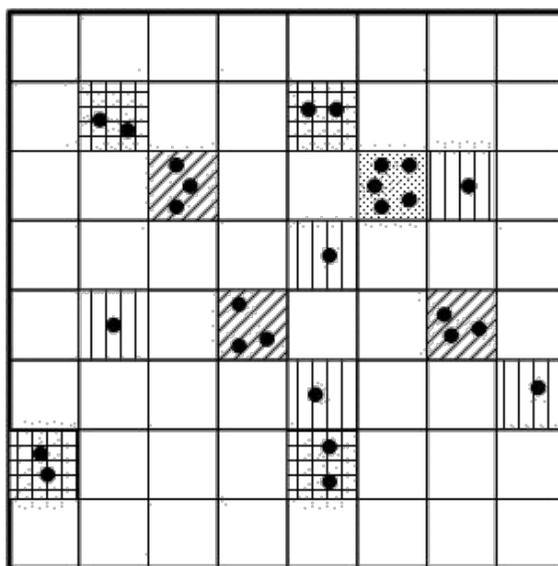


Fig. 1 - Il metodo Quadrat Counts (modificato da O'Sullivan e Unwin, 2003).

Tuttavia, può essere utilizzato anche in altri campi, come la criminologia e la pianificazione urbana, per analizzare la distribuzione della criminalità o dei servizi. Sebbene il metodo *Quadrat Counts* sia utile per identificare modelli generali nella distribuzione dei punti, presenta

alcune limitazioni. Ad esempio, le dimensioni e la forma dei quadrat possono influenzare i risultati e il metodo presuppone che i punti siano stazionari e indipendenti l'uno dall'altro. Inoltre, il metodo non fornisce informazioni sulle relazioni spaziali tra i punti, come la distanza tra di essi. Per ovviare a queste limitazioni, è possibile utilizzare altre tecniche di analisi spaziale basate su densità come la *Kernel Density*.

La Kernel Density Estimation

La densità di *kernel* è una tecnica di analisi spaziale che permette di stimare la densità di una distribuzione di punti nello spazio, generando una mappa continua di densità che rappresenta l'intensità della distribuzione in ogni punto dello spazio.

Rispetto agli approcci statistici classici bisogna, quindi, effettuare una territorializzazione dei dati, considerando gli eventi come le occorrenze spaziali del fenomeno considerato. E' necessario, quindi, che ciascun evento L_i sia individuato univocamente nello spazio dalle coordinate x_i, y_i . Si ha, di conseguenza, che un evento L_i è funzione della posizione e dei suoi attributi che lo caratterizzano e ne quantificano l'intensità:

$$L_i = (x_i, y_i, A_1, A_2, \dots, A_n) \quad (5)$$

Mentre il *Quadrat Counts* prende in esame il numero di eventi per ogni elemento della griglia regolare che compone la regione di studio R, la densità di *kernel* considera una superficie mobile a tre dimensioni, che pesa gli eventi a seconda della loro distanza dal punto dal quale viene stimata l'intensità [12]. La densità o intensità della distribuzione nel punto L può essere definita dall'equazione:

$$\hat{\lambda}(L) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{L - L_i}{\tau}\right) \quad (6)$$

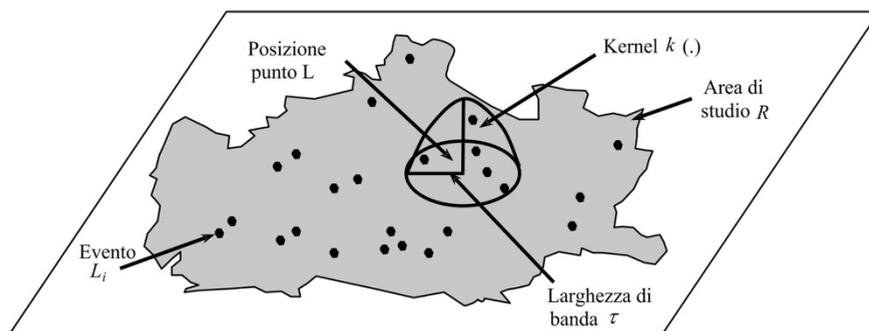


Fig. 2 - Kernel Density Estimation (modificato da Bailey e Gatrell, 1995).

Dove, $\lambda_{(L)}$ è l'intensità della distribuzione di punti, misurata nel punto L ; L_i è l' i -esimo evento, $k(\cdot)$ rappresenta la funzione di kernel e τ la larghezza di banda, che può essere definita come il raggio del cerchio generato dall'intersezione della superficie, entro la quale la densità del punto sarà valutata, con il piano che contiene la regione di studio R (figura 2).

I due fattori che influenzano notevolmente i risultati sono le dimensioni della griglia di riferimento e della larghezza di banda [13]. La larghezza di banda consente di ottenere superfici tridimensionali più o meno corrispondenti al fenomeno, consentendo di analizzare la sua distribuzione alle diverse scale.

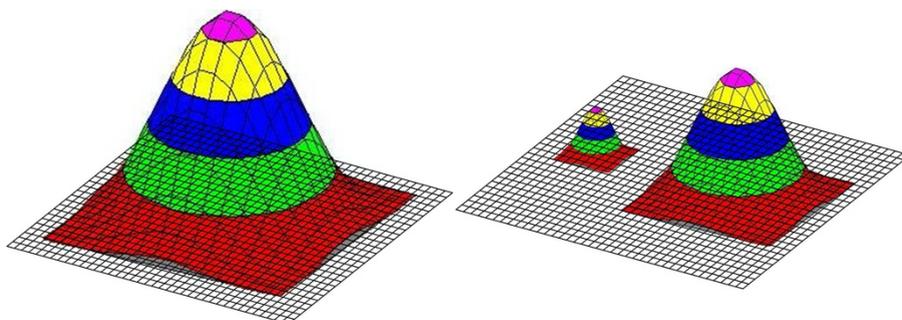


Fig. 3 – Relazione tra la dimensione larghezza di banda e l'area di studio.

La scelta della larghezza di banda influenza notevolmente la superficie risultante di densità stimata. Se la larghezza di banda è elevata, la densità di kernel si avvicina notevolmente o

coincide con i valori della densità semplice producendo una stima troppo generale, che rischia di nascondere importanti dettagli della distribuzione. Se la larghezza di banda è invece piccola la superficie risultante tenderà a catturare singoli eventi, con densità prossime allo zero per gli elementi della griglia lontani da ogni evento (figura 3). La larghezza di banda va valutata in base al fenomeno che si intende analizzare e va determinata per aggiustamenti successivi.

La densità kernel a larghezza di banda fissa offre buoni risultati quando si ritiene che i processi spaziali siano relativamente costanti e i dati siano distribuiti in modo uniforme. Tuttavia, può portare a un oversmoothing o undersmoothing della superficie di densità a seconda della larghezza di banda scelta, il che può portare a stime imprecise della densità reale. È quindi importante scegliere con cura la larghezza di banda appropriata per l'analisi, che può essere effettuata utilizzando vari metodi come cross-validation or maximum likelihood estimation.

La larghezza di banda adattiva nella densità di kernel è un'alternativa alla larghezza di banda fissa, che consente di adattare la stima della densità alle caratteristiche locali della distribuzione dei dati. In questo caso, invece di avere una larghezza di banda costante per tutti i punti, si utilizza una larghezza di banda che varia in base alla densità dei punti nella loro vicinanza.

In pratica, la larghezza di banda adattiva dipende dalla distanza tra i punti: se i punti sono vicini, la larghezza di banda sarà ridotta, mentre se i punti sono più distanti, la larghezza di banda sarà maggiore. In questo modo, la stima della densità sarà più precisa nelle zone dove la densità dei punti è alta e meno precisa nelle zone dove la densità dei punti è bassa.

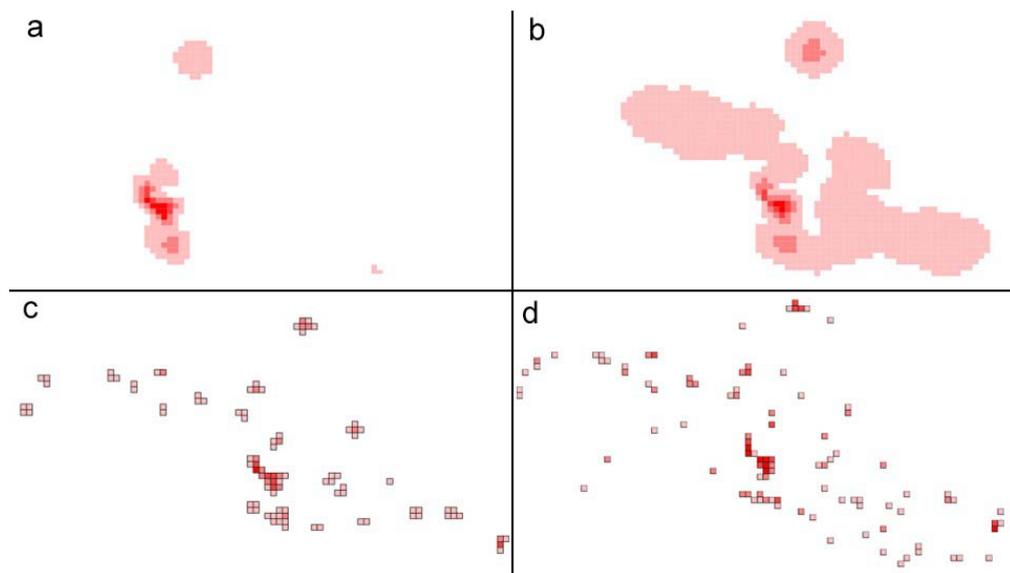


Fig. 4 – Esempi di densità di kernel a) Adattiva dimensione di cella 100 metri, b) Adattiva dimensione di cella 100 metri con l'intensità del fenomeno, c) Adattiva dimensione di cella 10 metri, d) Adattiva dimensione di cella 1 metro.

L'utilizzo della larghezza di banda adattiva può portare a stime della densità più precise e accurate rispetto alla larghezza di banda fissa, specialmente quando la distribuzione dei dati è molto eterogenea o presenta pattern spaziali complessi. Tuttavia, l'utilizzo della larghezza di banda adattiva richiede una maggiore complessità computazionale rispetto alla larghezza di banda fissa, in quanto è necessario calcolare la larghezza di banda in base alla densità dei punti vicini per ogni punto nella distribuzione.

Altro aspetto importante è la dimensione di cella della griglia. Questo aspetto è meno importante rispetto alla scelta della larghezza di banda [14]. Il caso di studi influenza la scelta della dimensione della cella.

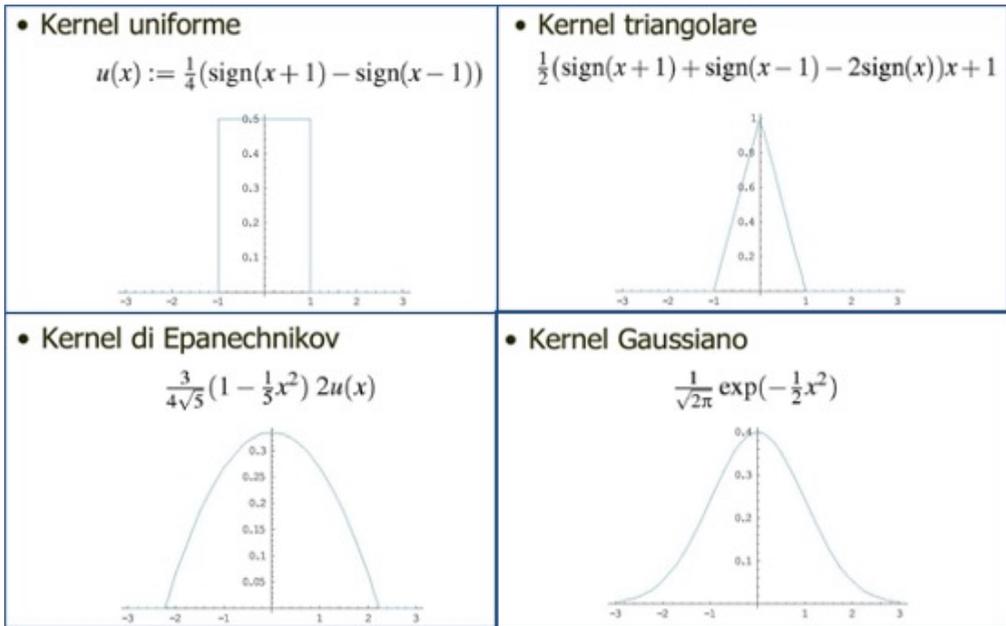


Fig. 5 – Principali funzioni di Kernel (Uniforme, triangolare, Epanechnikov e gaussiana).

La scelta della funzione di kernel è un altro parametro di fondamentale importanza. Le funzioni di Kernel sono utilizzate per stimare la densità di probabilità di una distribuzione di punti in uno spazio. Esistono diverse tipologie di funzioni di Kernel, tra cui le più comuni sono:

- Uniforme: questa funzione di Kernel assegna un peso costante a tutti i punti entro un certo raggio, e zero peso a tutti i punti al di fuori di esso. Viene utilizzata spesso nei casi in cui si desidera analizzare la distribuzione dei punti in modo non parametrico.
- Triangolare: questa funzione di Kernel assegna un peso crescente ai punti in base alla loro vicinanza al punto di riferimento, fino ad un certo raggio. Dopodiché, il peso diminuisce in modo lineare al di fuori di tale raggio. Questa funzione viene utilizzata spesso nei casi in cui la distribuzione dei punti sia asimmetrica intorno alla media.
- Epanechnikov: questa funzione di Kernel è simile alla funzione triangolare, ma assegna un peso ancora maggiore ai punti vicini al punto di riferimento. Viene utilizzata spesso nei casi in cui si desidera stimare la densità di probabilità in modo preciso.

- Gaussiana: è la funzione di Kernel più comune, che assume la forma di una curva a campana. È anche chiamata "Kernel normale" o "Kernel gaussiano" e viene utilizzata spesso nei casi in cui la distribuzione dei punti sia simmetrica intorno alla media.

2.1.3 Indici basati su misure di distanza

Per analizzare i fenomeni territoriali rappresentati da punti, un'alternativa alle misure di densità è quella di valutare le distanze tra gli eventi o i punti del pattern in modo da estrarre informazioni sulle proprietà locali o di secondo ordine della distribuzione.

Un metodo semplice per misurare queste distanze è il Nearest-Neighbour Index (NNI) è una misura che si basa sulla distanza tra i punti di una distribuzione spaziale. In particolare, per calcolare il NNI si considera la distanza tra ogni punto e il suo punto più vicino d_{\min} (nearest neighbour) e si confronta questa distanza con quella che ci si aspetterebbe d_{\exp} se i punti fossero distribuiti in modo casuale nello spazio (distanza media tra i punti).

Se la distanza tra il punto e il suo nearest neighbour è inferiore alla distanza media tra i punti, allora si ha un indice NNI inferiore a 1, il che indica una distribuzione più aggregata di quanto ci si aspetterebbe per un processo di tipo casuale. Al contrario, se la distanza tra il punto e il suo nearest neighbour è maggiore della distanza media tra i punti, allora si ha un indice NNI superiore a 1, il che indica una distribuzione di eventi più dispersa del previsto.

In sintesi, il Nearest-Neighbour Index ci fornisce un'indicazione sulla distribuzione spaziale dei punti rispetto a quella che ci si aspetterebbe in caso di processo casuale, sulla base delle misure di distanza tra i punti stessi.

$$NNI = \frac{\bar{d}_{\min}}{d_{\exp}} \quad \bar{d}_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{\min}(s_i, s_j)}{n} \quad d_{\exp} = 0.5\sqrt{\frac{A}{n}} \quad (7)$$

d_{\min} è la distanza minima tra ciascun punto ed il suo vicino più prossimo, ed n è il numero di punti della distribuzione.

d_{\exp} è il valore atteso, A è la superficie del dominio spaziale ed n è il numero di eventi.

3. Autocorrelazione Spaziale

La prima legge della geografia di Tobler e l'autocorrelazione spaziale sono correlate in quanto entrambe si riferiscono alle relazioni spaziali tra le entità geografiche. La prima legge implica che le entità geografiche vicine sono più collegate tra loro, mentre l'autocorrelazione spaziale misura l'intensità e la forma delle relazioni spaziali tra le entità geografiche. Insieme, queste due concetti sono fondamentali per comprendere le interazioni spaziali tra le entità geografiche e per analizzare i fenomeni geografici.

In dettaglio l'autocorrelazione spaziale si riferisce alla tendenza di entità geografiche simili a raggrupparsi nello spazio. In altre parole, se un dato fenomeno geografico è elevato in un'area specifica, è probabile che sia anche elevato nelle aree circostanti. L'autocorrelazione spaziale è una misura quantitativa che consente di valutare l'intensità e la forma delle relazioni spaziali tra le entità geografiche. Se la distribuzione di un fenomeno geografico presenta una forte autocorrelazione spaziale, significa che le entità geografiche simili tendono a raggrupparsi vicine l'una all'altra.

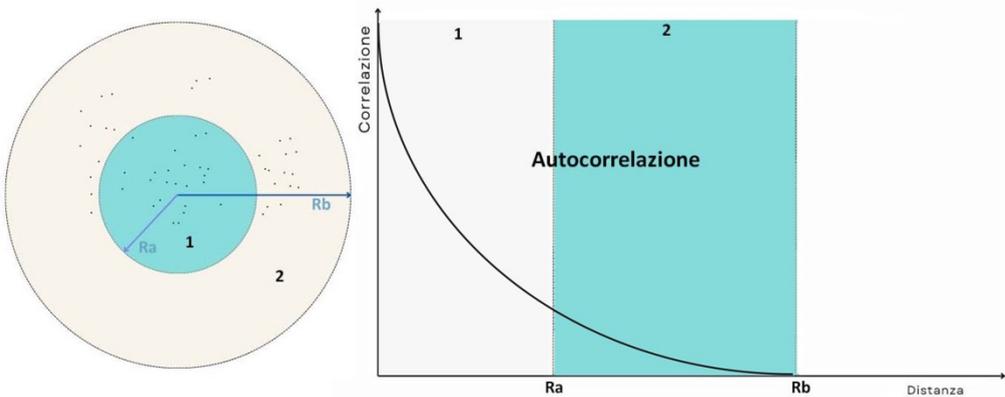


Fig. 6 – Andamento dell'autocorrelazione spaziale.

L'autocorrelazione spaziale positiva si verifica quando le unità spaziali che sono geograficamente vicine presentano valori simili della variabile di interesse, mentre quelle che sono lontane tra loro presentano valori dissimili. In altre parole, l'autocorrelazione spaziale positiva indica che le unità spaziali che si trovano vicine presentano una maggiore similarità

rispetto a quelle che sono più distanti. Questo fenomeno può essere causato da diversi fattori, come ad esempio la presenza di fattori ambientali o sociali che influenzano la distribuzione della variabile di interesse.

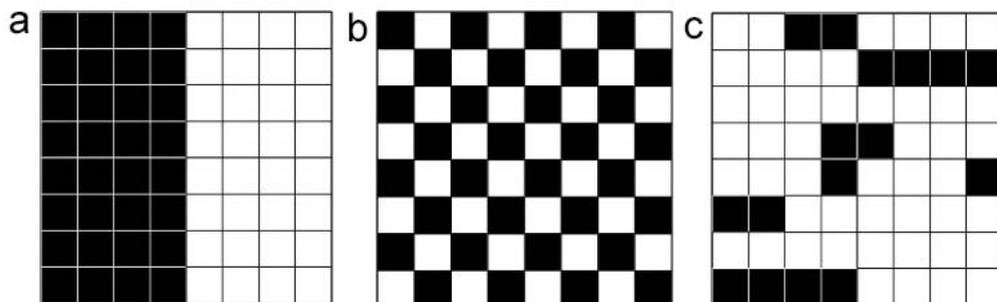


Fig. 7 – Possibili configurazioni di una distribuzione spaziale di eventi. Autocorrelazione spaziale positiva (a), autocorrelazione spaziale negativa (b), autocorrelazione spaziale nulla (c) (modificato da O’Sullivan e Unwin, 2003).

3.1 Indicatori Globali e Locali di Autocorrelazione Spaziale

Gli oggetti geografici sono generalmente descritti per mezzo di due diverse categorie di informazioni: la posizione nello spazio e le proprietà a questa collegate. La proprietà più interessante dell’autocorrelazione spaziale è la possibilità di analizzare allo stesso tempo le due componenti, spaziale e di attributo, dell’informazione [15]. Di conseguenza, l’autocorrelazione spaziale può essere considerata una tecnica molto efficace per analizzare la distribuzione spaziale di oggetti, valutando allo stesso tempo il grado di influenza e di relazione con gli elementi vicini.

Seguendo l’approccio di Goodchild, Lee e Wong [16] definiscono l’autocorrelazione spaziale come segue:

$$SAC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} w_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (8)$$

Dove:

N è il numero degli oggetti;

i e j sono due oggetti diversi;

c_{ij} è un grado di similarità degli attributi i e j ;

w_{ij} è un grado di similarità del luogo i e j ;

definendo x_i come il valore dell'attributo dell'oggetto i , se $c_{ij} = (x_i - x_j)^2$, il valore dell'indice

C di Geary [17] può essere definito come segue:

$$C = \frac{(N-1)(\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - x_j)^2)}{2(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

L'indice di Geary è un indicatore globale di autocorrelazione spaziale che misura la dipendenza lineare tra le differenze dei valori delle feature e le distanze spaziali tra di esse. In pratica, l'indice di Geary confronta la somma delle differenze al quadrato tra i valori delle feature vicine con la somma delle differenze al quadrato tra tutti i valori delle feature nell'area di studio. Un valore basso dell'indice di Geary (vicino a 0) indica una forte autocorrelazione spaziale positiva, cioè una tendenza delle feature simili a essere vicine tra loro, mentre un valore alto (vicino a 2) indica una forte autocorrelazione spaziale negativa, cioè una tendenza delle feature dissimili a essere vicine tra loro. Un valore dell'indice di Geary pari a 1 indica completa casualità spaziale.

Nel caso $c_{ij} = (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})$, l'indice di Moran I [18], si può definire come:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

L'indice di Moran è un indicatore globale di autocorrelazione spaziale che valuta la dipendenza spaziale dei valori di una determinata variabile in uno spazio geografico. Esso si basa sul confronto tra il valore osservato di una variabile in un determinato punto e la media dei valori di tutti i punti circostanti, pesati in base alla distanza spaziale tra di loro.

In sostanza, l'indice di Moran valuta se i valori di una variabile tendono a essere simili (omogeneità spaziale) o diversi (eterogeneità spaziale) tra punti geografici adiacenti. L'indice può assumere valori compresi tra -1 e +1, dove un valore vicino a +1 indica una forte autocorrelazione positiva (ovvero la presenza di cluster omogenei), un valore vicino a -1 indica una forte autocorrelazione negativa (ovvero la presenza di cluster eterogenei), mentre un valore vicino a 0 indica l'assenza di autocorrelazione (ovvero la variabile è distribuita in modo casuale nello spazio geografico).

Questi due indici (Moran e Geary) sono noti come indicatori globali di autocorrelazione spaziale e forniscono un'indicazione relativa della presenza di autocorrelazione. L'indice di Moran e l'indice di Geary sono entrambi indicatori globali di autocorrelazione spaziale utilizzati per valutare se le osservazioni in una data area geografica tendono ad avere valori simili o dissimili rispetto alle osservazioni vicine. Tuttavia, ci sono alcune differenze tra i due indicatori.

Innanzitutto, l'indice di Moran si basa sulla covarianza tra le osservazioni in uno spazio geografico, mentre l'indice di Geary si basa sulla somma dei quadrati delle differenze tra le osservazioni. In altre parole, l'indice di Moran è una misura di associazione spaziale, mentre l'indice di Geary è una misura di dissimilarità spaziale.

Inoltre, l'indice di Moran è sensibile sia alle relazioni positive che negative tra le osservazioni, mentre l'indice di Geary è sensibile solo alle relazioni negative. Ciò significa che l'indice di Geary è più adatto per rilevare cluster di valori bassi (ovvero zone con valori molto diversi rispetto alle aree circostanti), mentre l'indice di Moran è in grado di individuare sia cluster di valori alti che bassi.

