



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in INGEGNERIA GESTIONALE

Tesi di Laurea Magistrale

Morfologia urbana e attività economiche: analisi del policentrismo nei sistemi locali del lavoro italiani

Relatori:

Prof. De Marco Antonio
Prof. Buzzacchi Luigi
Prof. Milone Francesco Luigi

Candidato

Cunsolo Enrico Junior

Indice

1 Abstract.....	5
2 Introduzione.....	6
3 Rassegna della Letteratura.....	8
3.1 Letteratura sulle luci notturne.....	8
3.2 Letteratura sul monocentrismo e il policentrismo.....	12
3.3 Letteratura sulla sviluppabilità di un territorio.....	18
4 Dati e metodologia.....	20
4.1 Fonti dati.....	20
4.2 I sistemi locali di lavoro.....	23
4.3 Indice di policentricità con popolazione.....	25
4.4 Indice di policentricità funzionale con pendolarismo.....	31
4.5 Indice di policentricità con luci notturne.....	33
5 Analisi descrittive.....	35
5.1 Analisi indici policentricità con popolazione.....	35
5.1.1 Statistiche descrittive indice con popolazione.....	35
5.1.2 Analisi di correlazione tra indici calcolati e caratteristiche del SLL.....	36
5.1.3 Analisi andamento indici policentricità morfologica con popolazione.....	38
5.1.4 Analisi SLL più popolosi.....	43
5.2 Analisi indici policentricità funzionale.....	45
5.2.1 Statistiche descrittive macroaree italiane.....	46
5.2.2 Analisi di correlazione centri vs superficie e popolazione.....	49
5.2.2 Analisi di correlazione centri vs redditi.....	53
5.2.3 Analisi top 20 SLL.....	55
5.3 Analisi indice policentricità con luci notturne.....	59

5.3.1 Scelta del percentile e della soglia.....	59
5.3.2 Analisi descrittive a livello nazionale per ogni percentile.....	62
5.3.3 Trend temporale nazionale.....	63
5.3.4 Analisi di correlazione valori nazionali.....	66
5.3.5 Correlazione con indice di policentricità con popolazione.....	68
6 Analisi econometrica.....	69
6.1 Analisi descrittive indice e indicatori economici.....	70
6.2 Regressione lineare e analisi di correlazione.....	73
6.3 Variabili categoriche morfologiche e sociodemografiche.....	76
6.4 Analisi di correlazione e variabili di controllo.....	78
6.5 Modelli di regressione multipla.....	80
6.5.1 Modello per reddito da lavoro autonomo.....	80
6.5.2 Modello per reddito da lavoro dipendente.....	82
6.5.3 Modello per tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo.....	84
6.5.4 Modello per tasso di crescita del reddito da lavoro dipendente.....	86
7 Conclusioni.....	89
8 Bibliografia.....	94

1 Abstract

In questo studio viene analizzata la policentricità del territorio italiano e la sua relazione con due tipologie di reddito: il reddito da lavoro autonomo e il reddito da lavoro dipendente; adottando come area geografica di riferimento il Sistema Locale di Lavoro (SLL). Sono stati calcolati tre indici di policentricità utilizzando tre diverse metodologie. Il primo, volto a misurare policentricità morfologica nel contesto discreto, si basa sulla distribuzione della popolazione tra i comuni italiani. Il secondo impiega i flussi di pendolarismo per identificare i centri di attrazione economica. Il terzo approccio di calcolo prevede l'uso delle immagini satellitari notturne. Quest'ultimo metodo, è l'indicatore che meglio cattura la distribuzione dell'attività economica poiché, fondandosi sulla reale presenza di dinamiche socioeconomiche e di attività antropica, permette di identificare con maggiore precisione la dimensione dei poli di interesse e contemporaneamente di escludere le aree poco rilevanti ai fini analitici. Le analisi empiriche e le stime econometriche hanno evidenziato una correlazione positiva tra la policentricità che usa le luci e il reddito, con dei risultati più robusti per il reddito da lavoro dipendente, suggerendo che una distribuzione delle attività economiche distribuite su più centri favorisca maggiormente quella categoria di lavoratori. Contrariamente, i risultati per il reddito da lavoro autonomo risultano meno robusti, suggerendo che i lavoratori autonomi mostrano una minore sensibilità alla struttura urbana.

2 Introduzione

Il seguente studio si pone l'obiettivo di comprendere la relazione tra la distribuzione nei SLL italiani e due tipologie di reddito: il reddito da lavoro autonomo, il reddito da lavoro dipendente e i rispettivi tassi di crescita dal 2013 al 2019. L'obiettivo principale è capire se e in che misura una configurazione policentrica influenzi positivamente il reddito. Lo studio si articola in diverse fasi. Inizialmente, viene condotta una rassegna della letteratura riguardo l'uso delle immagini satellitari notturne, il concetto di policentrismo e la sviluppabilità del territorio. Successivamente, viene proposta la metodologia e le fonti utilizzate per il calcolo di diversi indicatori di policentricità. In particolare, verranno considerate tre tipologie di indici: la policentricità morfologica con la popolazione, la policentricità funzionale