Gli indicatori globali di autocorrelazione spaziale sono utilizzati per valutare se gli elementi puntuali di una distribuzione spaziale sono distribuiti in maniera casuale, in aggregati o in modo uniforme. Questi indicatori forniscono una misura sintetica del grado di associazione spaziale dei punti, ovvero se i punti vicini tendono ad avere valori simili o diversi rispetto a quelli distanti. Questi indicatori globali sono utili per evidenziare se una distribuzione spaziale presenta autocorrelazione positiva (aggregati) o negativa (dispersione) e per valutare l'intensità di tale autocorrelazione. Tuttavia, essi non forniscono informazioni sulle eventuali variazioni spaziali dell'autocorrelazione e sulle relazioni locali tra i punti.

È importante illustrare con precisione il termine w_{ij} delle equazioni 8,9 e 10, definito in precedenza come grado di similarità del luogo i e j .

Questo termine rappresenta la componente spaziale di queste equazioni. In termini teorici si fa riferimento al concetto di matrice dei pesi. In analisi spaziale, la matrice dei pesi è una matrice quadrata che viene utilizzata per rappresentare le relazioni spaziali tra le unità di analisi. La matrice dei pesi può essere definita in vari modi, a seconda del tipo di relazione spaziale che si vuole considerare. In particolare, nell'analisi dell'autocorrelazione spaziale, la matrice dei pesi viene utilizzata per rappresentare la relazione tra i valori di una variabile in una determinata posizione geografica e i valori delle variabili in posizioni geografiche vicine.

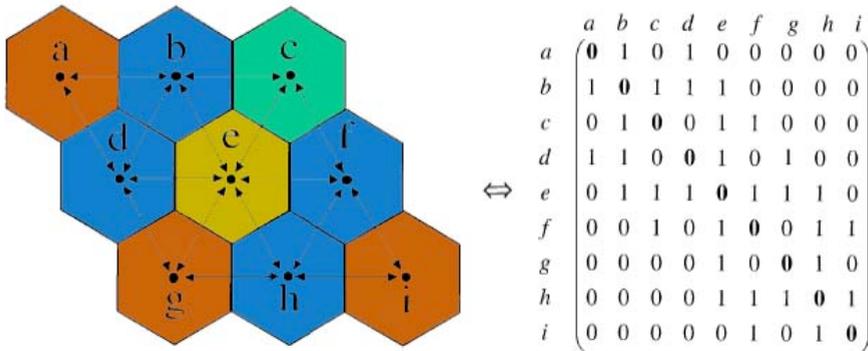


Fig. 8 – Matrice di adiacenza o di contiguità.

Ci sono diversi tipi di matrici dei pesi utilizzate in analisi spaziale. La matrice di contiguità definisce le relazioni di contiguità tra le unità di analisi. Le unità di analisi vicine sono considerate connesse, mentre quelle lontane non lo sono. La matrice di contiguità è una matrice quadrata che viene utilizzata nell'autocorrelazione spaziale per descrivere le relazioni di contiguità tra le unità spaziali, come ad esempio i confini amministrativi, i quartieri di una città, le aree di un paesaggio, ecc.. In questa matrice, ogni cella rappresenta una coppia di unità spaziali e il valore della cella indica se le due unità sono contigue o meno. Solitamente si utilizzano valori binari, dove "1" indica che le unità sono contigue e "0" indica che non lo sono.

La matrice di contiguità può essere simmetrica o asimmetrica a seconda che la relazione di contiguità sia bidirezionale o meno.

La matrice di distanza inversa assegna pesi alle unità di analisi sulla base della distanza euclidea o di altre misure di distanza. Le unità di analisi vicine hanno un peso maggiore rispetto a quelle lontane.

La matrice di distanza nell'autocorrelazione spaziale è una matrice quadrata che fornisce le distanze euclidee o geografiche tra le diverse unità geografiche o spaziali. In pratica, ogni riga e colonna della matrice rappresenta un'unità spaziale, mentre i valori nella matrice rappresentano la distanza tra le unità. Ci sono diverse modalità per costruire una matrice di distanza. Ad esempio, se si dispone delle coordinate geografiche delle unità, la distanza tra di esse può essere calcolata utilizzando la formula della distanza euclidea o la distanza di Haversine, che tiene conto della curvatura terrestre. In alternativa, la distanza può essere calcolata in base al tempo o al costo di spostamento tra le unità, se si dispone di dati su trasporti o infrastrutture.

La contiguità può essere considerata come il percorso consentito alla torre, all'alfiere e alla regina. In particolare, la metafora della torre, dell'alfiere o della regina viene utilizzata per descrivere tre diverse tipologie di matrice dei pesi basate sulla contiguità.

La matrice dei pesi secondo la torre considera come vicini solo i punti adiacenti in orizzontale o verticale, come le caselle che una torre può raggiungere in una scacchiera. Questa matrice è utile per analizzare fenomeni che si espandono principalmente in orizzontale o verticale, come ad esempio la diffusione di una malattia in una città suddivisa in quartieri.

La matrice dei pesi secondo l'alfiere considera come vicini i punti adiacenti in diagonale, oltre a quelli in orizzontale o verticale, come le caselle che un alfiere può raggiungere sulla scacchiera. Questa matrice è utile per analizzare fenomeni che si espandono in tutte le direzioni, come ad esempio la diffusione di un'infezione tra animali che si spostano liberamente in una determinata area.

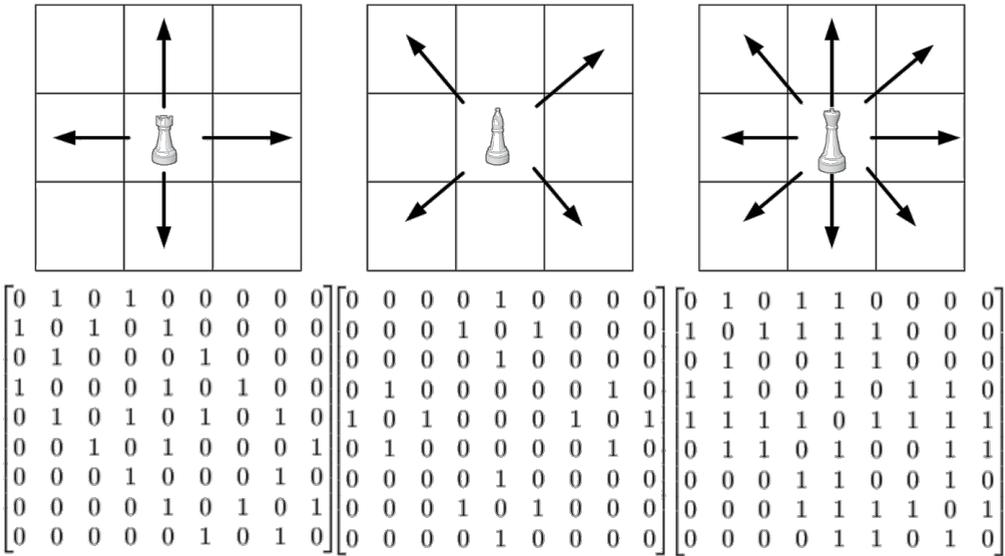


Fig. 9 – La matrice dei pesi spaziali e la metafora degli scacchi (modificato da O’Sullivan e Unwin, 2003).

Infine, la matrice dei pesi secondo la regina considera come vicini tutti i punti adiacenti, sia in orizzontale o verticale che in diagonale, come le caselle che una regina può raggiungere sulla scacchiera. Questa matrice è utile per analizzare fenomeni che si espandono in tutte le direzioni e che sono influenzati anche dai vicini più lontani.

La matrice di contiguità può essere calcolata anche mediante *Fixed Distance Band* che indica se due unità spaziali sono contigue o meno in base alla distanza euclidea tra di esse e a una soglia predefinita. Il risultato è una matrice binaria che ha valore 1 se due unità sono entrambe all’interno della banda di distanza predefinita e sono quindi considerate contigue, altrimenti ha valore 0.

$$\begin{aligned}
 w_{ij} &= 1 \text{ quando } d_{ij} < d \\
 w_{ij} &= 0 \text{ quando } d_{ij} > d
 \end{aligned}
 \quad
 W = \begin{bmatrix}
 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}$$

Fig. 10 – Matrice di adiacenza o di contiguità.

Un altro strumento utilizzato nell'analisi della autocorrelazione spaziale è il Moran scatterplot [19]. In pratica, si tratta di un grafico a dispersione in cui sull'asse delle ascisse sono rappresentati i valori di una variabile di interesse per ogni area o unità geografica e sull'asse delle ordinate sono rappresentati i valori di autocorrelazione spaziale corrispondenti, calcolati con l'indice di Moran.

Il Moran scatterplot consente inoltre di individuare eventuali anomalie spaziali, ossia unità geografiche con valori di una variabile molto diversi dal valore atteso sulla base dei valori degli elementi circostanti. In questo modo, il grafico può essere utilizzato come strumento di analisi esplorativa dei dati e di identificazione di eventuali cluster o hot-spot di valori elevati o bassi.

I punti disposti in alto a destra del grafico indicano una forte autocorrelazione positiva (quando i valori alti tendono a concentrarsi vicino ad altri valori alti), mentre i punti in basso a sinistra indicano una forte autocorrelazione negativa (quando i valori bassi tendono a concentrarsi vicino ad altri valori bassi). Al contrario, i punti disposti in modo casuale sul grafico indicano una bassa autocorrelazione spaziale.

Nel Moran scatterplot, l'asse delle ordinate rappresenta i valori di una variabile spatially lagged, anche nota come Wx , che rappresenta i valori della variabile di interesse (x) assegnati alle unità spaziali vicine pesati in base alla matrice di pesi spaziali definita. In altre parole, per ogni unità spaziale, il valore di Wx è calcolato come la somma dei valori della variabile x dei suoi vicini, pesati dai rispettivi pesi spaziali.

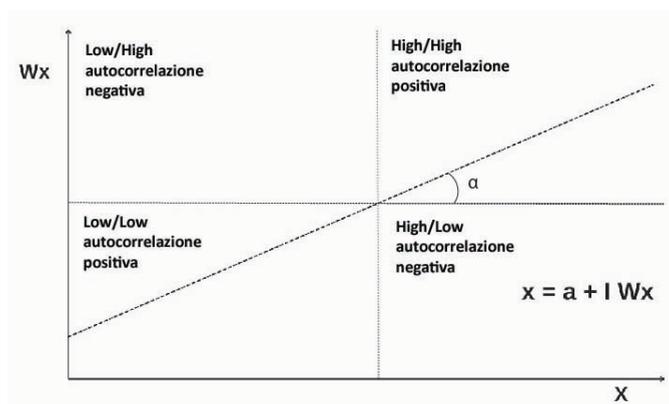


Fig. 11 – Moran scatterplot.

Questa variabile è chiamata "spatially lagged" perché rappresenta una sorta di "ritardo" spaziale dei valori della variabile di interesse. In pratica, il valore di Wx per un'unità spaziale indica quanto i valori della variabile x nelle sue vicinanze sono simili o diversi dal valore di x nell'unità stessa. Ad esempio, se il valore di x in un'unità è alto e i valori dei suoi vicini sono anche alti, allora il valore di Wx per quell'unità sarà anch'esso alto, indicando un'alta autocorrelazione spaziale. Al contrario, se i valori di x nell'unità e nei suoi vicini sono molto diversi, il valore di Wx sarà basso, indicando una bassa autocorrelazione spaziale.

In questa rappresentazione i quadranti I° e III° rappresentano le aree con autocorrelazione positiva (alto-alto, basso-basso) mentre i quadranti II° e IV° rappresentano le aree con autocorrelazione negativa.

Gli indici di Moran e Geary sono noti come indicatori globali di autocorrelazione spaziale e forniscono un'indicazione relativa della presenza di autocorrelazione mentre nessuna informazione viene fornita riguardo alla localizzazione dei processi di interazione evidenziati dall'analisi.

La localizzazione precisa di valori elevati di autocorrelazione è invece fornita dai cosiddetti indicatori locali di autocorrelazione spaziale. Gli indicatori locali di autocorrelazione spaziale sono utilizzati per valutare se la distribuzione spaziale di una determinata variabile presenta cluster o dispersione localizzati in specifiche aree del territorio.

L'indice LISA [20, 21] (Local Indicators of Spatial Association) è un indicatore locale di autocorrelazione spaziale che valuta se una determinata area di uno spazio ha una distribuzione simile di una variabile rispetto alle aree circostanti. L'indice LISA viene calcolato per ogni area di interesse e si basa sulla matrice dei pesi spaziali, che indica la relazione spaziale tra le diverse aree. Il LISA viene considerato come un indicatore locale di Moran. La somma di tutti gli indici locali è infatti proporzionale al valore di Moran: $\sum_i I_i = \gamma * I$.

L'indice è calcolato secondo la seguente formula:

$$I_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{S_x^2} \sum_{j=1}^N (w_{ij} (X_j - \bar{X})) \quad (11)$$

In pratica il LISA considera gli *z-scores* di ciascuna zona *i*-esima e lo *z-score* medio delle zone circostanti. Infatti lo *z-score* della regione *i*-esima è dato dal rapporto della differenza del valore della variabile X_i nelle regione *i*-esima e la media dell'intera distribuzione ed la deviazione standard S dell'intera area di studio.

$$Z_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{S_X} \quad (12)$$

Di conseguenza il LISA può essere espresso in forma sintetica:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^N w_{ij} \cdot z_j \quad (13)$$

L'indicatore consente, per ogni luogo, di valutare la similarità tra ogni osservazione e gli elementi che la circondano. Si possono verificare cinque casi, in cui i diversi luoghi sono caratterizzati da:

- alti valori del fenomeno e alti livelli di similarità con il vicinato (alto-alto), definiti come hot spots;
- bassi valori del fenomeno e bassi livelli di similarità con il vicinato (basso-basso), definiti come cold spots;
- alti valori del fenomeno e bassi livelli di similarità con il vicinato (alto-basso), definiti come potenziali outliers;
- bassi valori del fenomeno e alti livelli di similarità con il vicinato (basso-alto), definiti come potenziali outliers;
- completa assenza di autocorrelazione significativa.

Anche l'indice di Geary ha una versione locale espresso dalla seguente equazione:

$$c_i \sum_j w_{ij} (z_i - z_j)^2 \quad (14)$$

In particolare, per ogni unità spaziale i , l'indice di Geary locale valuta la differenza tra il valore della variabile in quella unità e la media dei valori della variabile nelle unità spaziali vicine.

La funzione G di Getis e Ord [22] prende in considerazione misure disaggregate di autocorrelazione, considerando la somiglianza o la differenza di alcune zone. Questo indice misura il numero di eventi con caratteristiche omogenee inclusi entro una distanza d individuata per ogni evento di distribuzione. Questa distanza rappresenta l'estensione entro la quale si producono cluster per valori di intensità particolarmente elevati o bassi. La funzione di Getis e Ord è rappresentata dalla seguente equazione:

$$G_i(d) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i(d) x_i - \bar{x}_i \sum_{i=1}^n w_i(d)}{S(i) \sqrt{\frac{\left[(N-1) \sum_{i=1}^n w_i(d) - \left(\sum_{i=1}^n w_i(d) \right)^2 \right]}{N-2}}} \quad (15)$$

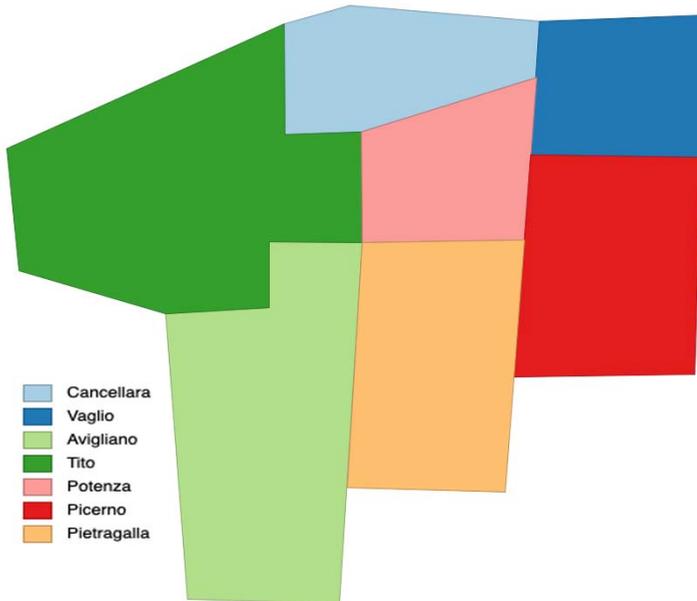


Fig. 12 – Comuni dove calcolare gli indici.

Volendo analizzare degli esempi di questi indicatori prendiamo in considerazione il reddito medio familiare nei sette comuni vedi figura riportati nella tabella seguente:

Tab. 1. Reddito medio familiare dei sette comuni analizzati.

Città	Reddito medio familiare	$(X-X_m)$	$(X-X_m)^2$	z_i
Potenza	50,113	16,506714	272,4716	1,74628
Tito	38,595	4,9887143	24,88727	0,527767
Picerno	23,71	-9,896286	97,93647	-1,04695
Avigliano	30,842	-2,764286	7,641276	-0,29244
Pietragalla	22,253	-11,35329	128,8971	-1,20109
Vaglio	34,126	0,5197143	0,270103	0,054982
Cancellara	35,605	1,9987143	3,994859	0,211448
Totale	235,244		536,0987	
Media	33,60628571			

Si è proceduto a calcolare anche la distanza dalla media e la distanza dalla media al quadrato.

Tab. 2. Indice di Moran I.

	Potenza	Tito	Picerno	Avigliano	Pietragalla	Vaglio	Cancellara	Totale
$(X-X_m)$	16,506714	4,988714	-9,89629	-2,76429	11,353285	0,519714	1,9987142	
Potenza	16,50671429	0	82,34728	-163,355	-45,6293	187,40544	8,578775	32,992205
Tito	4,988714286	82,347281	0	0	-13,7902	56,638298	0	9,9710145
Picerno	-9,896285714	-163,3552	0	0	0	112,35535	-5,14324	0
Avigliano	-2,764285714	-45,62927	-13,7902	0	0	31,383725	0	0
Pietragalla	-11,35328571	-187,4054	-56,6383	112,3554	31,38373	0	0	0
Vaglio	0,519714286	8,5787752	0	-5,14324	0	0	0	1,0387603
Cancellara	1,998714286	32,992206	9,971015	0	0	0	1,03876	0
		Moran	-0,1941464					
							Totale	-
							Generale	386,589

Considerando una matrice di adiacenza in forma binaria che attribuisce un valore 1 in caso di contiguità e 0 in caso di mancanza di contatto tra le entità è possibile calcolare l'indice di Moran I. Si è proceduto ad inserire nella matrice di adiacenza i valori dell'equazione 10, considerando la distanza dalla media e sommando tutte le righe della matrice.

Sommando a sua volta anche l'ultima colonna della matrice si ottiene parte del numeratore dell'equazione 10, che per completare completamente la parte superiore della frazione va moltiplicato per N che in questo caso è uguale a 7. Per calcolare il denominatore basta prendere la somma di tutte le distanze al quadrato moltiplicarlo per il numero di connessioni tra le entità considerando il percorso consentito alla regina.

$$I = \frac{7 * -386,589}{26 * 536,0987} = -0,194146471 \quad (16)$$

Il risultato è una minima autocorrelazione negativa.

In maniera del tutto analoga si può procedere per l'indice di Geary C. Inserendo nella matrice di adiacenza i valori dell'equazione 9 calcolando direttamente la differenza al quadrato dei valori delle due entità geografiche. Anche in questo caso si calcola la somma di tutte le righe sommando a sua volta l'ultima colonna. Questa volta bisogna moltiplicare questo valore per N-1 che in questo caso è uguale a 6. Il denominatore sarà uguale alla somma delle distanze al quadrato moltiplicato per il numero di connessioni consentite in tutte le direzioni moltiplicato per 2.

$$C = \frac{6 * 5932,168694}{2 * 26 * 536,0987} = 1,276781708 \quad (17)$$

È importante analizzare il valore di significatività statistica del LISA (Local Indicators of Spatial Association) in genere espresso mediante il p-value. Il p-value per il LISA (Local Indicators of Spatial Association) è un valore statistico che indica la significatività dell'indice locale di autocorrelazione spaziale calcolato per una specifica unità geografica. Il p-value rappresenta la probabilità di ottenere un valore dell'indice locale di autocorrelazione spaziale uguale o superiore a quello osservato, se l'ipotesi nulla di completa casualità fosse vera. In altre parole, se il p-value associato all'indice locale di autocorrelazione spaziale è inferiore a un

livello di significatività predefinito, vedi tabella 4, significa che l'ipotesi nulla di completa casualità può essere respinta e che esiste una significativa autocorrelazione spaziale nella zona considerata.

Tab. 3. Indice di Geary C.

	Potenza	Tito	Picerno	Avigliano	Pietragalla	Vaglio	Cancellara	Totale	
Reddito medio familiare	50,113	38,595	23,71	30,842	22,253	34,126	35,605		
Potenza	50,113	0	132,66432	697,11841	371,3714	776,1796	255,5842	210,48206	2443,4
Tito	38,595	132,66432	0	0	60,10901	267,06096	0	8,9401	468,7744
Picerno	23,71	697,11841	0	0	0	2,122849	108,4931	0	807,73431
Avigliano	30,842	371,37144	60,109009	0	0	73,770921	0	0	505,25137
Pietragalla	22,253	776,1796	267,06096	2,122849	73,77092	0	0	0	1119,1343
Vaglio	34,126	255,58417	0	108,49306	0	0	0	2,187441	366,26467
Cancellara	35,605	210,48206	8,9401	0	0	0	2,187441	0	221,60961
	Geary	1,276781708						Totale	
								Generale	5932,16869

Tab. 4. Indice di Geary C.

p-value (Probabilità)	Livello di confidenza	z-score (deviazione standard)
< 0.10	90%	< -1.65 or > +1.65
< 0.05	95%	< -1.96 or > +1.96
< 0.01	99%	< -2.58 or > +2.58

Viceversa, se il p-value è superiore al livello di significatività predefinito, l'ipotesi nulla non può essere respinta e non esiste evidenza di autocorrelazione spaziale nella zona considerata. È importante considerare i valori da prendere in considerazione per il test di significatività considerando il livello di confidenza, che rappresenta la probabilità di ottenere un intervallo di confidenza che contenga il valore vero di una determinata grandezza statistica. In generale, livello di confidenza viene espresso come una percentuale e rappresenta il grado di certezza desiderato nella stima di una grandezza statistica.

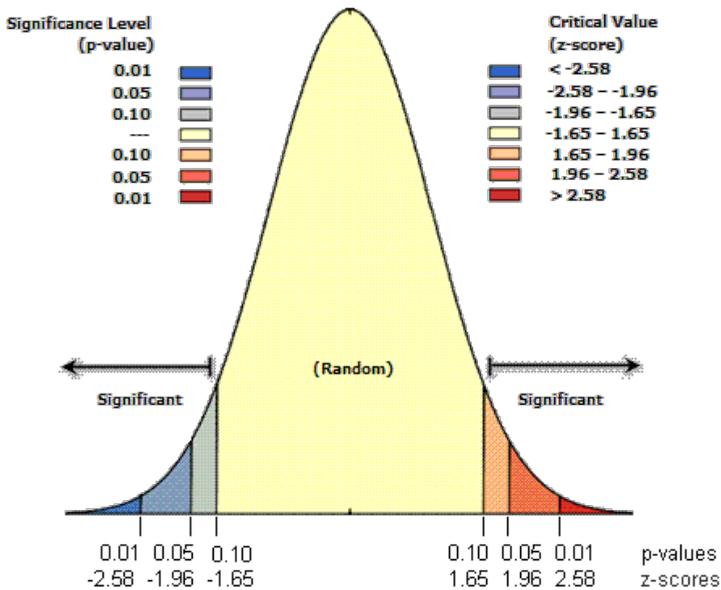


Fig. 13 – Esempio di calcolo del p-value e dello z-score.

Lo z-score (o standard score) è una misura di quanto un valore osservato si discosta dalla media in termini di deviazione standard. In altre parole, lo z-score indica in che misura un dato è distante dalla media di una distribuzione standardizzata, ovvero con media pari a 0 e deviazione standard pari a 1. Lo z-score di un dato viene calcolato sottraendo la media della distribuzione e dividendo il risultato per la deviazione standard: $z = (x - \mu) / \sigma$ dove x è il valore osservato, μ è la media della distribuzione e σ è la deviazione standard della distribuzione. Il valore dello z-score indica se un valore è sopra o sotto la media della distribuzione, e quanto dista dalla media in termini di deviazioni standard. Ad esempio, uno z-score di +1 indica che il valore osservato è un deviazione standard al di sopra della media, mentre uno z-score di -2 indica che il valore osservato è due deviazioni standard al di sotto della media. Nel contesto dell'autocorrelazione spaziale, lo z-score viene utilizzato per determinare la significatività statistica dell'indice di autocorrelazione locale. Il valore dello z-score viene poi confrontato con la distribuzione normale standard per determinare il livello di significatività statistica dell'indice di autocorrelazione locale. In generale, se lo z-score è maggiore di 1,96 (corrispondente al 95% di livello di confidenza), l'indice di autocorrelazione locale è

considerato significativamente diverso da zero a quel livello di confidenza. Tuttavia, il valore esatto dello z-score dipende dalle dimensioni del dataset e dal livello di confidenza desiderato. Ad esempio, se si utilizza un livello di confidenza del 95%, si sta dicendo che si vuole essere sicuri al 95% che l'ipotesi nulla sia vera o falsa. In altre parole, c'è una probabilità del 5% di commettere un errore.

Ad esempio, se si sceglie un livello di confidenza del 95%, si sta dicendo che ci si aspetta che il 95% degli intervalli di confidenza calcolati in modo simile contenga il valore vero della grandezza statistica di interesse. In altre parole, c'è una probabilità del 95% che il valore vero si trovi all'interno dell'intervallo di confidenza.

Il livello di confidenza viene solitamente fissato a valori comuni come il 90%, il 95% o il 99%. Tuttavia, è importante notare che aumentare il livello di confidenza aumenta anche la larghezza dell'intervallo di confidenza, il che può rendere la stima meno precisa.

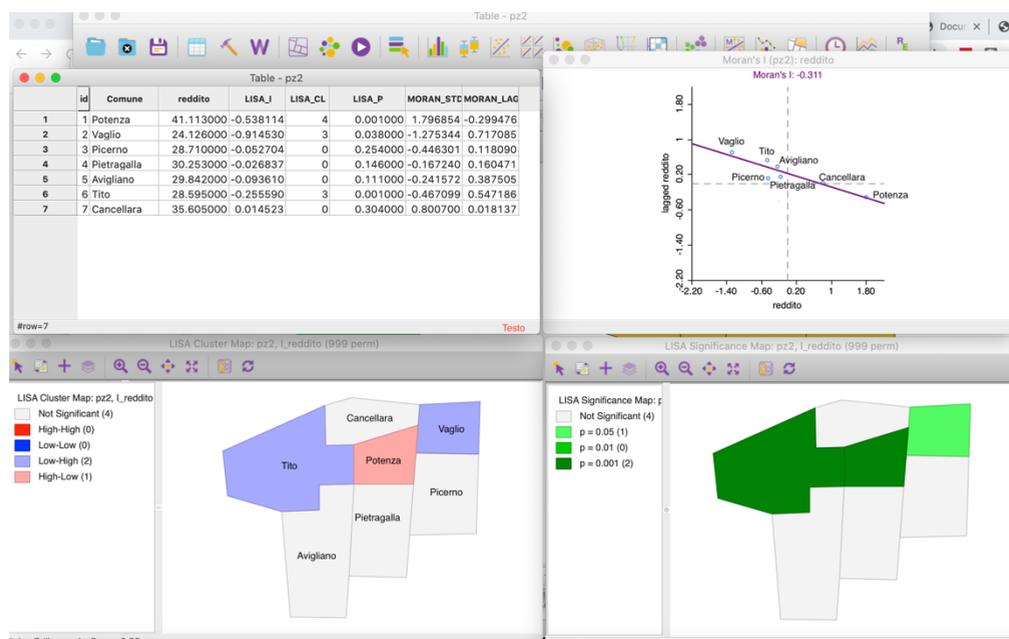


Fig. 14 – Esempio di calcolo del Moran Scatter plot, del LISA e del p-value.

La figura 14 illustra un esempio di calcolo riferito Moran Scatter plot, del LISA e del p-value riferito all'esempio precedente del reddito medio familiare.

Applicazioni di Autocorrelazione Spaziale alla pianificazione del territorio

1. Introduzione

L'autocorrelazione spaziale ha importanti implicazioni nella pianificazione del territorio, poiché consente di identificare i modelli di distribuzione spaziale delle caratteristiche geografiche, come la densità della popolazione, la disuguaglianza sociale, la distribuzione delle attività commerciali e la presenza di servizi pubblici. La conoscenza di tali modelli può aiutare i pianificatori a identificare le aree che richiedono particolare attenzione e interventi specifici. Ad esempio, se si identifica una forte autocorrelazione positiva della disuguaglianza sociale in una determinata zona, ciò suggerisce la necessità di politiche di sviluppo sociale per ridurre tale disuguaglianza.

Inoltre, l'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per valutare l'efficacia delle politiche di pianificazione territoriale e sviluppo urbano. Ad esempio, si può valutare se la costruzione di nuove infrastrutture (strade, linee ferroviarie, parchi pubblici, ecc.) ha portato ad una maggiore dispersione o ad una maggiore concentrazione di determinate caratteristiche geografiche. Inoltre, l'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per identificare i processi di gentrificazione o di esclusione sociale in determinate zone e per valutare l'impatto di politiche di housing o di sviluppo economico sulle disuguaglianze territoriali.

L'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per identificare le aree di rischio o la vulnerabilità in caso di eventi naturali o di disastri, come terremoti, alluvioni o incendi. Identificare le zone ad alto rischio può aiutare i pianificatori a sviluppare politiche di prevenzione e di emergenza per ridurre al minimo i danni in caso di eventi catastrofici.

L'autocorrelazione spaziale è una tecnica di analisi utilizzata nella salvaguardia ambientale per identificare e mappare la distribuzione spaziale delle caratteristiche ambientali e valutare la loro relazione con altre variabili ambientali o socio-economiche.

In particolare, l'analisi dell'autocorrelazione spaziale è utilizzata per valutare se le caratteristiche ambientali si distribuiscono in modo casuale o se esiste una tendenza a raggrupparsi in aree specifiche. Questo è importante perché la presenza di cluster di caratteristiche ambientali può essere indicativa di una potenziale fonte di inquinamento o di una zona di particolare interesse ambientale che richiede protezione. L'analisi dell'autocorrelazione spaziale è utile per identificare le aree critiche da proteggere e per identificare le potenziali fonti di inquinamento. Questo tipo di analisi è particolarmente utile nella valutazione dell'impatto ambientale delle attività umane, come l'industrializzazione, l'agricoltura intensiva e lo sviluppo urbano. Inoltre, l'analisi dell'autocorrelazione spaziale può essere utilizzata per identificare le aree prioritarie in cui concentrare gli sforzi di conservazione e ripristino ambientale.

2. Analisi dei fenomeni immigratori mediante tecniche di autocorrelazione spaziale

La letteratura sulle migrazioni esprime un certo numero di punti di vista alquanto variegati. Infatti, come osservato da Roseman [23], c'è una grossa varietà di analisi con differenti approcci che producono conclusioni diverse a scale differenti. La ricerca sulle migrazioni ha assunto un quadro multidisciplinare che coinvolge diverse discipline quali la geografia, l'economia e le scienze sociali.

Le migrazioni sono fattori chiave nelle dinamiche di evoluzione della popolazione a vari livelli e che rappresentano una componente rilevante della demografia. Da un punto di vista economico delle migrazioni sono forme di capitale umano [24]. Gran parte delle ricerche sulle migrazioni adottano un quadro statico, basando le loro ipotesi sul legame tra migrazione e la "ricerca di migliori condizioni economiche" (massimizzazione della ricchezza). Questo concetto strutturale nell'analisi della migrazione si basa fortemente sulla percezione individuale di massimizzazione della ricchezza. Mincer [25] ipotizza che la localizzazione massima individuale può non coincidere con la localizzazione massima comune.

Nei prossimi paragrafi si procederà all'identificazione delle aree di destinazione dei flussi migratori in Italia, sviluppando un approccio combinato tra indicatori tradizionali e tecniche di

geostatistica, partendo da variabili elementari (popolazione residente, iscritti e cancellati, presenza straniera), in modo da progettare una metodologia riproducibile. È stato possibile individuare dei clusters territoriali di cui tener conto per decisioni politiche efficaci in tema di immigrazione e di problematiche di integrazione sociale, sicurezza, opportunità lavorative ad essa legate.

Lo studio ha riguardato il territorio nazionale, data la consistenza del fenomeno migratorio nel nostro territorio, soprattutto negli ultimi decenni in cui l'Italia ha vissuto un'inversione di tendenza, passando da origine a destinazione dei flussi migratori.

2.1 Dati e metodologia

La ricerca è stata sviluppata rispetto all'intero territorio nazionale assumendo la municipalità come entità statistica-geografica minima. Questa scelta metodologica risponde alla necessità di rappresentare nel dettaglio un fenomeno che tradizionalmente viene descritto a scala nazionale per macro aggregazioni.

Per le finalità del lavoro sono stati selezionati indicatori sintetici per misurare l'incidenza degli stranieri sulla popolazione residente in Italia. Tali indicatori sono stati costruiti sulla base di dati disponibili rispetto al caso in studio, ma anche reperibili nella maggior parte dei contesti nazionali.

Il dataset di riferimento è quello disponibile presso l'Istituto Nazionale di Statistica. Le variabili di riferimento sono di tipo elementare: popolazione residente, popolazione straniera presente, numero di iscritti e cancellati. Per ciascuna variabile sono state considerate preliminarmente le serie storiche.

2.1.1 Il fenomeno migratorio: tecniche di analisi tradizionali

L'approccio metodologico adottato ha previsto inizialmente l'uso di indicatori statistici tradizionali. In particolare, sono stati calcolati l'Indice di Efficacia dei movimenti migratori (Ie), per ottenere informazioni sulla dinamica degli spostamenti, il Quoziente di Localizzazione (QL) e l'Indice di Dissimilarità (D), per ottenere misure di localizzazione e di segregazione.

Il quoziente di localizzazione misura l'intensità della modalità di un fenomeno relativo alla micropartizione territoriale rispetto all'intensità della stessa modalità riferita all'intera area cui appartiene.

L'Indice di Dissimilarità misura la distribuzione di due differenti gruppi etnici, pesandone la compatibilità (o incompatibilità) di localizzazione residenziale nell'ambito delle unità spaziali considerate.

In genere l'indice di segregazione è l'indice maggiormente usato nelle ricerche internazionali che riguardano la mobilità geografica, in particolar modo l'indice di dissimilarità sviluppato da Duncan e Duncan [26, 27]. Esso permette di cogliere la divisione sociale presente nello spazio intra-urbano e quindi di risalire alle cause delle scelte localizzative che concorrono a favorire l'insediamento degli immigrati in una certa area piuttosto che in un'altra.

Indice di efficacia migratoria

L'indice di efficacia migratoria può essere un indicatore utile per comprendere il contributo dei flussi migratori alle variazioni demografiche in una determinata area. Esso mira a misurare l'impatto quantitativo e qualitativo dei movimenti migratori sulla composizione e sul cambiamento della popolazione. Questo indice prende in considerazione le seguenti variabili:

- Saldo migratorio rappresenta la differenza tra il numero di immigrati e il numero di emigrati in un dato periodo di tempo.
- Iscritti rappresenta il numero di persone che si sono iscritte o registrate come residenti nell'area considerata nel periodo di riferimento.
- Cancellati rappresenta il numero di persone che si sono cancellate o sono state rimosse come residenti nell'area considerata nel periodo di riferimento.

L'indice di efficacia I_e consente di rilevare il peso dei flussi migratori sulle variazioni demografiche. Esso è definito come:

$$I_e = \left[\frac{(I - D)}{(I + D)} \right] 100 \quad (1)$$

dove I sono gli iscritti all'anagrafe, D i cancellati; (I-D) rappresenta il saldo migratorio. Valori prossimi a zero indicano che l'interscambio migratorio di un comune non produce una variazione significativa della popolazione, valori prossimi a 100 segnalano che i flussi in

ingresso sono molto maggiori rispetto a quelli in uscita e infine, valori prossimi a -100 mostrano che prevalgono i flussi di emigrazione.

L'interpretazione di questo indice dipende dal contesto e dalle caratteristiche specifiche dell'area considerata. Pertanto, è consigliabile integrare l'indice con altre misure e considerare una gamma più ampia di indicatori demografici per ottenere una valutazione completa delle variazioni demografiche associate ai flussi migratori.

Quoziente di localizzazione

Il quoziente di localizzazione, noto anche come indice di concentrazione o indice di specializzazione, è una misura statistica utilizzata per valutare la concentrazione o la specializzazione di una particolare attività o categoria in una specifica area geografica rispetto a un'area di riferimento più ampia.

Il quoziente di localizzazione viene spesso utilizzato nell'ambito delle analisi economiche per valutare la presenza di settori o industrie concentrate in determinate aree. Può anche essere applicato ad altre variabili, come la popolazione di un certo gruppo demografico o la presenza di un fenomeno specifico.

Il calcolo del quoziente di localizzazione coinvolge due passaggi principali:

- Calcolo delle proporzioni: Si calcolano le proporzioni della variabile di interesse sia nell'area geografica specifica che nell'area di riferimento più ampia. Ad esempio, se si sta valutando la concentrazione di un'industria in una città, si calcolerà la proporzione di quella specifica industria nel totale dell'occupazione nella città e la proporzione della stessa industria nel totale dell'occupazione nell'intero paese.
- Calcolo del quoziente di localizzazione: Il quoziente di localizzazione viene calcolato dividendo la proporzione dell'area di interesse per la proporzione dell'area di riferimento.

Il quoziente di localizzazione (QL) fornisce una stima del grado di specializzazione della singola unità statistica ad accogliere la popolazione straniera.

Esso fornisce una misura della concentrazione relativa di un gruppo in un determinato comune, in relazione alla incidenza media dello stesso gruppo a livello nazionale.

L'indicatore è definito come:

$$QL = \frac{(x_i/y_i)}{(X/Y)} \quad (2)$$

dove x_i rappresenta il numero degli stranieri totali nell'area i -esima (il comune), X la popolazione straniera nell'intera area di studio (il territorio nazionale), y_i la popolazione residente nell'area i -esima, Y la popolazione residente nell'intera area di studio.

Il quoziente di localizzazione fornisce la misura della concentrazione relativa di un gruppo in una determinato comune in relazione all'incidenza media dello stesso gruppo a livello nazionale. Un valore di QL inferiore a 1 indica la debole presenza di un gruppo in una certa area, un valore uguale a 1 indica che la concentrazione nel comune è simile a quella nazionale ed, infine, un valore superiore a 1 indica una situazione di sovra-rappresentazione relativa di un gruppo in una certo comune [28].

Il quoziente di localizzazione può essere calcolato per diverse unità geografiche, come città, regioni, paesi o altre suddivisioni amministrative. È importante considerare le dimensioni e le caratteristiche delle aree considerate per un'interpretazione corretta del quoziente di localizzazione.

Il quoziente di localizzazione fornisce una misura relativa della concentrazione o della specializzazione e può aiutare a identificare aree o settori distintivi all'interno di una regione più ampia. Tuttavia, per un'analisi più approfondita, possono essere necessarie altre misure e metodi analitici per comprendere appieno i fattori che contribuiscono alla concentrazione o alla specializzazione osservata.

Indice di dissimilarità

L'indice di dissimilarità è una misura statistica utilizzata per valutare la differenza o la dissimilarità tra due gruppi o categorie di dati. Viene spesso impiegato nell'ambito delle analisi socio-demografiche per valutare le differenze nella distribuzione di una variabile tra gruppi distinti. L'indice di dissimilarità può essere calcolato in diverse forme, a seconda del contesto e delle variabili considerate. L'indice di dissimilarità nell'analisi dei flussi migratori è un indicatore utilizzato per valutare la differenza o la dissimilarità tra le distribuzioni dei flussi migratori tra diverse aree geografiche o gruppi di popolazione. Questo indice aiuta a

identificare i pattern migratori che possono essere caratterizzati da una maggiore o minore concentrazione di flussi migratori in determinate aree o tra gruppi specifici.

L'indice di dissimilarità, nell'ambito della stima del grado di segregazione di due gruppi di popolazione presenti nell'area di studio, è un indicatore che misura la differenza o la dissimilarità nella distribuzione dei due gruppi all'interno dell'area considerata. Questo indice fornisce una misura quantitativa dell'entità della segregazione tra i due gruppi.

L'indice di dissimilarità nella formulazione di [27] Duncan e Duncan fornisce una stima del grado di segregazione di due gruppi di popolazione presenti nell'area di studio. Esso descrive una concentrazione spaziale dei gruppi di popolazione. L'indice è definito come:

$$D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k |x_i - z_i| 100 \quad (3)$$

dove x_i rappresenta il rapporto tra il numero di residenti del gruppo nella zona i -esima e la popolazione complessiva di quel gruppo nell'intera area di studio, z_i rappresenta il rapporto tra il numero degli stranieri nella zona i -esima e il numero degli stranieri totali nell'area di studio, k è il numero delle zone in cui è divisa l'area di studio. L'indice varia tra 0 e 100. Valori prossimi a 0 indicano una bassa dissimilarità. Alti valori di questo indice indicano che la coesistenza di due gruppi nella stessa area è quantitativamente limitata.

L'indice di dissimilarità nell'analisi dei flussi migratori aiuta a identificare le aree o i gruppi che presentano una maggiore concentrazione o dispersione dei flussi migratori, consentendo di individuare i pattern migratori significativi e le dinamiche spaziali dei movimenti migratori.

L'uso dell'indice di dissimilarità consente di valutare oggettivamente il grado di segregazione tra i gruppi di popolazione e di identificare le aree in cui si verificano maggiori livelli di segregazione. Tuttavia, è importante considerare che l'indice di dissimilarità fornisce solo una misura di differenza nella distribuzione dei gruppi di popolazione e non tiene conto di altri aspetti importanti della segregazione, come la qualità degli spazi abitativi o l'accesso alle risorse.

Gli indici di segregazione, anche se ampiamente presenti in letteratura (Massey e Denton 1988), non forniscono indicazioni in merito alla distribuzione spaziale del fenomeno, hanno il limite di una forte dipendenza spaziale (Wong 1997) e producono risultati fortemente dipendenti dal sistema di zonizzazione scelto (O' Sullivan e Wong 2007).

Autocorrelazione spaziale e fenomeni migratori

L'autocorrelazione spaziale può essere uno strumento utile per analizzare i fenomeni migratori e identificare pattern di concentrazione o dispersione degli immigrati in determinate aree geografiche. Questo tipo di analisi può fornire informazioni sulla distribuzione spaziale delle popolazioni migranti e sull'interazione tra di esse.

L'autocorrelazione spaziale può essere calcolata utilizzando indicatori demografici o socio-economici legati all'immigrazione, come ad esempio il numero di immigrati, il tasso di immigrazione o la percentuale di popolazione straniera in un'area specifica.

Attraverso l'analisi dell'autocorrelazione spaziale, è possibile rilevare la presenza di cluster o hot spot, ovvero aree in cui gli immigrati si concentrano in modo significativo. Questi cluster possono essere indicativi di fattori che influenzano la scelta dei luoghi di insediamento degli immigrati, come reti sociali, opportunità lavorative o servizi di sostegno comunitario.

D'altra parte, l'autocorrelazione spaziale può anche rivelare la presenza di dispersione o cold spot, ovvero aree con una minore concentrazione di immigrati rispetto alla media. Queste aree potrebbero essere interessanti per comprendere le dinamiche di migrazione, come la presenza di politiche di accoglienza o attrattività di determinate regioni.

L'utilizzo dell'autocorrelazione spaziale nel contesto dei fenomeni migratori richiede la disponibilità di dati geografici accurati sugli immigrati e una buona comprensione delle tecniche statistiche e dei software GIS necessari per condurre l'analisi. È anche importante considerare le sfide metodologiche, come la definizione delle unità spaziali appropriate e l'inclusione di variabili di controllo per evitare interpretazioni errate.

In conclusione, l'autocorrelazione spaziale può fornire una prospettiva interessante per esaminare i fenomeni migratori e identificare modelli spaziali nella distribuzione degli immigrati. Tuttavia, è necessario combinare queste analisi con una comprensione più approfondita dei fattori socio-economici, culturali e politici che influenzano i flussi migratori per ottenere una visione completa del fenomeno. Nelle analisi successive si applicheranno gli indicatori basati sull'autocorrelazione spaziale illustrati ampiamente nel capitolo precedente.

2.2 La distribuzione spaziale degli immigrati in Italia

Il caso di studio riguarda la distribuzione spaziale della presenza straniera in Italia. Sono stati calcolati gli indicatori descritti nei precedenti paragrafi assumendo la municipalità come unità statistica minima. Le elaborazioni si riferiscono ai dati al 1999 ed al 2007.

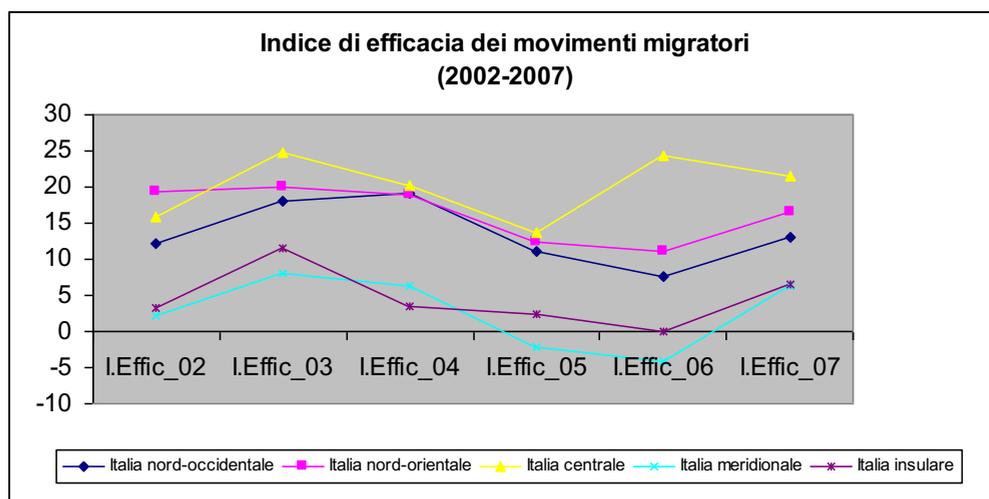


Grafico 1 – Indice di efficacia migratoria per ripartizione geografica.

Tab. 1. Indice di efficacia migratoria per ripartizione geografica.

Ripartizione Geografica	I _e 2002	I _e 2003	I _e 2004	I _e 2005	I _e 2006	I _e 2007
Italia nord-occidentale	12.21	18.08	19.03	11.12	7.65	12.98
Italia nord-orientale	19.36	20.02	18.99	12.43	11.16	16.50
Italia centrale	15.96	24.77	20.28	13.76	24.38	21.47
Italia meridionale	2.25	8.07	6.27	-2.11	-4.21	6.22
Italia insulare	3.18	11.44	3.47	2.38	0.02	6.46
Italia nord-occidentale	12.21	18.08	19.03	11.12	7.65	12.98

Il grafico 1 e la tabella 1 mostrano la scarsa misura con cui le oscillazioni del saldo migratorio influenzano la numerosità della popolazione. Dal 2002 al 2007 il campo di variazione è stato delimitato da circa -4 a +25, quindi visto che i valori critici sono 100 (molta immigrazione), -100 (molta emigrazione), si può dedurre che i flussi migratori abbiano avuto un peso abbastanza moderato in Italia. Interessante è notare come per l'Italia meridionale, tale valore oscilla tra 2,25 e -4,21 per poi assumere nel 2007 un valore di nuovo positivo (circa 6,22). L'indice di efficacia migratoria permette una valutazione della dinamicità evolutiva della popolazione sulla base dell'impatto della componente migratoria interna ed esterna. In Figura 1 è riportata la rappresentazione dell'indice di efficacia al 2007. Si osserva un comportamento eterogeneo del sistema che non permette di identificare clusterizzazioni relative ad origini e destinazioni preferenziali dei flussi migratori. Si può osservare, inoltre, che i comuni montani hanno una marcata tendenza a generare migrazione, confermando la tendenza allo spopolamento di queste zone.



Fig. 1 – Indice di Efficacia dei movimenti migratori al 2007 .

Attraverso la determinazione del Quoziente di Localizzazione, poi, è stato possibile stabilire che il maggior grado di specializzazione a ospitare la popolazione straniera riguarda le zone centrali e nord-orientali dell'Italia (figura 2).

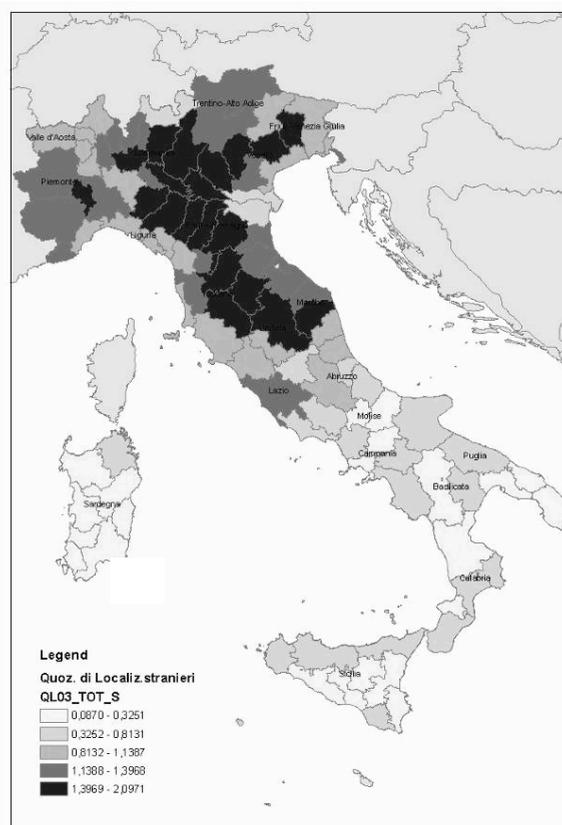


Fig. 2 – Quoziente di Localizzazione al 2007.

L'indice di dissimilarità ha permesso, invece, di misurare l'eterogeneità della struttura della popolazione straniera (Figura 3).

Gli indici di segregazione non forniscono indicazioni sulla distribuzione spaziale del fenomeno, in particolare non consentono di sviluppare la valutazione del grado di segregazione all'interno dell'area di studio.

Al fine di individuare cluster rappresentativi della concentrazione degli stranieri sono state utilizzate tecniche di analisi di autocorrelazione spaziale.

Il coefficiente I di Moran esprime la correlazione tra il numero degli stranieri/popolazione in un determinato luogo e numero degli stranieri/popolazione di unità spaziali vicine.

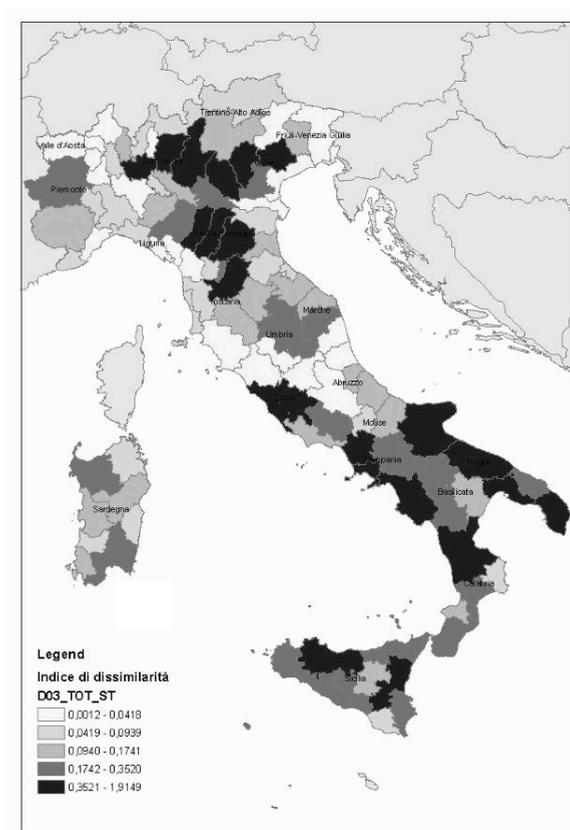


Fig. 3 – Indice di Dissimilarità al 2007.

Per tener conto delle connessioni e delle loro intensità, in questo studio, si è definita una matrice di contiguità W , dove $W_{ij} = 1$ se l'area i confina con l'area j , cioè se, nel nostro caso, due comuni sono confinanti, e $W_{ij} = 0$ negli altri casi. Si è scelto, come criterio di contiguità, la Queen Contiguity secondo la quale sono contigue quelle celle che nella griglia regolare hanno un lato ed un angolo in comune.

La tabella 2 mostra i valori dell'indice I Moran (con relativo Z-score) ottenuto da misure ripetute sui dati per le diverse aggregazioni territoriali utilizzando le due variabili di base considerate in questo lavoro: gli stranieri residenti e il rapporto tra gli stranieri residenti e la popolazione totale. È da notare che l'autocorrelazione spaziale è significativa per la seconda variabile considerata ed è pertanto rappresentativa del fenomeno considerato.

Tab. 2. Elaborazioni dell'indice I di Moran.

REGIONI	Stranieri 2004		Stranieri /Residenti 2004	
	Indice I di Moran	Z-score	Indice I di Moran	Z-score
Piemonte	0,04	9,12	0,24	14,41
Valle d'Aosta	0,07	2,65	0,16	2,48
Lombardia	0,07	13,94	0,49	32,31
Trentino-Alto Adige	0,03	1,45	0,32	10,27
Veneto	0,06	2,08	0,47	19,21
Friuli-Venezia Giulia	0,03	1,13	0,39	9,68
Liguria	-0,04	-2,5	0,42	10,42
Emilia-Romagna	0,03	1,24	0,41	12,46
Toscana	0,1	4,01	0,42	12,02
Umbria	0,07	1,95	0,28	4,56
Marche	0,14	4,14	0,27	7,41
Lazio	0,04	10,7	0,52	16,97
Abruzzo	0,19	5,84	0,33	9,76
Molise	0,05	1,16	0,15	3,13
Campania	0,12	8,68	0,37	14,7
Puglia	0,09	3,09	0,25	6,75
Basilicata	0,17	3,98	0,24	4,89
Calabria	0,02	0,99	0,18	6,2
Sicilia	0,01	0,67	0,24	8,25
Sardegna	0,17	6,9	0,19	6,28

Il Moran Scatter plot è stato adottato, relativamente ai dati del 1999, 2002, 2004 e del 2007, per verificare se la dipendenza spaziale positiva genera cluster territoriali con alto o basso livello di specializzazione (figure 4a, b, c, d). Riportando i risultati ottenuti rispetto ai rispettivi confini comunali (figure 5e, f), si distinguono le singole municipalità rispetto ai gradi di correlazione significativi: 'High-High' e 'Low-Low' (I e III quadrante dello scatterplot di Moran).

Il risultato della rappresentazione è una clusterizzazione geografica strutturata essenzialmente su due raggruppamenti principali: uno che include i comuni del centro e Nord-Est dell'Italia (correlazione 'High-High') e uno che raggruppa i comuni dell'Italia Meridionale e insulare (correlazione 'Low-Low'). Lo Scatterplot di Moran evidenzia, inoltre, i possibili

comuni “anomali”, che rappresentano gli outliers e che richiedono, pertanto, un’adeguata investigazione.

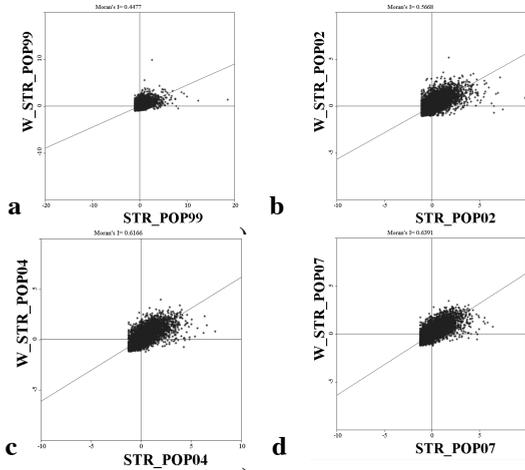


Fig. 4 – Moran Scatterplot rispetto alla variabile Stranieri/Popolazione al 1999(a), 2007(b).

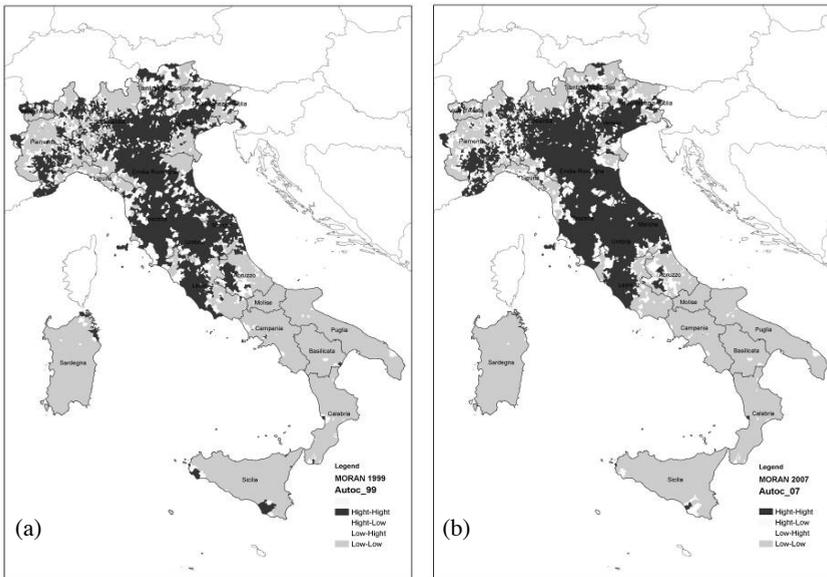


Fig. 5 – Rappresentazione dei comuni rispetto alla distribuzione sullo scatterplot di Moran al 1999 (a) e al 2007 (b).

Il Moran Scatterplot non dà informazioni sulla significatività dei raggruppamenti spaziali, perciò è stato calcolato, con l’ausilio di GeoDa, l’indicatore LISA. Per il calcolo del Lisa si è fatto riferimento alla stessa matrice dei pesi costruita per la costruzione dello scatterplot di

Moran. Esso, ha permesso di misurare, per ciascun comune, l'interdipendenza con gli altri comuni, di indicarne la tipologia (positiva o negativa) e la sua significatività. Si sono riportati i risultati ottenuti in ambiente GIS, ottenendo le mappe di Fig.6, dove si evidenziano i cluster relativamente alla concentrazione spaziale degli stranieri. Seppure con diversi livelli di significatività, emergono tre agglomerazioni: il primo cluster, si riferisce ad una relazione positiva di tipo 'High-High' e, geograficamente concentrato nella porzione nord-orientale, aree che si caratterizzano da livelli di benessere crescenti e quindi aree a forte richiamo per gli stranieri per la possibilità di occupazione che esse offrono, il secondo cluster, sempre di tipo 'High-High', interessa la parte centrale del territorio nazionale e trova una spiegazione ancora una volta negli elevati livelli di reddito ed occupazione, il terzo cluster, di tipo 'Low-Low', comprende i comuni dell'Italia Meridionale e Insulare, notoriamente caratterizzati da basso reddito e scarse opportunità occupazionali.

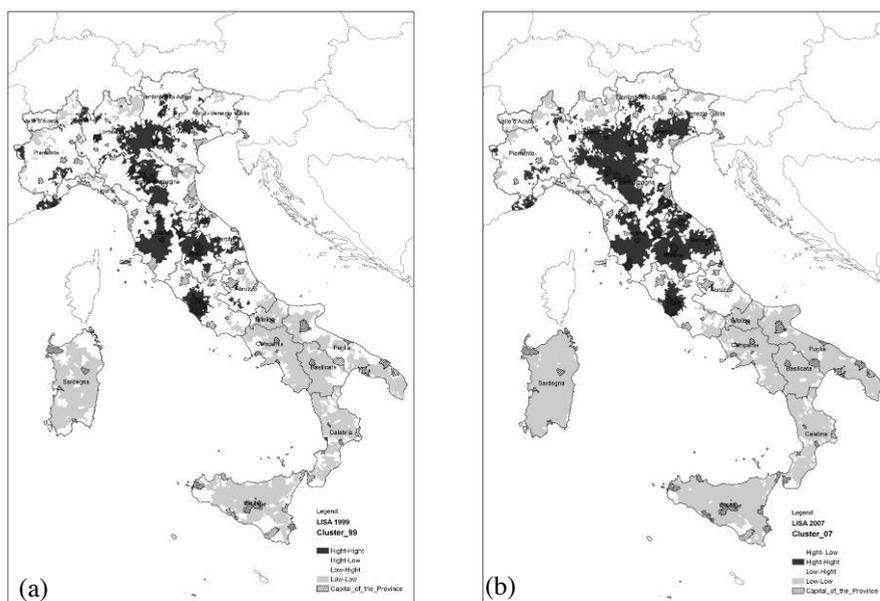


Fig. 6 – Rappresentazione dei comuni rispetto al LISA al 1999, (a) al 2007 (b).

Dal confronto del LISA alle due date considerate le aree che presentano correlazione del tipo Alto – Alto e Basso-Basso tendono ad espandersi interessando anche altri comuni limitrofi.

È di fondamentale importanza analizzare la presenza di immigrati suddivisi per nazione di origine, all'interno di una determinata area, il comune, e misurando la relazione e l'influenza

con le aree circostanti, i comuni limitrofi. In particolare, per ogni gruppo di immigrati, si sono calcolati i valori di LISA (*Local Indicator of Spatial Association*) per evidenziare i valori più elevati del fenomeno migratorio, considerando i più alti livelli di affinità con le aree limitrofe. In tal modo i dati sono stati esaminati nel loro complesso, evidenziando la concentrazione dei migranti, il loro formare gruppi, sulla base di comuni limitrofi, nonché il loro schema distributivo nello spazio. I dati relativi agli stranieri residenti alla scala comunale sono stati analizzati per gli anni 2003 e 2009 sulla base dei dati ufficiali dell'Istituto Italiano di Statistica (ISTAT). È stato preso in considerazione il 2003, in quanto il 30 luglio 2002 il Parlamento italiano ha approvato una legge concernente la "disciplina dell'immigrazione e le norme sulla condizione dello straniero". Di conseguenza, un forte aumento di stranieri residenti è stato registrato nel 2003 a causa della regolarizzazione degli stranieri che avevano il permesso di soggiorno. Infatti nel 2003, i permessi di soggiorno sono aumentati di circa 355 mila unità per gli uomini e di circa 295 mila unità per le donne. Mentre negli anni successivi, l'aumento dei permessi di soggiorno è stato dovuto quasi esclusivamente al ricongiungimento familiare. Come nota generale, si può ricordare che l'Italia ha sperimentato un drammatico aumento in percentuale della popolazione straniera sul suo territorio, in quanto il valore è più che raddoppiato in meno di un decennio, dal 3,5% all'inizio del secolo all'attuale 7% della popolazione straniera sul totale. Questo valore, naturalmente, rappresenta le variazioni medie e locali e si può riscontrare in tutti i livelli di unità amministrative analizzate, regioni, province e comuni.

Osservando i dati generali e confrontando i due anni considerati - 2003 e 2009 - si può notare che i residenti stranieri sono più che raddoppiati, da circa 2 milioni di persone nel 2003 a 4,2 milioni di persone nel 2009. Tale aumento di oltre 2,2 milioni di persone è concentrato in pochi gruppi, una decina di nazionalità differenti contano per il 73% degli immigrati totali in Italia al 2009 e un totale di 20 nazionalità differenti descrivono la maggior parte del processo di immigrazione riguardante l'88% dei residenti stranieri. Nelle prime dieci posizioni, in termini di numeri assoluti - anche come incremento assoluto - si trovano paesi come Romania, Albania, Marocco, Repubblica Popolare di Cina, Ucraina, Filippine, India, Polonia, Moldova e Tunisia. I rumeni rappresentano il gruppo più numeroso, che ha registrato l'aumento più sostanziale. Un motivo parziale di tale aumento può essere fatto risalire all'ingresso della Romania nell'UE nel 2004, che ha consentito un movimento più facile di persone tra i due Stati e ha invogliato le

persone a trasferirsi in Italia. I dati mostrano, inoltre, che i gruppi "storici" come gli albanesi continuano a scegliere l'Italia come destinazione dei flussi migratori, così come altri gruppi provenienti dai paesi del Nord Africa (Marocco, Tunisia, Egitto e Senegal).

Tab. 3. Stranieri residenti in Italia. 2003 - 2009 confronto e aumenti assoluti dei singoli gruppi (valori assoluti e percentuali).

Nazioni	Popolazione 2003	Popolazione 2009	Incremento in percentuale	Incremento assoluto
Romania	177812	887763	399,27%	709951
Albania	270383	466684	72,60%	196301
Marocco	253362	431529	70,32%	178167
China	86738	188352	117,15%	101614
Ucraina	57971	174129	200,37%	116158
Filippine	72372	123584	70,76%	51212
India	0	105863		105863
Polonia	40314	105608	161,96%	65294
Moldova	24645	105600	328,48%	80955
Tunisia	68630	103678	51,07%	35048
Macedonia	51208	92847	81,31%	41639
Perù	43009	87747	104,02%	44738
Ecuador	33506	85940	156,49%	52434
Egitto	40583	82064	102,21%	41481
Sri Lanka	39231	75343	92,05%	36112
Bangladesh	0	73965		73965
Senegal	46478	72618	56,24%	26140
Ex- Jugoslavia	51708	57877	11,93%	6169
Nigeria	26383	48674	84,49%	22291
Totale stranieri	1990159	4235059	112,80%	2244900
Popolazione totale	56890331	60320749	6,03%	3430418

Un fenomeno più recente è legato all'immigrazione dal Sud Est asiatico, in particolare da Cina, India e Bangladesh, per non dimenticare le Filippine, i cui immigrati sono da tempo "insediati" in Italia. L'Italia rappresenta una meta anche per i cittadini dei paesi industrializzati, come gli altri paesi dell'UE e gli USA. Il numero di persone proveniente da questi ultimi paesi non è così elevata come dagli altri citati in precedenza, ma in ogni caso rappresenta un aspetto interessante per comprendere alcuni modelli spaziali, come sarà più evidente quando si osserveranno i casi locali.

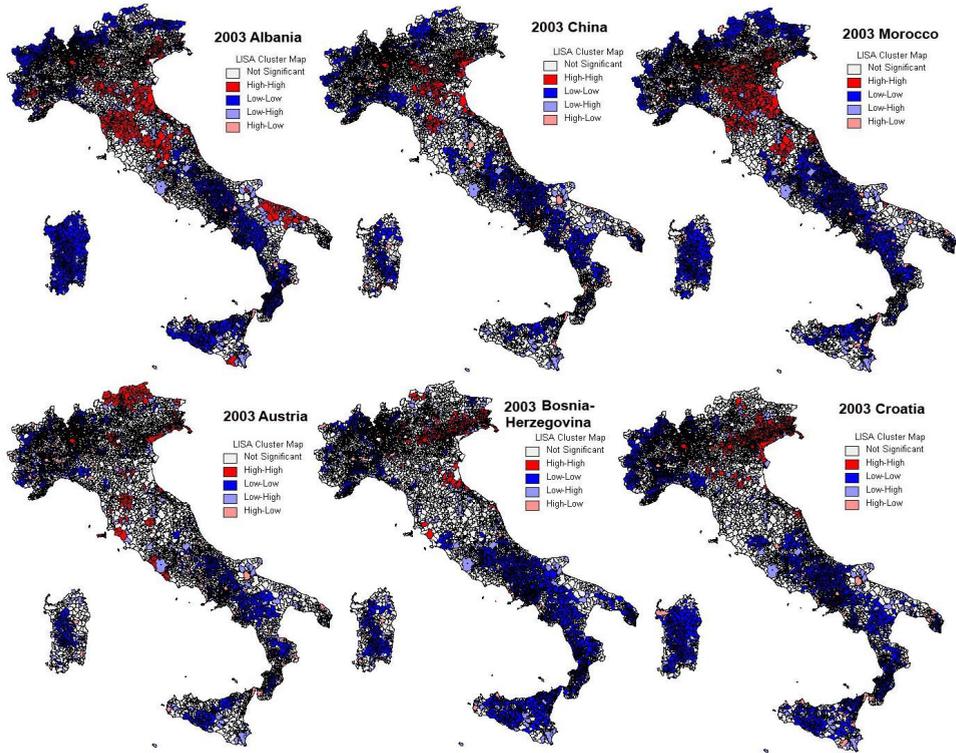


Fig. 7 – Distribuzione territoriale della presenza di alcuni gruppi di cittadini stranieri in Italia (2003).

L'applicazione dell'indicatore LISA consente di identificare dei raggruppamenti nella distribuzione spaziale a livello locale. In questo caso l'analisi è stata effettuata considerando la popolazione straniera all'interno dei comuni italiani, prendendo in esame soprattutto alcuni gruppi etnici (Figure 7 e 8). Considerando i dati al 2003, ed esaminando i valori in cui l'algoritmo LISA risulta 'alto-alto', ovvero con numeri elevati e alti valori di similarità con i Comuni limitrofi, il gruppo etnico cinese presenta dei raggruppamenti soprattutto in alcune aree urbane metropolitane, come Milano e i rispettivi *hinterland*. Il fenomeno interessa altresì la Toscana e, soprattutto, le province di Firenze e Prato, così come l'area che attraversa Veneto ed Emilia Romagna. In quest'ultima regione, si nota un raggruppamento di comuni che connettono le aree urbane di Parma, Reggio Emilia e Modena. In Veneto si osserva un raggruppamento attorno alla città di Venezia, nei comuni situati sulla terraferma.

Una preferenza a localizzarsi nelle regioni del Centro-Nord Italia sembra scorgersi altresì nel caso degli immigrati marocchini. Possiamo notare un singolo gruppo di comuni i cui vertici si possono osservare nelle aree attorno alle città di Venezia e Milano e che coprono Veneto, Lombardia e gran parte dell'Emilia Romagna. Dei raggruppamenti si notano, inoltre, nella Toscana settentrionale e in Umbria, così come sulla costa Adriatica e nelle Marche.

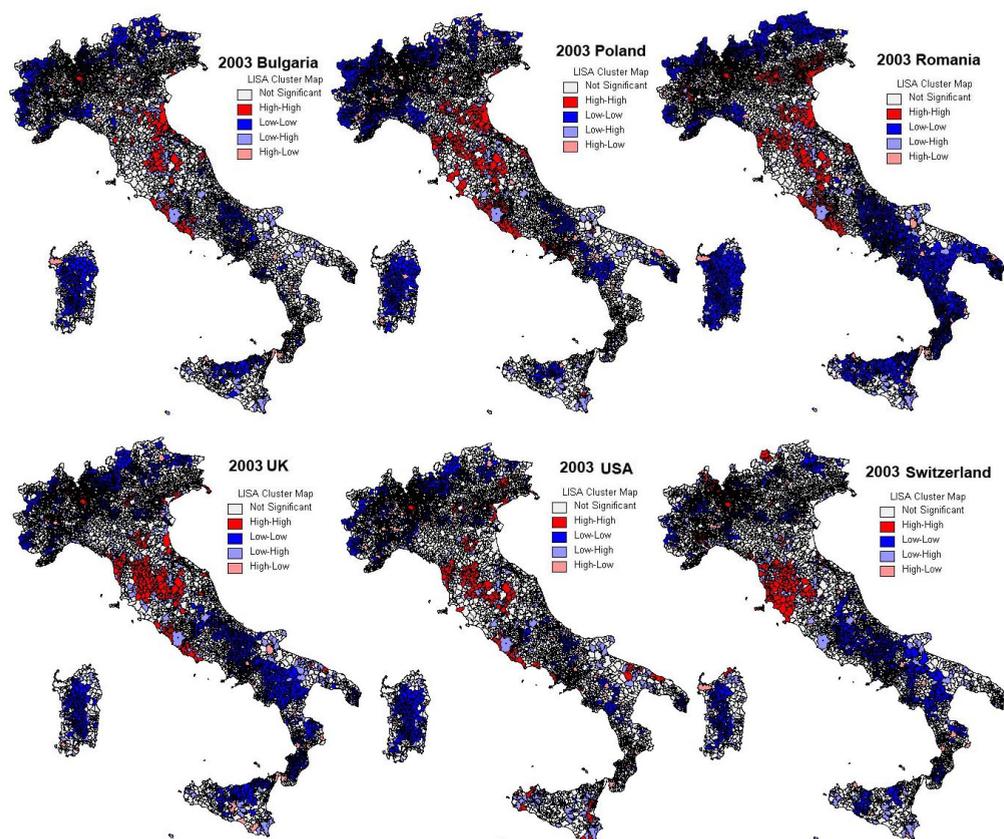


Fig. 8 – Distribuzione territoriale della presenza di alcuni gruppi di cittadini stranieri in Italia (2003).

‘Nuovi’ gruppi migranti da Polonia e Bulgaria sembrano prediligere le località dell’Italia Centrale, concentrandosi prevalentemente in Emilia Romagna, Toscana e Lazio, in quest’ultimo caso preferendo alcune localizzazioni urbane e periurbane (Roma e il suo *hinterland*). Gli stati dell’ex-Jugoslavia, come Jugoslavia (che nel 2003 raggruppava Serbia e Kosovo), Bosnia-Erzegovina e Croazia sono presenti e raggruppati soprattutto nell’Italia

Nordorientale, a partire dal confine tra Italia e Slovenia e distribuiti a occidente verso il Veronese, fino ad arrivare (in particolare per il gruppo croato) alla città di Milano.

I tunisini si concentrano soprattutto in Emilia Romagna e nel Milanese, nonché in alcune località dell'Italia Meridionale, come l'area di Napoli, la Puglia e la Sicilia (in quest'ultimo caso con possibili motivazioni legate alle attività di pesca e agricoltura).

Con riferimento ai gruppi etnici provenienti dai paesi industrializzati, l'algoritmo utilizzato sembra utile nell'evidenziare alcuni 'punti caldi', altrimenti non immediatamente palesi, ma in questo modo non difficilmente spiegabili. Persone provenienti dalla vicina Austria tendono a concentrarsi nell'Alto Adige e nelle altre province dell'Italia settentrionale situate in prossimità del confine italo-austriaco, già dotate di una forte comunità germanofona. La loro presenza è altresì forte in parte del Friuli Venezia Giulia, a sua volta nei comuni in prossimità del confine, nonché in quelli lungo la costa. Tali aree sono infatti note come località turistiche preferite da austriaci e, in alcuni casi, appartenute, *illo tempore*, all'Impero austro-ungarico. La presenza di immigrati di questa nazionalità può inoltre essere notata in comuni confinanti con importanti aree urbane quali Venezia, Verona, Milano, Firenze e Roma.

Nazionalità come quelle svizzera, britannica e statunitense presentano a loro volta alcuni schemi distributivi interessanti nei comuni italiani. Nel caso degli svizzeri, si possono portare delle considerazioni simili a quelle fatte per gli austriaci, in quanto anche questi si localizzano in prossimità dei confini nazionali. A parte tale caratteristica, tutti questi gruppi prediligono altresì contesti localizzativi urbani, come Milano, Venezia, Roma e Firenze, nonché la Toscana nel suo complesso (in particolare il cosiddetto '*Chiantishire*'), da considerare, quest'ultima, non soltanto come località turistica ma anche come luogo di rilocalizzazione per molti individui di queste nazionalità. Alcuni altri schemi distributivi interessanti si possono notare riferiti agli statunitensi, in quanto alcuni raggruppamenti possono essere evidenziati in prossimità di importanti basi militari, in particolare quelle dell'aviazione di Aviano (provincia di Pordenone) e Sigonella (provincia di Catania).

Si possono trarre alcune conclusioni relative alla distribuzione di questi gruppi. L'immigrazione straniera – riferita al 2003 – si presenta come un fenomeno particolarmente evidente soprattutto nelle regioni dell'Italia settentrionale e centrale. L'Italia meridionale e le isole sembrano meno interessate dal fenomeno, nondimeno questo risulta meno importante (Gentileschi, 2007), sebbene si possano scorgere numeri non irrilevanti: a titolo di esempio, la

presenza dei tunisini in Sicilia e degli albanesi in Sicilia e Puglia. Le grandi aree urbane tendono ad attrarre migranti, e ciò è visibile sia nel caso delle città più grandi (es. Milano), sia nel caso dei comuni e delle città più piccole che circondano le grandi conurbazioni (es. i comuni che circondano città come Roma, Napoli, Firenze, Venezia, Verona, ecc.). Le aree più industrializzate a loro volta attirano immigrazione, sia per quanto riguarda le aree industriali più tradizionali, sia relativamente ai distretti industriali caratterizzati dalla presenza di piccole e medie imprese (PMI). Tale fenomeno è evidenziabile soprattutto nel Nordest, nel Nordovest (l'area di Milano) e nell'Italia centro-settentrionale (Emilia Romagna e Toscana).

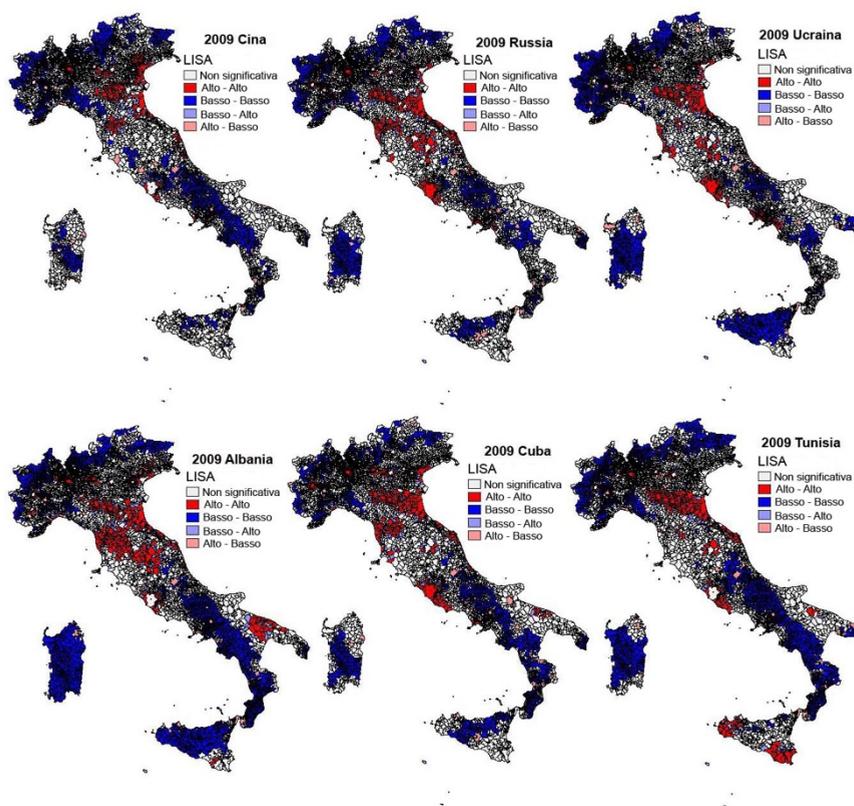


Fig. 9 – Distribuzione territoriale della presenza di alcuni gruppi di cittadini stranieri in Italia (2009).

L'analisi dei dati relativi al 2009 ci può fornire alcune interessanti informazioni sulla variazione negli schemi distributivi del fenomeno migratorio nel tempo (Figure 9 e 10).

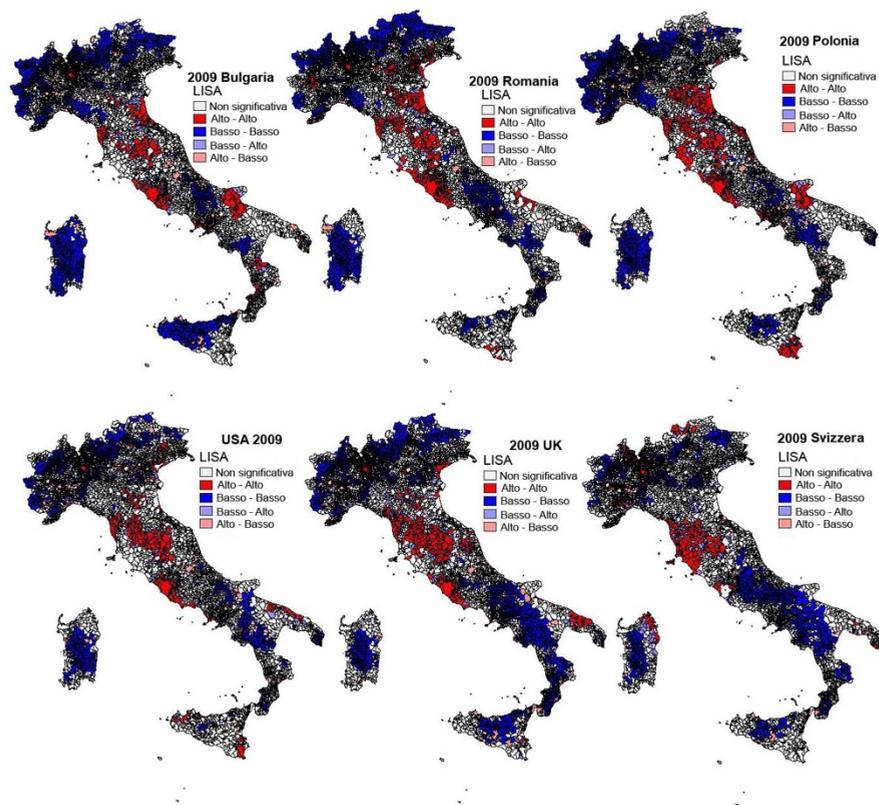


Fig. 10 – Distribuzione territoriale della presenza di alcuni gruppi di cittadini stranieri in Italia (2009).

Anche qui risulta possibile trarre alcune conclusioni. In termini generali si può confermare quanto notato relativamente all'anno 2003, soprattutto per quanto riguarda le differenze tra Nord e Sud e la polarizzazione dei migranti nelle (grandi) aree urbane e in quelle industriali (Valussi, 1978; Cristaldi, 2011). Altri schemi distributivi interessanti sembrano tuttavia evidenziarsi. Si può ad esempio notare una tendenza alle 'migrazioni interne' anche da parte degli stessi immigrati, dato che i *cluster* formati da certi gruppi nazionali tendono sia ad allargarsi, sia a formarsi in nuove e diverse località rispetto al passato.

2.3 Conclusioni

Nel corso di ogni dibattito politico preelettorale, in Europa e negli Stati Uniti, uno dei temi più discussi è generalmente rappresentato dai fenomeni migratori e dalle politiche a questi

collegate. La presenza straniera, unita a un'attenta integrazione con persone dalle differenti caratteristiche sociali e demografiche, background culturali, esperienze e aspettative, può costituire una grande opportunità per le aree di destinazione dei flussi migratori. Per evitare che tali opportunità si trasformino in minacce, è fondamentale una continua osservazione del fenomeno, per programmare misure e interventi adatti per un'integrazione effettiva dei migranti e delle loro famiglie.

Nel corso degli ultimi anni l'attenzione rivolta al fenomeno migratorio è diventata sempre maggiore in concomitanza con l'accrescimento della dimensione della presenza straniera dovuta all'intensificazione dei flussi migratori e al dibattito politico su diversi aspetti dell'immigrazione e della presenza straniera nel nostro Paese. Le scienze regionali stanno prestando sempre più attenzione ai fenomeni migratori considerandoli come una componente di sviluppo regionale. È ancora una questione interessante, soprattutto se si considera la popolazione della regione come un sistema complesso che interagisce con il sistema economico, con feedback positivi e negativi [29].

Le migrazioni sono da sempre un processo naturale che produce altre significative trasformazioni nell'ambiente, così come nella vita quotidiana, nei sistemi economici, nelle culture, nelle religioni, ecc. La presenza di individui stranieri non è facilmente identificabile, a causa della complessità e rapidità di evoluzione del fenomeno. Le migrazioni moderne sono principalmente caratterizzate da due componenti, confrontabili in valore assoluto: migrazioni interne, in cui parte della popolazione si muove nell'ambito di un medesimo paese, e migrazioni esterne, in cui parte della popolazione raggiunge un determinato paese partendo da uno diverso. Le analisi presentate si sono prevalentemente concentrate sulla componente dell'immigrazione verso l'Italia, distinguendo gli stranieri secondo la loro nazionalità. La prima parte ha analizzato i movimenti di popolazione senza distinguere tra movimenti interni ed esterni la seconda prendendo in considerazione i paesi di origine.

L'obiettivo delle analisi presentate è stato quello di indagare sulla struttura spaziale della presenza di stranieri in Italia al fine di esaminare, tra le diverse interpretazioni presenti in letteratura, i divari geografici della presenza di stranieri. A tal fine, attraverso il ricorso alla Spatial Analysis, è stata verificata l'esistenza di autocorrelazione tra i comuni italiani relativamente agli anni 1999, 2007. I cluster così individuati si candidano a essere aree

bersaglio di politiche settoriali volte a superare problemi di integrazione sociale, sicurezza e opportunità di lavoro.

Alla luce dei risultati emersi sembra plausibile affermare un'interpretazione di equilibrio dei divari regionali della migrazione: aree caratterizzate dalla stessa performance (alta presenza di stranieri o bassa presenza di stranieri) tendono ad aggregarsi ed, inoltre, effetti positivi nella presenza di stranieri in un comune si espandono ai comuni vicini, determinando i movimenti degli stranieri dai comuni contigui a quelli nei quali l'effetto si è prodotto. Uno spostamento, dunque, degli stranieri da un'area all'altra esiste, ma non a lungo raggio: questo elemento caratterizzante ben si concilia con la storica distribuzione spaziale degli stranieri in Italia (divario nord-sud).

La seconda parte delle analisi si è basata sull'applicazione di alcune tecniche di analisi statistica spaziale ai fenomeni migratori, focalizzandosi sulla situazione italiana. In particolare si sono applicati gli algoritmi LISA agli stranieri residenti in Italia, localizzati su base comunale, e differenziati per nazionalità di origine. Dopo aver applicato tali strumenti, per alcuni dei principali gruppi etnici è stato possibile evidenziare dei *cluster*, o raggruppamenti, ovvero delle aree a maggior concentrazione nella distribuzione spaziale, non limitandoci a esaminare gli immigrati relativamente al solo peso percentuale, ma anche tenendo conto di quanto accade nei comuni limitrofi a quelli esaminati. In tal modo si sono ottenute delle informazioni interessanti sull'aggregazione spaziale dei gruppi stranieri sul territorio nazionale, elemento non immediatamente evidente da una semplice osservazione dei dati grezzi o tramite indici più tradizionali.

L'analisi ci ha consentito di confermare gran parte delle principali caratteristiche dell'immigrazione e, soprattutto, di scoprire alcuni schemi distributivi non immediatamente visibili, spesso in quanto 'nascosti' da numeri non eccessivamente alti, in termini assoluti, di persone provenienti da un certo paese, o in quanto il dato riferito al singolo comune non consentiva un'analisi troppo approfondita. Si può notare come il fenomeno migratorio caratterizzi soprattutto regioni settentrionali, città, aree metropolitane, distretti ed aree industriali. Differenti gruppi etnici presentano diversità anche notevoli negli schemi di migrazione e insediamento. Queste diversità possono essere spiegate attraverso le catene migratorie, la prossimità geografica e la specializzazione economica nel paese di origine, che vengono riproposte come tratto distintivo e qualità nel paese di destinazione. In meno di una

decade (le due annate di riferimento per l'analisi sono state il 2003 e il 2009) sono intervenuti vari cambiamenti, legati soprattutto alla mobilità interna dei migranti nel nostro paese, visibile in termini di ampliamento spaziale dei singoli *cluster* nazionali e la creazione di nuovi, diversi da quelli originari. Ciò si è tradotto, altresì, in suburbanizzazione, poiché è aumentata la presenza di persone straniere nei comuni suburbani attorno alle principali città e aree metropolitane. Inoltre, l'Italia Meridionale e Insulare è diventata rapidamente destinazione di insediamento per alcuni gruppi migranti, se non con cifre particolarmente alte in valore assoluto, caratterizzata, tuttavia, da una composizione interessante. Per quanto riguarda l'eterogeneità, si è potuto riscontrare come il 'peso', in termini percentuali, di popolazione straniera è, nella maggior parte dei casi, caratterizzato da un aumento nel numero dei paesi stranieri, così come delle persone, rappresentati in singoli comuni. Ciò sta a indicare che in generale, almeno con riferimento ai singoli comuni nella loro interezza, non osserviamo processi di ghettizzazione con la dominanza netta di singoli gruppi etnici stranieri, mentre il tipo di analisi sviluppata non ha consentito di esaminare le dinamiche all'interno della singola area comunale.

Tali conclusioni sono naturalmente compatibili e comparabili con altri livelli di analisi dei dati e di conoscenza del fenomeno sotto osservazione. È opportuno comunque sottolineare come i metodi qui applicati siano stati alquanto precisi nell'evidenziare i tratti del fenomeno immigratorio, che potevano essere solo immaginati o ipotizzati per mezzo di altre tecniche e metodi più tradizionali.

Bisogna altresì sottolineare che tale metodo può rivestire un suo interesse anche in accoppiamento con analisi locali di carattere qualitativo: la sua capacità di evidenziare aree 'calde' per quanto riguarda la distribuzione territoriale e la concentrazione di un determinato fenomeno, possono consentire lo svolgimento di analisi qualitative locali più mirate e localizzate geograficamente.

3. Individuazione di aree urbane da rigenerare mediante indicatori di autocorrelazione spaziale

A partire dalla rivoluzione industriale il principale modello di sviluppo urbano si è basato sul concetto di espansione, nel quale nuove parti vengono aggiunte alla città esistente con il fine di soddisfare la domanda di abitazioni. Mentre nelle città preindustriali, le principali attività influenzavano una porzione di spazio all'interno o nell'immediata prossimità del limite degli insediamenti urbani, la rapida crescita delle città in epoca industriale rappresenta il passaggio da una città quasi sostenibile ad una città che si avvale della capacità di carico delle regioni confinanti (Stren et al., 1992).

Basandosi sui principi di efficienza e razionalizzazione dominanti nell'era industriale, i nuovi piani hanno scomposto la città in aree distinte a seconda delle differenti destinazioni d'uso, creando il principio della zonizzazione funzionale. Il concetto di città scompare dietro le esigenze di spostarsi, risiedere, vendere, comprare, produrre, ecc. [30].

La grande domanda di abitazioni ha portato a focalizzare l'attenzione sulla semplice realizzazione di alloggi, ma la città non è un insieme di case è la casa di una comunità in cui è possibile realizzare funzioni urbane [31]. Questo approccio ha generato città con un basso livello di qualità urbana, cercando in primo luogo di fornire un posto dove vivere alla gran parte della popolazione che si spostava dalle aree rurali verso la città. I quartieri costruiti in questo periodo sono caratterizzati da degrado ambientale, mancanza di spazi aperti, scarsa disponibilità di parcheggi e aree verdi, carenza di arredo urbano.

La consapevolezza della inadeguatezza degli strumenti di pianificazione tradizionali segna il passaggio da un approccio basato sull'espansione urbana ad uno basato sul concetto di trasformazione urbana. La ragione di questa scelta è la necessità di migliorare la qualità dei quartieri, incoraggiando interventi in parti degradate o sottoutilizzate della città piuttosto che intervenire ancora mediante espansioni. Il secondo motivo è quello di evitare il consumo di nuovo suolo, del resto sarebbe impensabile abbandonare aree urbane degradate per costruire nuovi quartieri anche se di qualità migliore. È anche importante prestare attenzione alle zone densamente popolate, con un elevato numero di disoccupati e un basso tasso di frequenza scolastica, dove sono elevati i rischi di conflitti sociali, soprattutto oggi, dal momento che gran

parte dell'immigrazione da altri paesi si concentra in queste aree. Al fine di trovare una soluzione a tali problemi una nuova tipologia di strumenti di pianificazione è stato adottato: programmi di rigenerazione urbana. Questi programmi in alcuni paesi chiamati anche di rinnovo urbano, complessi in altri, sono basati sull'idea che lo spazio in cui vivremo nel futuro prossimo è già costruito [32]. I programmi complessi hanno contribuito ad incoraggiare il passaggio dalla pianificazione urbanistica basata sull'espansione della città ad una pianificazione più attenta alla qualità delle trasformazioni da effettuare sulla città esistente. Gli obiettivi di questi programmi possono essere sintetizzati nell'aumento della qualità delle abitazioni e degli spazi aperti, politiche di coesione sociale, in una maggiore attenzione ai fenomeni migratori, e nello sviluppo e integrità delle aree [33]. Diverse sono le esperienze esistenti in tutto il mondo relative alle politiche di rigenerazione urbana e possiedono differenze sia di forma che di contenuti. I contenuti possono essere riassunti nell'integrazione della funzionalità, nell'esclusione sociale, nel degrado ambientale, nello sviluppo del sistema infrastrutturale. La forma riguarda la modalità di coinvolgimento della comunità o la possibilità di condividere un programma tra più città, creando una forma di network tra aree urbane finalizzato a raggiungere migliori risultati. I più recenti esempi sono quelli in cui si hanno nuove forme di negoziazione tra l'amministrazione pubblica e le imprese private, effettuate perseguendo il bisogno di integrare i sempre più esigui investimenti pubblici. Al fine di rivitalizzare le parti degradate delle città, il settore privato in molti casi può essere interessato ad effettuare investimenti economici. In genere è piuttosto facile trovare un investitore privato interessato a trasformare una zona completamente abbandonata, cambiando completamente le destinazioni d'uso, ad esempio è molto conveniente trasformare un'industria dismessa o una stazione ferroviaria abbandonata in un centro commerciale o in una multisala. Infatti tali aree sono molto accessibili, abbastanza centrali e in grado di fornire importanti servizi a tutta la città. Al contrario, non è così facile trovare un investitore privato attratto da una zona degradata residenziale da rivitalizzare, senza cambiare completamente le destinazioni d'uso. In quest'ultimo caso, è importante raggiungere un accordo tra gli investitori privati e l'amministrazione locale, al fine di integrare risorse pubbliche e private. Anche nelle zone in cui gli investitori privati possono avere grandi interessi, è importante avere un coordinamento pubblico, perché il mercato non può essere l'unica soluzione possibile nella gestione del territorio. I finanziamenti pubblici possono essere importanti anche in aree in cui imprese

private hanno convenienza ad investire in modo da garantire politiche abitative e mix sociale e funzionale. In questo caso, l'intervento pubblico non deve essere considerato come un intervento dirigista, ma come azione utile a garantire la qualità urbana, l'ultima crisi economica globale ci ha insegnato che il profitto, il mercato ed il liberalismo non sono gli unici principi su cui basare le politiche immobiliari. Un importante obiettivo dell'azione pubblica nella gestione della città è quello di bilanciare le imperfezioni e le inefficienze legate al mercato. Il ruolo del pubblico può essere fondamentale nel contrastare la rendita prodotta dal fallimento del mercato, nel ripristinare adeguate condizioni di efficienza allocativa e nel garantire un trattamento equo alla proprietà privata. Le difficoltà economiche degli enti locali e la crescente complessità degli investimenti pubblici richiedono il coinvolgimento di investitori privati nella produzione e gestione dei servizi. Il passaggio dal finanziamento indiscriminato ad una competizione tra le città non solo per ottenere nuove risorse, ma per proporre strategie più ampie per un possibile "successo urbano" basato su servizi non comuni e strategici. La forma tradizionale di finanziamento diretto dall'amministrazione centrale verso gli enti locali è stato sostituito o integrato da altre forme di finanziamento, come il project financing, incentivi fiscali per gli investitori, sponsorizzazioni, investimenti privati con garanzie pubbliche alle banche, totale finanziamento privato. C'è dunque una transizione dalla pubblica amministrazione come appaltatore a quella di governo centrale capace di stimolare la competizione tra autorità locali. L'innovazione metodologica ed operativa introdotta in queste esperienze ha incoraggiato ed aiutato a sviluppare l'integrazione e la competizione nelle autorità locali. È stato di conseguenza introdotto un nuovo sistema di assegnazione di fondi pubblici, volto a sfavorire i finanziamenti indiscriminati e a premiare il progetto di qualità, l'innovazione e i bisogni della comunità. Altri obiettivi introdotti con i programmi complessi sono stati anche la ricomposizione della programmazione socioeconomica e finanziaria da un lato e la pianificazione degli usi del suolo e la progettazione urbana dall'altro.

L'individuazione delle aree da sottoporre ai programmi complessi ha generato un profondo dibattito. Generalmente, una città propone un'area designandola come idonea per un programma di rigenerazione, ma nel far questo viene considerato un confine di tipo puramente amministrativo, ovvero la linea di confine di uno o più quartieri. Di conseguenza le analisi di tipo socioeconomico eseguite sull'area considerano i dati come se fossero costanti su tutto il quartiere designato. Tuttavia è possibile che solo una parte di un quartiere sia interessato da

fenomeni di degrado sociale, poiché magari al suo interno è presente un mix sociale. In questi casi l'indicatore, spalmato sulla superficie di tutto il quartiere, risulta essere diluito e non cattura il fenomeno in tutta la sua importanza, perché alcune zone incluse nel quartiere verranno sottostimate, mentre altre saranno sovrastimate.

Un'altra situazione che si può presentare è quella in cui le aree maggiormente degradate appartengono a due porzioni di quartieri adiacenti: in questo caso se la città considererà solo uno dei due quartieri non risolverà in pieno la situazione di degrado, mentre se considererà entrambi i quartieri sprecherà delle risorse perché il degrado non comprende interamente i due quartieri, ma solo una loro porzione. Le tecniche di autocorrelazione spaziale possono offrire un forte supporto nella scelta delle aree che hanno priorità di intervento. Questi metodi permettono di effettuare analisi molto accurate che considerano i dati sociali alla scala del singolo edificio. In questo modo le aree saranno determinate considerando la spazializzazione effettiva dei dati, prescindendo dai limiti amministrativi dei quartieri. Questo approccio è stato testato nelle città di Bari e Taranto. Bari è un dinamico centro di scambi commerciali con importanti attività industriali e alti flussi di immigrazione dall'Albania e il Nord Africa.

Taranto è stato uno dei centri principali della Magna Grecia ed è un importante porto commerciale, secondo in Italia per traffico merci.

Verso la metà del XIX secolo, in Gran Bretagna già si registrava il fenomeno migratorio dalle aree rurali verso quelle urbane, oltre il trenta per cento della popolazione viveva in città con le masse operaie concentrate intorno alle fabbriche. In Italia questo fenomeno si è verificato circa 50 anni dopo con una dimensione più piccola. Rispetto ad altri paesi europei, la "rivoluzione industriale" italiana può essere considerata l'età Giolittiana, agli inizi del secolo scorso, caratterizzata da una transizione da un'economia agricola ad una industriale. Questo fenomeno ha prodotto una crescita urbana solo nelle grandi città, concentrate principalmente nella parte settentrionale del Paese. La maggior parte del fenomeno migratorio dalle zone rurali verso le aree urbane si è verificato dopo la seconda guerra mondiale, un periodo caratterizzato anche da un alto tasso di natalità. Questa crescita repentina insieme ad una non eccezionale qualità dei piani ha causato una significativa mancanza di standard, non tanto da un punto di vista quantitativo, ma in termini di qualità urbana. Le tecniche illustrate nella sezione precedente sono state testate, nella scelta delle zone con alta priorità di intervento di rigenerazione urbana, nelle aree di Bari e Taranto perché presentano contesti sociali molto

diversi. La posizione, vicina al “tallone” d’Italia, che storicamente ha promosso le tradizioni commerciali, oggi caratterizza quest’area anche per forti i flussi migratori. Bari è una delle aree del sud Italia più sviluppate nel settore industriale e del terziario. Essa conta la presenza di 325.052 abitanti distribuiti su più di 116,20kmq. Taranto ha 187723 abitanti distribuiti su 209,64 km² ed è il secondo porto commerciale italiano per traffico merci, prevalentemente connesso con l’Asia. Al tempo stesso Taranto ha importanti industrie nei settori dell’acciaio e delle raffinerie di petrolio. Queste attività hanno prodotto molti problemi di salute e ambientali. Taranto è una delle città più inquinate d’Italia a causa delle emissioni industriali. La localizzazione di queste attività nel corso degli anni ‘60 ha generato una grande richiesta di alloggi, prevalentemente soddisfatta con la costruzione di quartieri con indici di fabbricabilità molto elevati. Tale crescita disordinata realizzata senza uno strumento urbanistico che la regolamentasse, ha prodotto una urbanizzazione di aree in gran parte sconnesse e senza soluzione di continuità. Al fine di ottenere risultati più attendibili, nel caso di studio sono stati contestualmente analizzati anche i comuni che circondano la città di Taranto. Sono stati costruiti degli indicatori associati a ciascun edificio, rappresentati come punti per consentire l’applicazione delle tecniche di autocorrelazione spaziale. Sono stati utilizzati i seguenti come parametri di intensità:

- Indice di dipendenza (ID). Esso è considerato come indicatore di significatività socioeconomica ed è pari a:

$$ID = \frac{Pop_{\leq 14} + Pop_{\geq 65}}{15 \leq Pop_{\leq 64}} * 100 \quad (4)$$

Il numeratore è dato dal numero di persone che, a causa dell’età, non possono essere considerate economicamente indipendenti, ovvero le persone al di sotto dei 15 anni e al di sopra dei 64. Il denominatore invece è dato dal numero di persone considerate attive, o potenzialmente tali, in base all’età, compresa tra i 15 e i 64 anni.

- Popolazione straniera per 100 residenti. Di solito la presenza di stranieri è considerata come un elemento di attrattività, ma nel sud Italia, in cui il tasso di lavoro in nero è del 22.8%, mentre quello di disoccupazione è del 20%, i fenomeni di immigrazione possono essere considerati una minaccia e non un’opportunità.
- Tasso di disoccupazione espresso da:

$$D = \frac{N^{\circ} \text{disoccupati}}{15 \leq \text{Pop} \leq 64} * 100 \quad (5)$$

- Numero di persone alla ricerca del primo lavoro.
- Tasso di analfabetismo.
- Indice di affollamento.

Tutti questi indicatori sono stati in seguito normalizzati secondo l'equazione seguente:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} * 100 \quad (6)$$

in cui X è il valore dell'indicatore da normalizzare, μ è il valore medio dell'indicatore e σ è la deviazione standard.

La densità Kernel è stato calcolata per ogni attributo e tutte le grid di output, ottenute per ciascun indicatore, sono state sommate al fine di ottenere una grid di sintesi (figura 11).

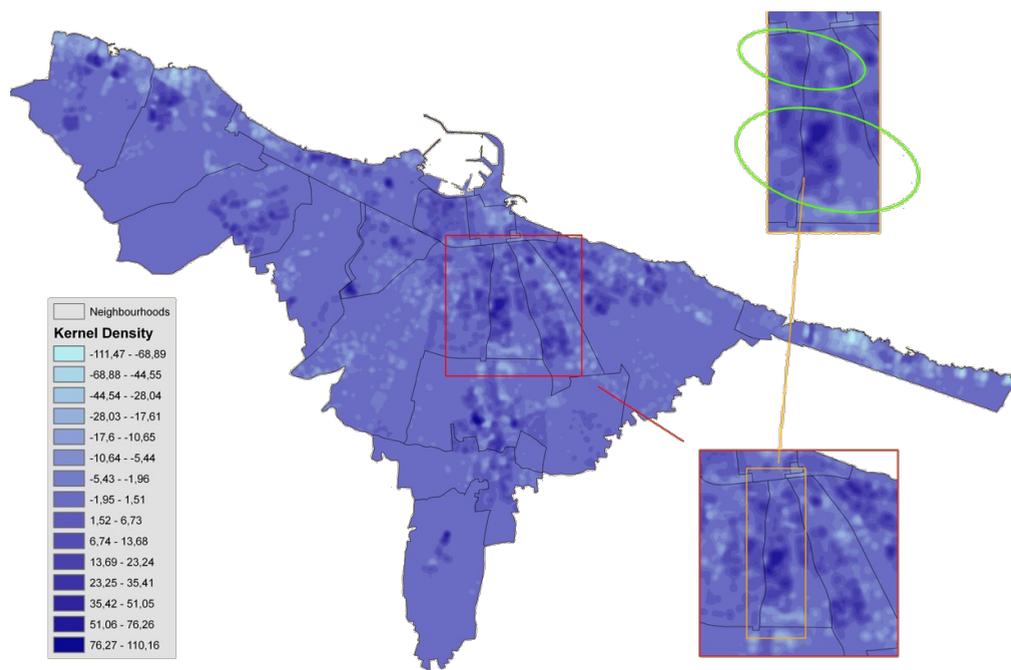


Fig. 11 – Densità Kernel di sintesi degli indicatori sociali e confronto con i perimetri amministrativi del comune di Bari.

Un fattore chiave di stima della densità di kernel è la dimensione della larghezza di banda. Per determinare una banda adeguata è stata applicata la nearest neighbour distance. In questo caso, la dimensione della larghezza di banda è di 128 metri, mentre la dimensione della cella del raster è di 10 metri. Ci sono diversi tipi di funzioni di kernel K, in questo caso è stata applicata la distribuzione di Epanechnikov.

La figura 11 evidenzia due importanti questioni. I valori più alti del grid finale (aree più scure) rappresentano la concentrazione nello stesso luogo di diversi indicatori sociali negativi. Come ipotizzato nell'introduzione, questo tipo di misure possono servire per indicare i confini delle aree realmente degradate con un livello di dettaglio migliore rispetto ai confini dei quartieri. I due dettagli nella parte destra della figura 11 mostrano come le aree con alti valori sono localizzate su entrambe le parti di due quartieri adiacenti e le zone che necessitano interventi più urgenti si trovano proprio a cavallo del confine, come mostra la zona evidenziata con l'ovale giallo.

Gli stessi indicatori sono stati inoltre analizzati con gli indici di Moran e di Getis e Ord.

L'indice di Moran è una misura globale di autocorrelazione spaziale che analizza in una regione di studio, se e quanto gli eventi sono spazialmente correlati, senza evidenziare dove sono localizzati i cluster. Considerando che gli attributi sono collegati agli edifici, le aree rurali possono produrre una sorta di effetto di mitigazione.

Tab. 4. Valore dell'indice di Moran ottenuto con la corrispondente distance band usata per ciascun indicatore.

Indicatore	Indice di Moran I (Bari)	Distanza fissa di banda (Bari)	Indice di Moran I (Taranto)	Distanza fissa di banda (Taranto)
Indice di dipendenza	0,17	40	0,39	40
Tasso di disoccupazione	0,28	30	0,39	50
Popolazione straniera per 100 residenti	0,12	20	0,57	40
Tasso di analfabetismo	0,71	20	0,51	40
Indice di affollamento	0,04	50	0,29	60

Inoltre, indice di Moran può essere considerato come una misura che, evidenziando la concentrazione dei principali problemi, può determinare le priorità nella definizione di programmi e politiche di supporto.

La tabella 4 mostra quali sono gli indicatori che presentano il maggior grado di autocorrelazione, con un indice di Moran molto elevato. Questo accade per il livello di istruzione della popolazione, da cui si deduce che questa dovrebbe essere una delle priorità, attraverso, ad esempio, la previsione di un rafforzamento della rete scolastica.

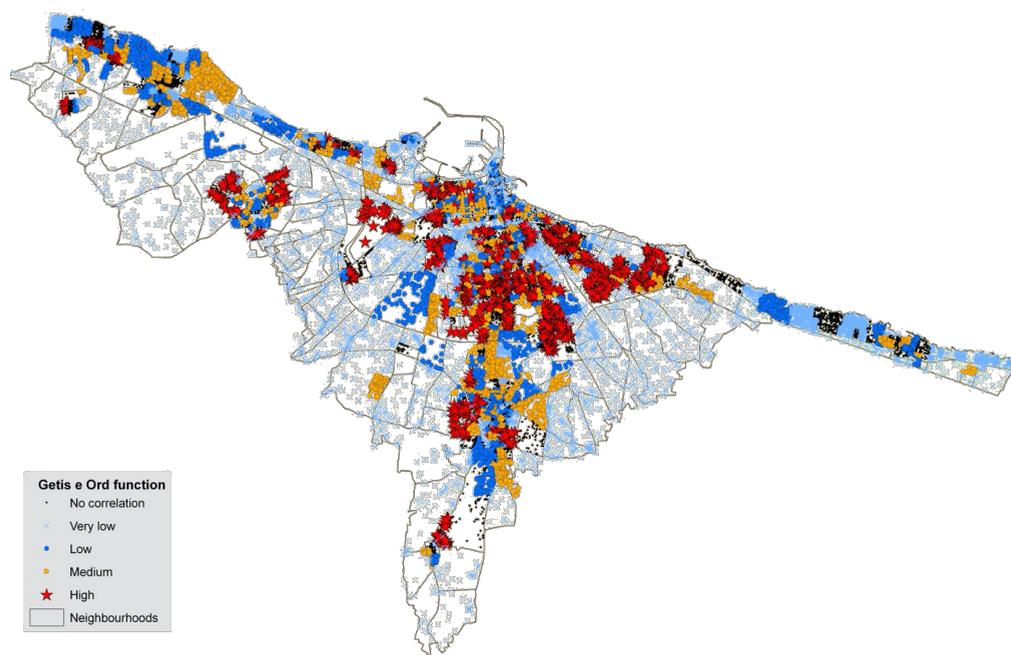


Fig. 12 – Autocorrelazione spaziale del tasso di analfabetismo per il comune di Bari.

Conoscere quali sono le zone in cui la carenza scolastica è più elevata è impossibile solo con l'uso di Moran, in quanto, come anticipato in precedenza esso fornisce solo una stima globale del fenomeno. Allo scopo, invece, di determinare l'esatta localizzazione delle zone più problematiche occorre effettuare ulteriori analisi tramite tecniche di autocorrelazione locale. In particolare è stato usato l'indice di Getis e Ord (figure 12 e 13).

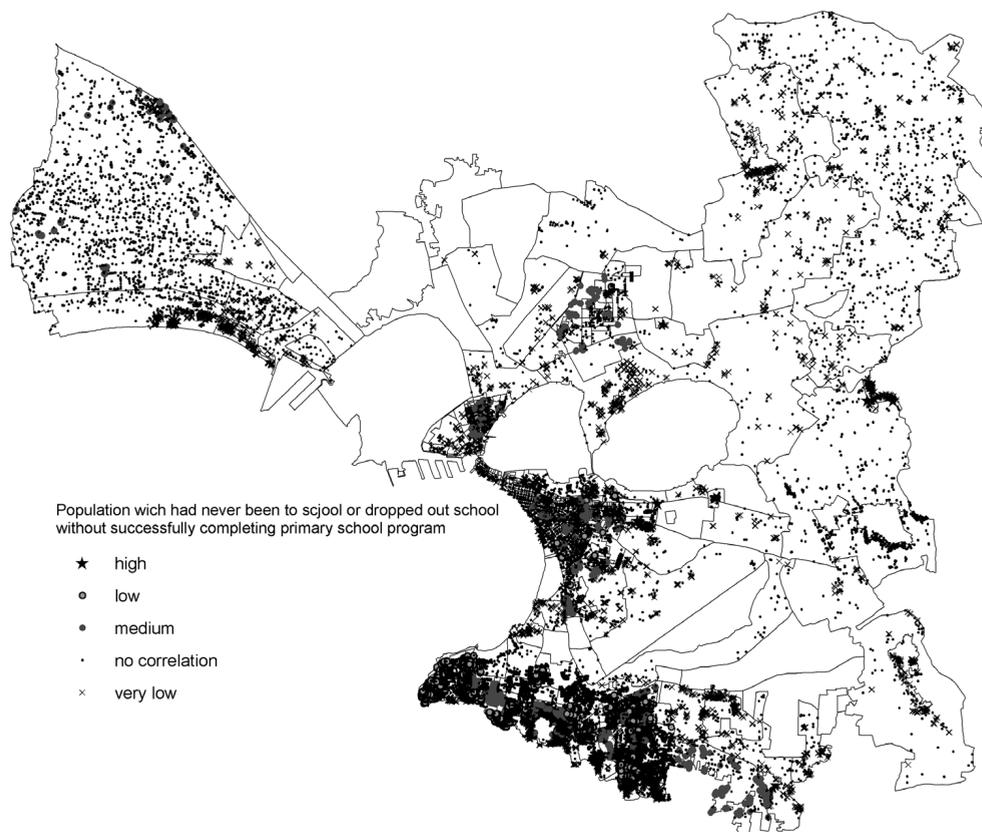


Fig. 13 – Autocorrelazione spaziale del tasso di analfabetismo per il comune di Taranto.

Le figure 12 e 12 mostrano dov'è localizzata la maggiore concentrazione di persone con più basso livello di istruzione. È importante notare che i risultati ottenuti con l'indice di Getis e Ord si prestano ad una ulteriore classificazione dalla quale è possibile estrapolare una classe con un medio livello di autocorrelazione di persone con un buon livello di istruzione che si trovano localizzate proprio in corrispondenza delle aree caratterizzate dallo sprawl.

É inoltre possibile effettuare ulteriori interpretazioni considerando due o più variabili e le loro rispettive clusterizzazioni contemporaneamente. Ad esempio le aree caratterizzate dagli stranieri e dai disoccupati, come mostrano le figure 14 e 15, non sono né legate al fenomeno dello sprawl urbano, né si sovrappongono tra loro, di conseguenza risulta evidente la mancanza di correlazione tra il fenomeno dell'immigrazione e quello della disoccupazione.

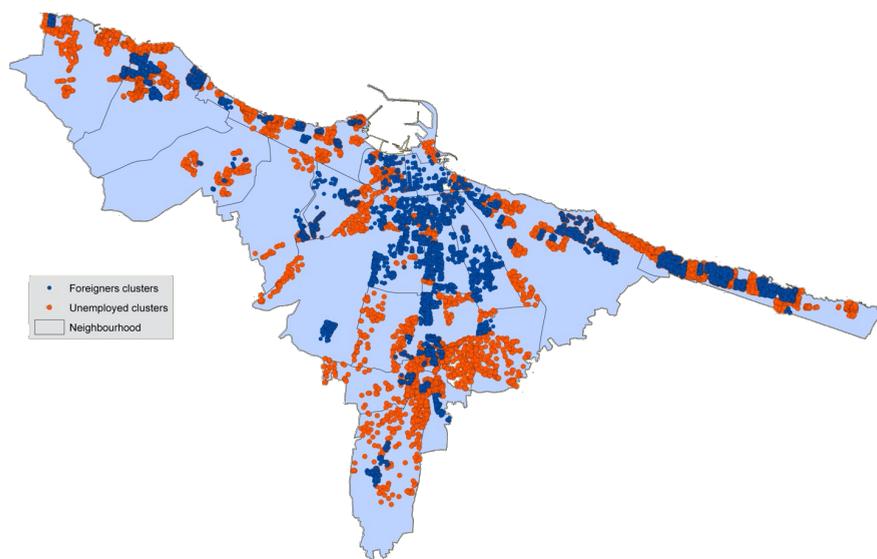


Fig. 14 – Confronto di valori medi ed elevati di autocorrelazione spaziale del tasso di disoccupazione e di popolazione straniera per 100 residenti per il comune di Bari.

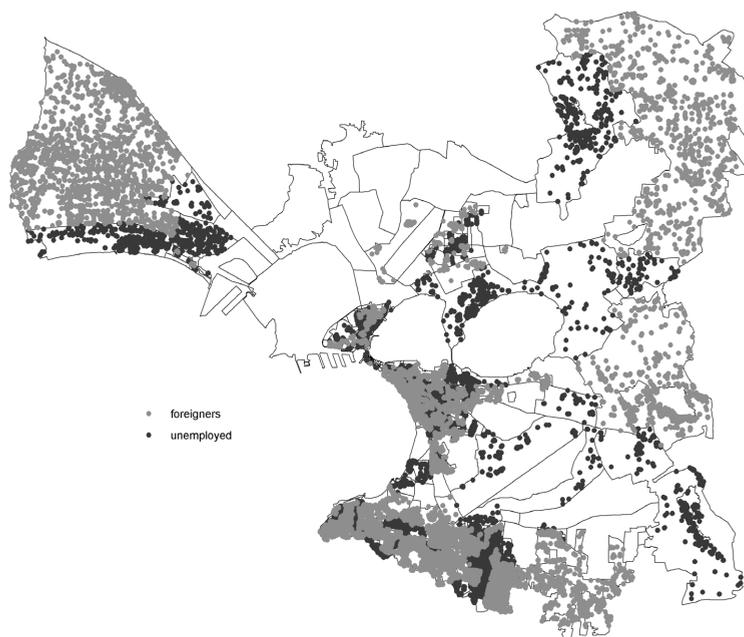


Fig. 15 – Confronto di valori medi ed elevati di autocorrelazione spaziale del tasso di disoccupazione e di popolazione straniera per 100 residenti per il comune di Taranto.

Del resto è evidente che se gli immigrati perdono lavoro si spostano verso località dove è più facile avere possibilità di occupazione.

L'esperienza qui sperimentata è basata sui dati derivanti dal censimento a livello urbano e l'assenza di dati più specifici limita il numero di analisi eseguibili. Allo scopo di sviluppare considerazioni più interessanti sarebbe opportuno per integrare questi indicatori durante la fase preliminare dei programmi complessi.

4. Individuazione di aree periurbane del sistema insediativo della provincia di Potenza mediante tecniche di autocorrelazione spaziale

Sempre più di frequente capita di trovare in riferimenti legislativi o in documenti di pianificazione il termine area periurbana. Questa espressione, per quanto molto utilizzata, non corrisponde ancora ad una definizione chiara ed univoca che fornisca precise indicazioni e descrizioni mirate alla perimetrazione di tali zone.

Le principali ragioni di questa manchevolezza possono essere individuate nella complessità del fenomeno da analizzare e nella molteplicità di contesti territoriali in cui esso si manifesta. Il termine periurbano evoca, infatti, diversi significati a seconda dei vari approcci disciplinari al problema. Per gli economisti le aree periurbane rappresentano un'espansione urbana disorganizzata che comporta un enorme aggravio di costi nella gestione dei servizi e nella manutenzione delle infrastrutture. Per gli ecologisti, invece, si tratta delle zone nelle quali le risorse naturali sono già irrimediabilmente compromesse a causa della grossa concentrazione di attività economiche che provocano un massiccio degrado ambientale (depositi di rottami, carrozzerie, autofficine ecc.). Gli agronomi prendono in considerazione la perdita di produttività agricola dovuta alla sempre maggiore presenza di abitazioni. Una parte degli urbanisti cerca di collocare il fenomeno da un punto di vista teorico rispetto ai concetti consolidati di città e di area rurale, mentre un'altra parte considera l'incremento del valore economico di queste aree dovuto ad un'aspettativa edificatoria.

Trattandosi di un fenomeno alquanto complesso da analizzare, il pianificatore si aspetterebbe di trovare forti indicazioni sugli aspetti procedurali e sul modo di operare per la perimetrazione di tali aree nelle leggi urbanistiche regionali. I riferimenti legislativi locali, se

da un lato affrontano correttamente il problema dando delle definizioni differenti a seconda dei diversi contesti territoriali, rispettando le peculiarità locali, dall'altro finiscono per peccare di superficialità nell'analisi del fenomeno non fornendo indicazioni precise.

La legge urbanistica della Regione Toscana dà una definizione molto precisa dell'ambito urbano, facendo riferimento sia alla Legge Ponte che al Nuovo Codice della Strada, si tratta, ovviamente, solo di un aspetto propedeutico alla definizione di periurbano, ma il fenomeno nel suo complesso non viene analizzato.

La Regione Emilia Romagna prende in considerazione gli ambiti urbani, classificandoli in consolidati e destinati a nuovi insediamenti, e gli ambiti rurali che comprendono il territorio aperto e le aree agricole periurbane. La legge regionale localizza queste ultime zone nelle parti del territorio limitrofe ai centri urbani o in quelle intercluse tra più aree urbanizzate con un'elevata contiguità insediativa. Nelle aree agricole periurbane va perseguito prioritariamente il mantenimento della conduzione agricola

La Regione Basilicata e la Regione Calabria collocano il sistema insediativo all'interno delle carte regionali dei suoli, che dovrebbero rappresentare in scala 1:10000, gli usi del suolo attuali e quelli tendenziali, attraverso l'identificazione di tre distinti sistemi territoriali: il sistema ambientale, il sistema insediativo e il sistema relazionale. Secondo quanto prescritto dalle leggi della Calabria e della Basilicata il sistema insediativo è classificato in aree urbane, extraurbane e periurbane. Quest'ultimo ambito è definito attraverso due elementi distintivi, le aree edificate senza un'organizzazione formale e le aree rurali abbandonate contigue agli ambiti urbani.

La contiguità delle aree periurbane a quelle urbane rappresenta un denominatore comune di molte leggi regionali, ma per quanto si tratti di un fattore importante, è abbastanza evidente che da solo non basta a definire un fenomeno molto complesso.

Per giungere ad una definizione precisa dell'area periurbana è importante passare da un approccio che la vede come un ambito dal limite incerto collocato tra le aree urbane e rurali, definite con certezza, ad un altro che la considera come un'area identificabile organicamente attraverso proprie regole, alla stregua di quelle urbane e rurali.

Per perseguire la seconda strada è importante definire, oltre alla contiguità territoriale, altri criteri includenti. Vanno considerati, quindi, altri fattori come la prossimità alla rete viaria, la presenza di servizi e di reti tecnologiche e la densità abitativa superiore a quella del territorio aperto. Altrettanto importanti sono i criteri escludenti come la presenza di vincoli ambientali o

archeologici, di boschi, frane o elevate pendenze. Grazie all’ausilio di tecniche di analisi spaziale come la *point pattern analysis* è possibile studiare il fenomeno del periurbano in maniera meno vaga. Questo approccio è stato poi testato sul territorio della Provincia di Potenza che ben si presta a questo scopo, avendo una struttura del sistema insediativo alquanto disomogenea.

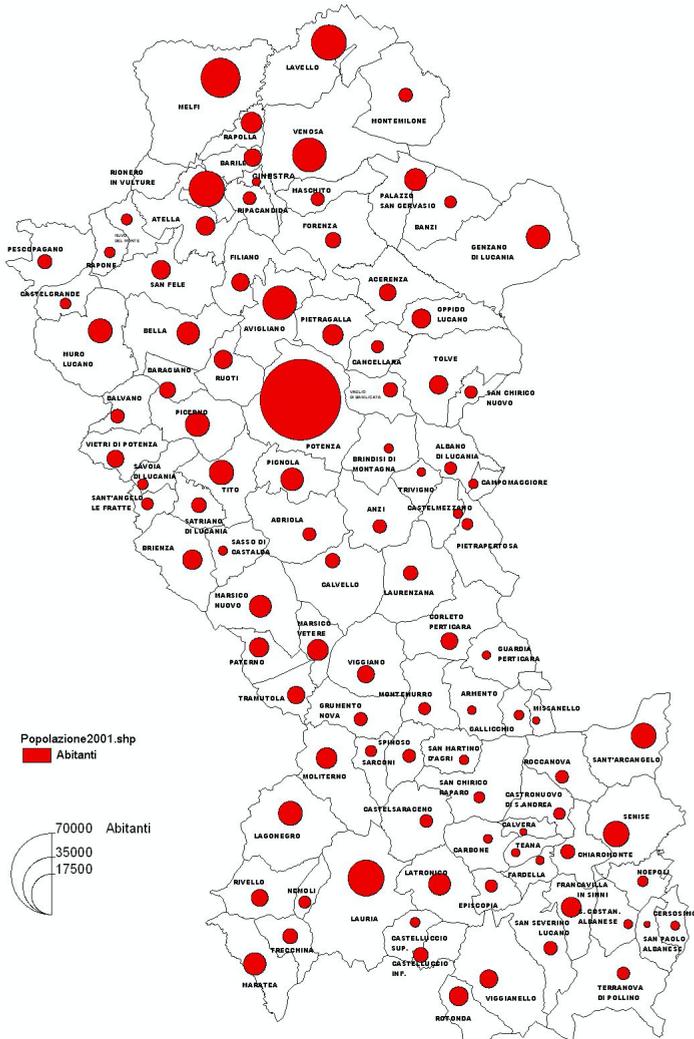


Fig. 16 – Dimensione demografica dei Comuni della provincia di Potenza.

Uno dei fenomeni riscontrati con maggiore frequenza, in quasi tutte le realtà territoriali, è quello della dispersione insediativa, a cui non si sottrae il territorio della Provincia di Potenza.

Si tratta di un'area appenninica a bassa densità insediativa, con una popolazione di circa quattrocentomila abitanti distribuita su una superficie di circa seicentocinquantaquattremila ettari.

Il capoluogo conta settantamila residenti, mentre la consistenza demografica degli altri comuni è così ripartita: dodici comuni hanno una popolazione di circa dodicimila abitanti, venti si aggirano sui cinquemila ed il resto oscilla tra i settecento ed i duemila abitanti (figura 16).

La bassa densità indurrebbe a credere che una elevata qualità urbana sia facilmente perseguibile sull'intero territorio provinciale. Il grave fenomeno della cosiddetta "casa sparsa" e dell'insediamento diffuso, con il conseguente carico di consumo di suolo e di pressione ambientale, anche in questa provincia è un fenomeno da analizzare nella sua complessità.

Occorre considerare separatamente il grave fenomeno del periurbano del capoluogo e quello dei centri minori. Questi ultimi pur manifestando effetti di spopolamento, presentano analoghe caratteristiche di diffusione abitativa, prevalentemente legate all'abbandono di centri storici degradati che attendono risposte efficaci e corrette sulla loro valorizzazione, attraverso un recupero rispettoso delle peculiarità di tale patrimonio.

Per fare delle analisi approfondite su questo fenomeno si è cercato di sfruttare completamente le potenzialità dei sistemi informativi geografici, effettuando un aggiornamento del quadro delle conoscenze su forme, funzioni e piani relativi al sistema insediativo, integrando la cartografia esistente con una restituzione da ortofotocarte del fenomeno della casa sparsa.

Da questa analisi si è potuto riscontrare come il fenomeno dell'insediamento disperso inizia a partire immediatamente al di fuori dei margini delle zone di espansione, per la quasi totalità inattuata, causando un grosso consumo di suolo.

Le cause di questo fenomeno possono attribuirsi ai seguenti fattori:

- i tradizionali processi di pianificazione comunale hanno comportato, in genere, procedure complesse e tempi lunghi, scoraggiando l'attività di pianificazione locale;

- molti comuni dispongono ancora di Programmi di Fabbricazione o di P.R.G. puramente quantitativi e del tutto inadeguati a governare il territorio;
- gli strumenti urbanistici a scala comunale prendono in considerazione solo i centri abitati e le zone di espansione trascurando il resto del territorio comunale.
- Da tutto ciò scaturisce che la maggior parte del territorio provinciale é sottoposto ad una normativa per le zone agricole molto generica, che non tiene conto delle risorse ambientali, naturalistiche ed archeologiche presenti sul territorio. Questa circostanza da una spiegazione del rilevante fenomeno della diffusione insediativa non strettamente legata ad usi produttivi agricoli del territorio;
- la cartografia utilizzata per la redazione e la gestione degli strumenti urbanistici generali è costituita, in molti casi, da rilievi aereofotogrammetrici obsoleti e riferiti al solo centro abitato;
- tutti i piani regolatori hanno uno scarso grado di operatività, rinviando a piani particolareggiati l'attuazione delle previsioni generali. La mancata predisposizione dei piani attuativi, da parte del comune o dei soggetti privati, ha favorito un'urbanizzazione disordinata nelle nuove aree di espansione dei centri urbani ed ha causato un'abnorme crescita dell'edificazione per usi residenziali in ambito periurbano.

Le situazioni particolarmente problematiche possono essere sintetizzate nei seguenti punti:

- una diffusa tendenza all'abbandono dei centri storici da parte dei residenti, a favore delle zone di più recente espansione o dell'insediamento sparso rurale. Le cause possono essere individuate nella scarsa accessibilità, nella mancanza di servizi e nell'inadeguatezza tipologico-funzionale degli edifici;
- una notevole carenza ed un diffuso degrado delle urbanizzazioni primarie a servizio degli insediamenti di più recente realizzazione;
- una scarsa qualità degli insediamenti di più recente formazione, anche se interessati da strumenti di pianificazione di dettaglio, che spesso genera un'alterazione dell'immagine percettiva dei centri storici e delle aree ai margini degli stessi;
- un forte impatto ambientale degli insediamenti destinati ad attività produttive. E' riscontrabile, inoltre, una tendenza a localizzare edifici ad uso artigianale ed industriale anche in territorio aperto, al di fuori delle aree specificamente destinate a tali usi;

- un abbandono di territori destinati ad usi produttivi agricoli, con conseguente degrado di strutture edilizie ed infrastrutture viarie;
- una significativa tendenza al consolidamento dei nuclei rurali e dell'edificato sparso con necessità di adeguamento e modifica delle destinazioni d'uso del patrimonio edilizio esistente.

L'onerosa attività di restituzione cartografica ha permesso di valutare l'entità e gli effetti di tale diffuso fenomeno sull'ambiente. Si è proceduto all'indicazione puntuale di tutti gli edifici della provincia, al fine di pervenire alla definizione degli "areali della casa sparsa" mediante la densità di *kernel*.

Il tema puntuale degli edifici è stato confrontato con le sezioni censuarie. Nelle aree urbane ogni sezione di censimento coincide con un edificio, mentre per le aree agricole si ha una sezione per ogni nucleo rurale, mentre un'altra sezione contiene gli edifici sparsi al di fuori dei nuclei. Considerando omogenea la tipologia edilizia all'interno di ogni sezione di censimento è stato possibile associare ad ogni edificio il numero di abitazioni in esso contenuto. Questo attributo del tema puntuale è stato utilizzato come una sorta di peso nella funzione di *kernel*, in modo da comprendere l'incidenza del numero di abitazioni in una determinata area.

E' fondamentale assegnare alla funzione di *kernel* i valori che riescono meglio a restituire il fenomeno. Se si considera, infatti, una larghezza di banda molto elevata si ha una tendenza a smorzare le differenze locali dei fenomeni mentre un valore piccolo evidenzerebbe i picchi delle distribuzioni. Nel caso in esame è stato utilizzato un valore della larghezza di banda di 400 metri con una dimensione della cella della griglia di 10 metri.

Molto importante è risultato il confronto dell'edificato disperso alle date del 1997 e del 1987, questa comparazione è stata possibile confrontando il dato puntuale degli edifici con le ortofocarte dell'AIMA del 1997 e con le ortofoto prodotte dalla regione Basilicata nel 1987, eliminando gli edifici non presenti a quella data (figura 17).

Questo confronto ha consentito di individuare con precisione le zone dove il fenomeno della dispersione dell'edificato ha avuto il maggiore incremento. Una volta localizzate le aree dove il fenomeno è più presente è importante cercare di comprendere i fattori che potrebbero favorirlo.

La sovrapposizione del tematismo della densità di casa sparsa al 1997 con i nuclei storici è servito a dimostrare che il grave fenomeno dell'insediamento diffuso va studiato scorporando il dato degli insediamenti rurali storici, del sistema delle masserie e delle frazioni. I grossi incrementi di densità di casa sparsa sono molto distanti dai nuclei storici.

Un fattore sorprendente deriva dalla relazione tra l'edilizia dispersa e le aree in dissesto ed in elevata pendenza. Le abitazioni rurali sono state, infatti, realizzate indiscriminatamente nelle zone in frana e nelle aree acclivi.

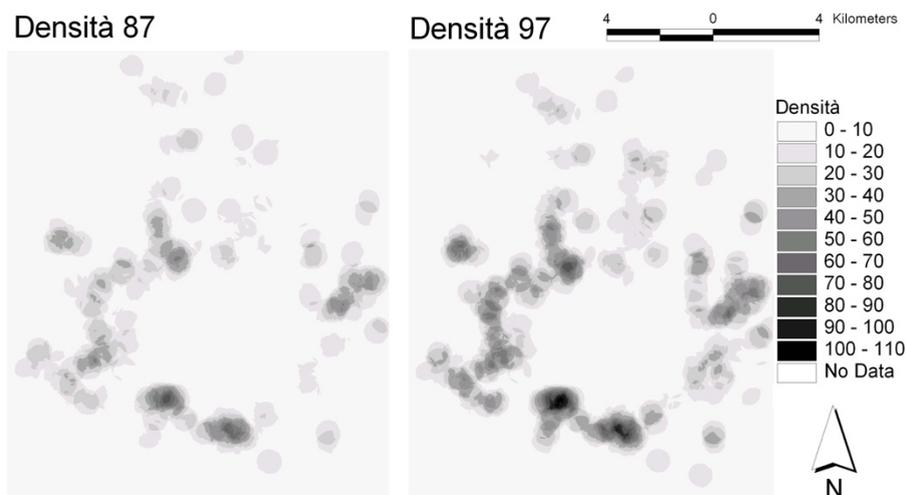


Fig. 17 – Confronto tra la densità di casa sparsa al 1987 e al 1997.

Dal risultato della densità abitativa (figura 18), calcolata con la funzione di *kernel*, è possibile dare ulteriori interpretazioni del fenomeno della dispersione insediativa, sintetizzabili nelle seguenti situazioni:

- insediamento disperso a corona dell'area urbana, all'interno di una situazione identificabile come periurbano in relazione ad evidenti aspettative alla trasformazione urbana dei suoli;
- insediamento disperso lungo le principali direttrici di connessione tra il comune capoluogo ed i centri limitrofi e tra l'area urbana ed i principali nuclei rurali.

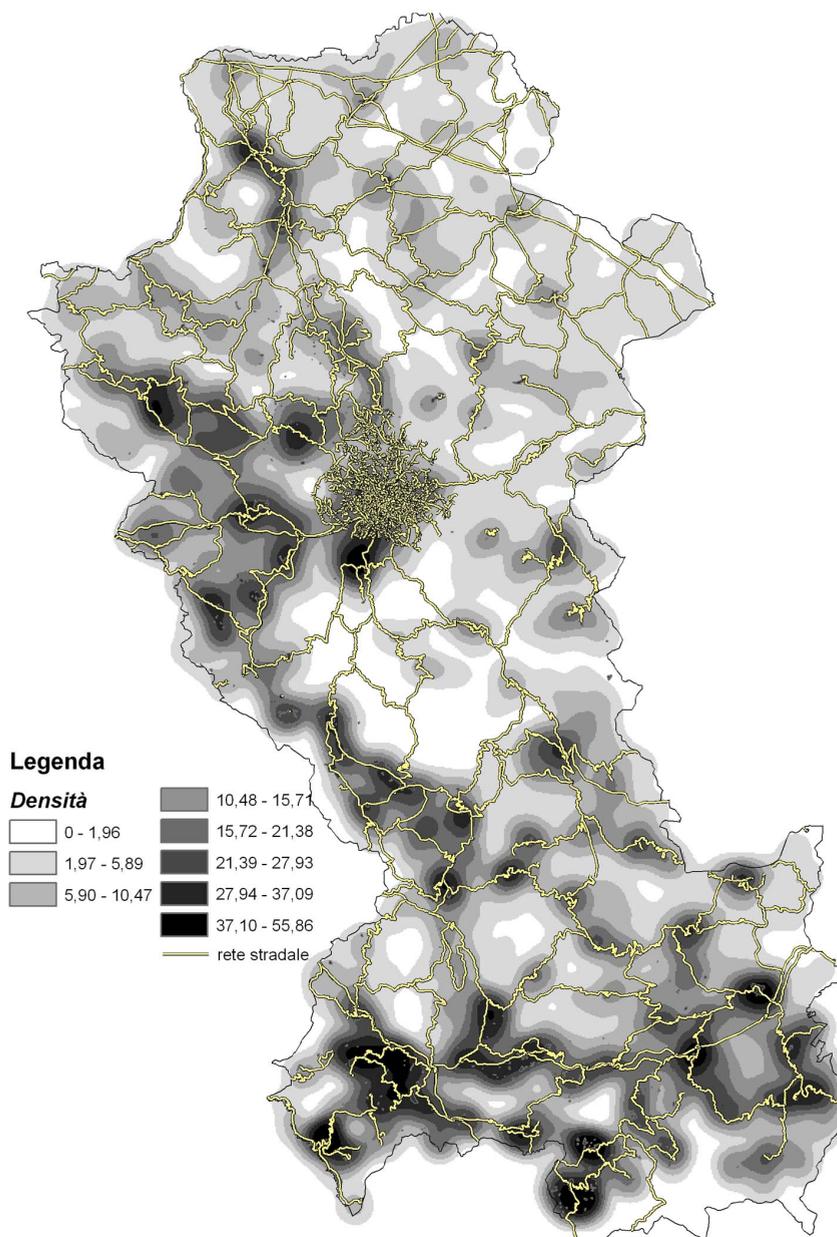


Fig. 18 – Densità della casa sparsa confrontata con la viabilità provinciale.

Osservando la figura precedente salta subito all'occhio che il maggiore incremento della dispersione insediativa è riscontrabile nella zona nord occidentale ed in quella a sud.

Si tratta di zone prevalentemente montuose, come il massiccio del Pollino, dove il nuovo edificato è distribuito lungo gli itinerari di fondovalle facilmente accessibili anche grazie alla dotazione di infrastrutture stradali.

Una situazione completamente differente si ha nella zona nord orientale, dove da un punto di vista geografico si è già nel Tavoliere delle Puglie e la dispersione insediativa viene vista come una minaccia per la produzione agricola intensiva.

Nel caso in esame, gli intervalli di densità da considerare sono i seguenti:

- fino ad un'abitazione per ettaro, valore al di sotto del quale è plausibile classificare il territorio come rurale;
- da 1 a 5 abitazioni per ettaro, classe, almeno in prima approssimazione, indicativa dell'ambito periurbano;
- oltre 5 abitazioni per ettaro, valore per il quale è si ha una forte prevalenza del carattere urbano.

La contiguità all'ambito urbano diventa un elemento vincolante nell'individuazione del periurbano nel caso in cui si vogliono seguire rigorosamente le indicazioni della legge urbanistica regionale della Basilicata. La profondità della fascia di contiguità, per ogni centro, è stata individuata sulla base dello studio dell'indice di forma del centro abitato.

Il perimetro delle località definite dall'ISTAT come centro abitato, è stato considerato il limite oltre il quale potrebbero collocarsi aree adatte alla nuova espansione urbana. Proprio a partire da questo si è calcolata la fascia di contiguità.

L'indice di forma è dato dal rapporto tra il perimetro reale del centro urbano ed il perimetro del cerchio che lo inscrive. È evidente che tale indice può assumere valori maggiori dell'unità, più il valore si discosta da uno più la forma dell'insediamento risulterà frastagliata ed allungata.

Il calcolo dell'indice di forma per i centri della provincia di Potenza testimonia uno scarso grado di compattezza delle aree urbane, la dispersione insediativa assume una forma allungata lungo le direttrici principali ed il motivo di ciò non è imputabile ai fattori morfologici e funzionali del territorio.

E' stato individuato un buon grado di compattezza per un indice di forma compreso tra 1 ed 1.6, un livello medio per valori contenuti nell'intervallo tra 1.61 e 2.4, scarso grado di compattezza se si supera la soglia di 2.4. Nella tabella seguente vengono suddivisi i cento comuni della provincia in base al grado di compattezza.

Tab. 5. Suddivisione dei centri in base al grado di compattezza.

	Valori dell'indice	N° centri abitati
Buona compattezza	1-1,6	12
Media compattezza	1,61-2,4	68
Scarsa compattezza	2,41-4,81	20

Per quanto concerne la contiguità sono state considerate due fasce. La prima considera il rapporto fra l'area ed il perimetro del centro urbano, la seconda prende in considerazione il rapporto fra l'area del centro urbano e il perimetro del cerchio che lo inscrive. Come si nota nella figura 19, il rapporto area/perimetro dipende dalle forme e dalle dimensioni.

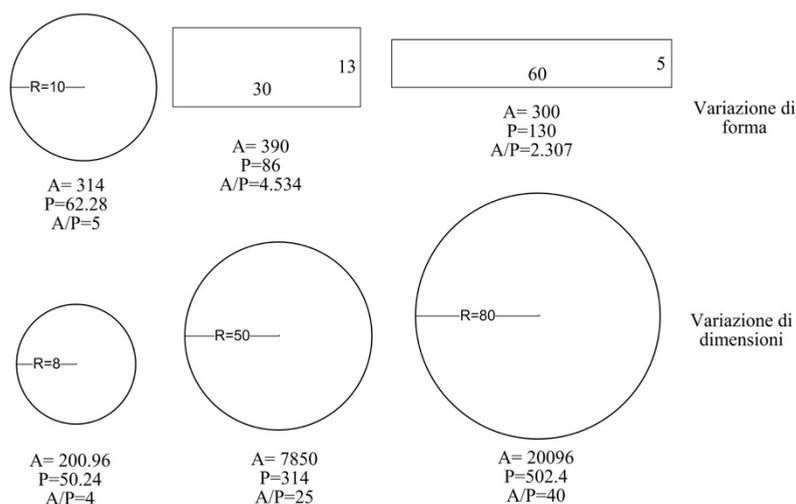


Fig. 19 – Variazione del rapporto area/perimetro.

La prossimità alla viabilità (rete Atlas) è stata determinata con una *straight line distance* in modo da assegnare ad ogni cella un valore di distanza.

Dopo aver verificato il fenomeno della dispersione insediativa in diversi centri di taglia differente, si è desunto che la distanza oltre la quale la rete viaria non influenza più la nascita di nuove costruzioni abitative è di circa 200 m; proprio tale fascia è stata considerata tra le regole includenti.

Tra le regole escludenti si sono considerate: la fascia compresa nei 150 m di ogni corso iscritto nel registro delle acque; le pendenze superiori al 35%; le zone a rischio R3 ed R4 individuate dal Piano Stralcio dell’ Autorità di Bacino e le zone SIC e ZPS del progetto Bioitaly.

Utilizzando gli operatori booleani e quelli aritmetici tipici di Map Algebra si sono combinate le *grid* degli strati informativi, da cui si sono ricavate tre aree periurbane:

- il primo perimetro è stato ricavato considerando tutti gli elementi citati nelle regole includenti/escludenti e la contiguità desunta dal rapporto tra l’area centro del urbano ed il suo perimetro reale;
- il secondo si differenzia dal primo per aver preso in considerazione la fascia di contiguità individuata come rapporto tra l’area del centro urbano ed il perimetro del cerchio che lo inscrive;
- il terzo non considera vincolante la contiguità.

Come era prevedibile, i risultati raggiunti nei tre casi sono piuttosto differenti.

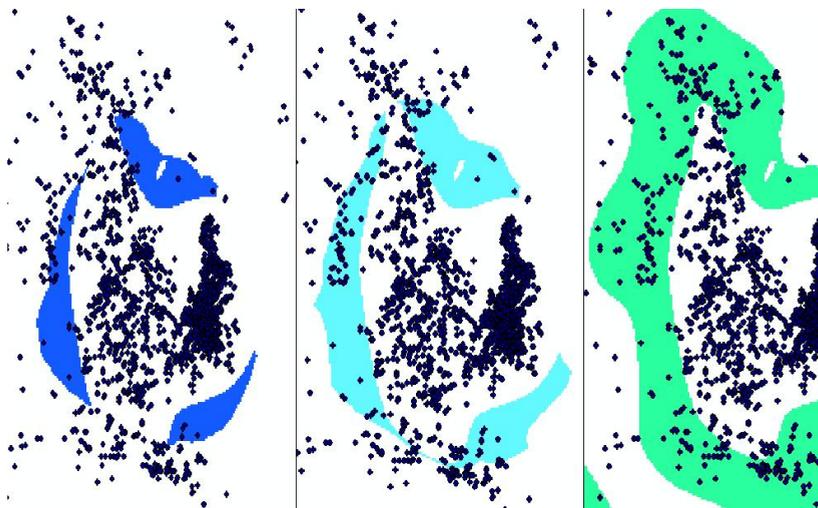


Fig. 20 – Confronto tra i perimetri delle tre aree periurbane per il comune di Pignola (piccole dimensioni).

Quasi sempre, la fascia di territorio più stretta è risultata quella relativa alla prima contiguità e poi, rispettivamente, quella con la seconda e quella che non considera la condizione (figura 20).

Analizzando il caso di Potenza l'andamento si inverte (figura 21). La fascia di periurbano, determinata senza considerare la contiguità, risulta di dimensioni minori rispetto alle altre perché influenzata dai valori di densità compresi tra uno e cinque.

Quindi, la funzione di *kernel* ha rilevato in tali aree una bassa densità di abitazioni. Questo sta a significare che, le aree a ridosso della città sono caratterizzate prevalentemente da costruzioni con massimo 1-2 abitazioni per edificio oppure da edifici non residenziali.

Una conferma di quanto detto è la relazione fra le due contiguità che è rimasta stabile; la prima fascia di contiguità ha generato nuovamente un perimetro più piccolo della seconda.

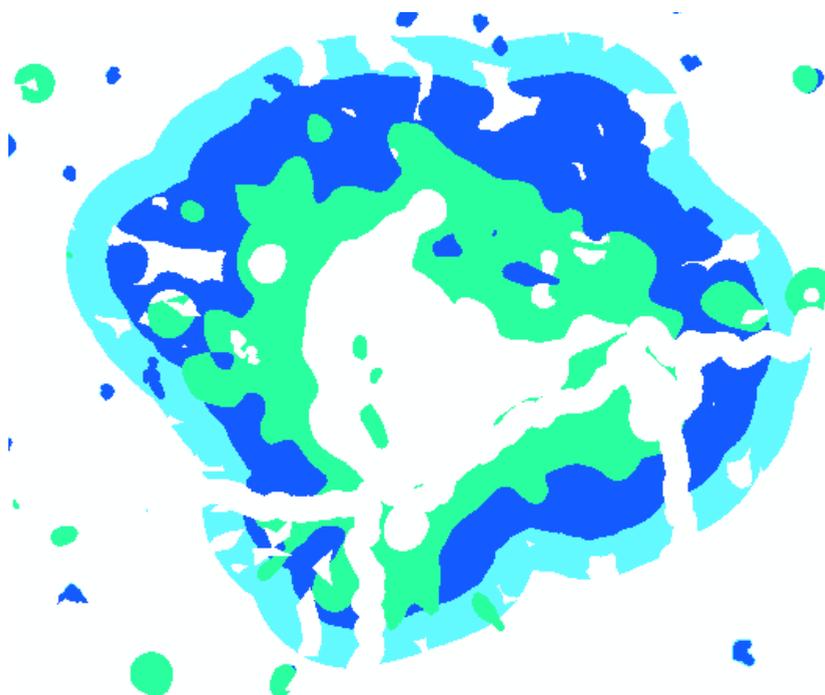


Fig. 21 – Confronto tra i perimetri delle tre aree periurbane per il comune di Potenza (l'area interna non considera la contiguità, la zona interclusa adotta la prima contiguità la parte esterna usa la seconda contiguità).

La maggior parte dei casi, comunque, mantiene la regola “1° contiguità-2° contiguità-senza contiguità”(Figura 22).

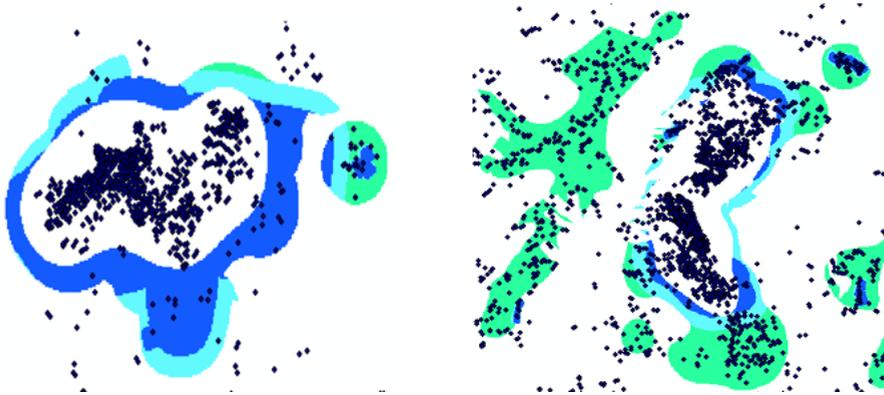


Fig. 22 – Confronto tra i perimetri delle tre aree periurbane per i comuni di Avigliano e Lauria (medie dimensioni).

Il perimetro più attendibile è, in tutti i casi, quello determinato senza contiguità ed individua le aree in cui è probabile che ci sia un’aspettativa alla trasformazione urbana.

Conclusioni

L'epidemia di colera a Londra del 1854 è una delle più famose e importanti nella storia della sanità pubblica, e John Snow [34] è una figura centrale nell'indagine e nella gestione di quell'epidemia.

Nel 1854, il colera colpì duramente il quartiere di Soho a Londra, causando un'elevata mortalità e diffondendo il panico tra la popolazione. In quel periodo, la teoria dominante sosteneva che il colera fosse trasmesso attraverso l'aria contaminata o il miasma.

Tuttavia, John Snow, un medico e pioniere dell'epidemiologia, aveva una diversa ipotesi: riteneva che il colera fosse trasmesso attraverso l'acqua contaminata. Per indagare su questa teoria, Snow condusse un'attenta indagine e raccolse dati dettagliati sull'epidemia.

Durante la sua indagine, Snow notò che vi era una concentrazione di casi di colera intorno alla pompa dell'acqua di Broad Street (ora Broadwick Street). Ciò lo portò a sospettare che l'acqua proveniente da quella pompa potesse essere la fonte di contagio.

Attraverso interviste e osservazioni sul campo, Snow raccolse prove che indicavano che le persone che bevevano acqua dalla pompa di Broad Street erano più inclini a contrarre il colera. Inoltre, notò che i lavoratori di un'azienda di birra nelle vicinanze, che consumavano birra invece di acqua, erano meno colpiti dall'epidemia.

Sulla base di queste osservazioni, Snow avanzò l'ipotesi che l'acqua della pompa di Broad Street fosse contaminata da acque nere provenienti da un pozzo di drenaggio nelle vicinanze.

Per fermare la diffusione dell'epidemia, Snow convinse le autorità locali a rimuovere la maniglia della pompa, rendendo impossibile l'uso dell'acqua contaminata. Questa azione ebbe un effetto significativo nel contenimento dell'epidemia.

L'indagine di John Snow e le sue scoperte furono rivoluzionarie per l'epidemiologia e la sanità pubblica. Dimostrarono per la prima volta in modo convincente che il colera era

trasmissibile attraverso l'acqua contaminata e non attraverso il miasma, smentendo la teoria prevalente dell'epoca.

Le sue ricerche e la sua determinazione nell'affrontare l'epidemia di colera a Londra del 1854 hanno avuto un impatto duraturo sulla sanità pubblica. I suoi contributi sono riconosciuti come fondamentali per l'avanzamento delle conoscenze sull'epidemiologia e per l'adozione di misure di prevenzione e controllo delle malattie trasmesse dall'acqua.

Oggi, l'epidemia di colera del 1854 e il lavoro di John Snow sono considerati pietre miliari nella storia della sanità pubblica e hanno contribuito a gettare le basi per le moderne pratiche di controllo delle malattie infettive.

Questa esperienza rappresenta un primo esempio di clusterizzazione spaziale, anche senza l'uso delle tecnologie.

Un altro esempio pionieristico di applicazioni di analisi spaziale alla pianificazione del territorio è quello di Ian McHarg.

Ian McHarg è stato un influente paesaggista scozzese-americano. È noto per la sua visione ecologica nell'ambito del progetto e della pianificazione del paesaggio, nonché per il suo libro fondamentale intitolato "Design with Nature", pubblicato nel 1969.

Nel suo libro, McHarg [35] ha sostenuto l'importanza di considerare attentamente i processi naturali e l'ecologia del luogo durante la progettazione del paesaggio. Ha promosso l'idea che la pianificazione e il design dovrebbero essere guidati dai principi fondamentali della sostenibilità ambientale e dell'armonia con la natura.

Secondo McHarg, il progetto del paesaggio dovrebbe essere basato su una rigorosa analisi dei sistemi naturali e culturali presenti in un'area specifica. Questa analisi comprende la valutazione dell'orografia, dei sistemi idrologici, della vegetazione, della fauna e delle interazioni umane con il territorio. McHarg ha introdotto l'uso pionieristico dei GIS (Geographic Information Systems) come strumento per integrare dati ambientali e spaziali nell'analisi e nel processo decisionale.

Un elemento chiave dell'approccio di McHarg è l'idea di "zoning ecologico". Egli suggeriva di suddividere il territorio in diverse zone in base alle sue caratteristiche ecologiche e di pianificare l'uso del suolo in modo da minimizzare gli impatti negativi sull'ambiente e massimizzare i benefici ecologici. Questo concetto si basa sull'idea che ogni area abbia una capacità ecologica unica e che la pianificazione dovrebbe rispettarla.

McHarg ha sostenuto l'importanza della partecipazione pubblica e del coinvolgimento delle comunità locali nel processo decisionale, riconoscendo che le decisioni di progettazione e pianificazione devono essere prese tenendo conto delle esigenze e dei valori delle persone che vivono e lavorano in un determinato luogo.

Il suo libro "Design with Nature" ha avuto un impatto significativo sulla pratica della progettazione del paesaggio e sulla pianificazione urbana e regionale. Ha promosso una maggiore consapevolezza ambientale e ha influenzato numerosi professionisti nel campo del design e dell'architettura del paesaggio.

L'approccio di MchHarg alla progettazione con la natura è stato un precursore dei principi dell'architettura del paesaggio sostenibile e ha contribuito a sviluppare una comprensione più profonda dell'interazione tra l'ambiente naturale e l'ambiente costruito. La sua eredità continua a ispirare la progettazione e la pianificazione che mirano a creare ambienti sani, funzionali ed esteticamente piacevoli, in armonia con la natura circostante.

Ian MchHarg ha utilizzato l'analogia della "realtà come torta a strati" per descrivere il concetto di analisi del sito e del progetto basato sull'integrazione di molteplici strati di informazioni. Secondo questa metafora, il territorio è visto come una torta a strati, con ogni strato che rappresenta un aspetto diverso dell'ambiente naturale e costruito.

I diversi strati includono elementi come le caratteristiche morfologiche del territorio, il clima, l'idrologia, la vegetazione, la fauna, l'uso del suolo, la storia culturale e altri fattori che influenzano il carattere e le potenzialità di un luogo. L'obiettivo dell'analisi a strati è quello di comprendere come questi diversi aspetti interagiscano tra loro e con il contesto sociale per guidare il processo di progettazione e pianificazione.

Ogni strato di informazioni viene sovrapposto agli altri per creare una visione completa e integrata del territorio. Questo approccio consente di identificare le connessioni e le relazioni tra gli elementi del paesaggio, rivelando le opportunità e le sfide presenti nell'area di studio.

L'analisi a strati aiuta a prendere decisioni informate e a sviluppare strategie di progettazione che rispettano l'ambiente naturale e soddisfano le esigenze della comunità. Ad esempio, comprendendo le caratteristiche idrologiche del sito, si possono individuare le zone suscettibili di allagamento e pianificare opportune misure di gestione delle acque. Allo stesso modo, l'analisi della vegetazione può rivelare le aree di importanza ecologica e guidare la conservazione e la pianificazione del verde urbano.

L'approccio a strati di McHarg si basa sull'idea che il progetto e la pianificazione del paesaggio debbano essere basati su una comprensione approfondita del contesto e delle interazioni tra gli elementi che lo compongono.

L'integrazione di molteplici strati di informazioni consente di sviluppare soluzioni sostenibili e armoniose che tengono conto delle dinamiche ambientali, sociali ed economiche di un luogo.

L'analogia della "realtà come torta a strati" di Ian McHarg ha contribuito a promuovere un approccio integrato e olistico alla progettazione e alla pianificazione del paesaggio, riconoscendo l'importanza di considerare le interconnessioni tra gli elementi del territorio per creare ambienti più sani, funzionali ed esteticamente piacevoli.

Uno dei padri dell'urbanistica, Patrick Geddes [36–38], ha definito una sequenza importante per la pianificazione: Survey – Analysis – Plan.

È noto per il suo approccio olistico all'urbanistica e alla pianificazione, che incorporava una serie di discipline, tra cui la survey (indagine), l'analisi e il design.

La survey (indagine) era una fase cruciale nel metodo di lavoro di Geddes. Egli riteneva che fosse fondamentale comprendere a fondo il contesto socio-economico e ambientale di una determinata area prima di intraprendere qualsiasi processo di progettazione o pianificazione. La survey coinvolgeva la raccolta di dati sul terreno, attraverso l'osservazione diretta e la raccolta di informazioni demografiche, economiche, culturali e ambientali.

L'analisi era un altro aspetto chiave nel lavoro di Geddes. Una volta raccolti i dati, li analizzava in modo approfondito per identificare le relazioni, i pattern e i problemi presenti nell'area di studio.

Utilizzava diverse tecniche analitiche, inclusa l'autocorrelazione spaziale, per comprendere le dinamiche spaziali e identificare le aree di intervento prioritario.

Il design era l'ultima fase del processo di lavoro di Geddes. Sulla base dei risultati dell'analisi e della comprensione acquisita attraverso la survey, sviluppava progetti e piani di azione per migliorare l'ambiente e la qualità della vita nell'area di studio.

Il suo approccio era incentrato sulla pianificazione organica e sul coinvolgimento della comunità, cercando di sviluppare soluzioni sostenibili che considerassero le esigenze sociali, economiche ed ambientali.

L'approccio di Geddes alla survey, all'analisi e al design è considerato un importante contributo alla teoria e alla pratica dell'urbanistica. Ha sottolineato l'importanza di comprendere il contesto locale in modo approfondito e di coinvolgere la comunità nel processo decisionale. Il suo lavoro ha influenzato molti urbanisti successivi e continua ad essere un riferimento nel campo dell'urbanistica e della pianificazione odierna.

Glaeser [39] ha definito la città come la più grande invenzione dell'umanità, sfruttando i vantaggi di una localizzazione spazialmente concentrata delle attività, la città enfatizza punti di forza della società.

A partire dagli anni 90' la città perde popolazione residente ed acquista popolazione in transito [30, 40], i vantaggi dell'agglomerazione diventano minori degli svantaggi derivanti dalla congestione, dalla povertà e dalla sicurezza, producendo dispersione insediativa.

Oggi dopo circa venti anni questi aspetti rappresentano ancora i problemi principali della città contemporanea, producendo un fenomeno di abbandono della città consolidata generando consumo di suolo.

Se, da un lato, l'espansione urbana rappresenta una sorta di antitesi della città, dall'altra parte il fenomeno non ha privato la città delle principali funzioni urbane [41].

Se l'espansione urbana aumenta lo spazio in cui localizzare le funzioni residenziali, il tessuto urbano consolidato rappresenta il luogo baricentrico e denso in cui le principali le attività sociali ed economiche sono prodotte.

Quindi attività di riqualificazione della città esistente possono senza dubbio essere considerate in ottica allargata di sostenibilità [42-45].

Nonostante gli aspetti riguardanti il recupero della città esistente (energia, consolidamento strutturale, trasporti, sicurezza, ecc.) sono sempre più attuali purtroppo il dibattito è prevalentemente incentrato sui singoli temi, senza cercare interazione con gli altri e perdendo di vista il concetto generale di rigenerazione urbana.

Una delle accuse più frequentemente rivolte ai policy maker è di non comprendere a sufficienza la complessità della città e i bisogni reali delle aree degradate [46]. In parte si è cercato di porvi rimedio nelle politiche di rinnovo urbano e nei programmi adottati più di recente dove c'è stato un cambiamento rispetto alle precedenti esperienze, basate sull'enfatizzazione dell'ambiente costruito, cercando un maggiore coinvolgimento dei cittadini nelle scelte dei programmi [47].

Questo aumento della qualità dei programmi complessi ha però bisogno di essere supportato da analisi capaci di comprendere quali siano le zone che necessitano di interventi più urgenti. Mentre le tecnologie informatiche orientate principalmente alla grafica, alla multimedialità ed alla rappresentazione sono state adottate a sostegno del processo di pianificazione, i metodi quantitativi ed in particolare le tecniche di autocorrelazione spaziale non sono state completamente utilizzate nelle analisi dei sistemi urbani nonostante Patrick Geddes avesse sviluppato le sue teorie già nel 1904.

Riferimenti Bibliografici

1. Las Casas, G.: Processo di piano ed esigenze informative. In: Clemente, F. (ed.) Pianificazione del territorio e sistema informativo. pp. 1–832. FrancoAngeli (1984).
2. Tobler, W.R.: A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Econ. Geogr.* 46, 234 (1970). <https://doi.org/10.2307/143141>.
3. Tobler, W.: On the first law of geography: A reply, (2004). <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2004.09402009.x>.
4. Sui, D.Z.: Tobler’s first law of geography: A big idea for a small world?, (2004). <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2004.09402003.x>.
5. Waters, N.: Tobler’s First Law of Geography. *Int. Encycl. Geogr. People, Earth, Environ. Technol.* 1–13 (2017). <https://doi.org/10.1002/9781118786352.WBIEG1011>.
6. Westlund, H.: A brief history of time, space, and growth: Waldo Tobler’s first law of geography revisited: WRSA presidential address 2013. *Ann. Reg. Sci.* 51, 917–924 (2013). <https://doi.org/10.1007/S00168-013-0571-3/FIGURES/1>.
7. Hagerstrand, T.: *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. The University of Chicago Press, Chicago and London (1967). <https://doi.org/10.1017/s0770451800055330>.
8. Miller, H.J.: Tobler’s First Law and Spatial Analysis. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 94, 284–289 (2004). <https://doi.org/10.1111/J.1467-8306.2004.09402005.X>.
9. Goodchild, M.F.: The Validity and Usefulness of Laws in Geographic Information Science and Geography. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 94, 300–303 (2004). <https://doi.org/10.1111/J.1467-8306.2004.09402008.X>.
10. Bailey, T.C., Gatrell, A.C.: *Interactive spatial data analysis*. Routledge (1995).
11. O’Sullivan, D., Unwin, D.J.: *Geographic Information Analysis: Second Edition*. John Wiley and Sons (2010). <https://doi.org/10.1002/9780470549094>.

12. Gatrell, A.C., Bailey, T.C., Diggle, P.J., Rowlingson, B.S.: Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans. Inst. Br. Geogr.* 21, 256–274 (1996).
13. Batty, M., Besussi, E., Maat, K., Harts, J.J.: Representing Multifunctional Cities: Density and Diversity in Space and Time. *Environment*. 30, 324–337 (1978).
14. O’Sullivan, D., Wong, D.W.S.: A Surface-Based Approach to Measuring Spatial Segregation. *Geogr. Anal.* 39, 147–168 (2007). <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2007.00699.x>.
15. Goodchild: *Spatial Autocorrelation, Concepts and Techniques in Modern Geography*. Geo Books, Norwich (1986).
16. Lee, J., Wong, D.W.S. (David W.-S.: *GIS and statistical analysis with ArcView*. John Wiley (2000).
17. Geary, R.C.: The Contiguity Ratio and Statistical Mapping. *Inc. Stat.* 5, 115 (1954). <https://doi.org/10.2307/2986645>.
18. Moran, P.A.P.: The Interpretation of Statistical Maps. *J. R. Stat. Soc. Ser. B.* 10, 243–251 (1948). <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x>.
19. Anselin, L.: The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: Fischer, M. (ed.) *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. p. 368. Routledge, London (1996).
20. Anselin, L.: Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geogr. Anal.* 27, 93–115 (1995). <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
21. Anselin, L.: *Spatial Econometrics: Methods and Models* | SpringerLink. (1988). <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>.
22. Anselin, L., Getis, A.: Spatial statistical analysis and geographic information systems. *Ann. Reg. Sci.* 26, 19–33 (1992). <https://doi.org/10.1007/BF01581478>.
23. Roseman, C.C.: Migration as a Spatial and Temporal Process. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 61, 589–598 (1971).
24. Sjaastad, L.A.: THE COSTS AND RETURNS OF HUMAN MIGRATION’. *J. Polit. Econ.* 70, 80–93 (1962).
25. Mincer, J.: Family Migration Decisions. *J. Polit. Econ.* 86, 749–73 (1978). <https://doi.org/10.1086/260710>.

26. Duncan, O.D., Duncan, B.: Residential Distribution and Occupational Stratification. <https://doi.org/10.1086/221609>. 60, 493–503 (1955). <https://doi.org/10.1086/221609>.
27. Duncan, O.D., Duncan, B.: A Methodological Analysis of Segregation Indexes. *Am. Sociol. Rev.* 20, 210 (1955). <https://doi.org/10.2307/2088328>.
28. Cristaldi, F.: Multiethnic Rome: Toward residential segregation? *GeoJournal*. 58, 81–90 (2002). <https://doi.org/10.1023/B:GEJO.0000010827.68349.9E/METRICS>.
29. ALONSO, W.: Population as a System in Regional Development. *Am. Econ. Rev.* 70, 405–409 (1980).
30. Alberti, M., Tsetsi, V., Solera, G.: *La città sostenibile : analisi, scenari e proposte per un'ecologia urbana in Europa*. FrancoAngeli (1994).
31. Salzano, E.: *Fondamenti di urbanistica : la storia e la norma*. Laterza (1998).
32. Secchi, B.: *Le condizioni sono cambiate*. *Casabella Archit. come Modif.* 484, (1984).
33. Kleinhans, R.: Social implications of housing diversification in urban renewal: A review of recent literature. *J. Hous. Built Environ.* 19, 367–390 (2004). <https://doi.org/10.1007/S10901-004-3041-5/METRICS>.
34. Tulchinsky, T.H.: John Snow, Cholera, the Broad Street Pump; Waterborne Diseases Then and Now. *Case Stud. Public Heal.* 77 (2018). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804571-8.00017-2>.
35. Mcharg, I.L.: *Design with Nature*. The Natural History Press (1969).
36. Geddes, P.: *Cities in evolution; an introduction to the town planning movement and to the study of civics*. H. Fertig, London (1915).
37. Clavel, P., Young, R.: “Civics”: Patrick Geddes’s theory of city development. *Landsc. Urban Plan.* 166, 37–42 (2017). <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2017.06.017>.
38. Meller, H.E.: Patrick Geddes; An Analysis of His Theory of Civics, 1880-1904 on JSTOR. *Vic. Stud.* 16, 291–315 (1973).
39. Glaeser, E.: *Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*. Penguin Random House (2011).
40. Alberti, M.: Measuring urban sustainability. *Environ. Impact Assess. Rev.* 16, 381–424 (1996). [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(96\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(96)00083-2).

41. Nijkamp, P.: The Role Of Evaluation In Supporting A Human Sustainable Development: A Cosmologic Perspective. *Reg. Sci. Inq.* III, 13–22 (2011).
42. Finco, A., Nijkamp, P.: Towards a Sustainable Future of Cities in Europe: An Evaluation of Sustainable City Initiatives Using Multicriteria Decision Support Methods. 173–192 (2001). https://doi.org/10.1007/978-94-010-0466-4_13.
43. Goodland, R.: ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND THE POWER SECTOR. *Environ. Sustain. POWER Sect. Impact Assess.* 12, 275–304 (1994). <https://doi.org/10.1080/07349165.1994.9725867>.
44. Camagni, R., Capello, R., Nijkamp, P.: Towards sustainable city policy: An economy-environment technology nexus. *Ecol. Econ.* 24, 103–118 (1998). [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00032-3).
45. Capello, R., Nijkamp, P., Pepping, G.: Sustainable Cities and Energy Policies. (1999). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03833-8>.
46. Madanipour, A., Hull, A., Healey, P.: The governance of place: Space and planning processes. Taylor and Francis Inc. (2017). <https://doi.org/10.4324/9781315239316>.
47. Carmon, N.: Three generations of urban renewal policies: analysis and policy implications. *Geoforum.* 30, 145–158 (1999). [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(99\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(99)00012-3).

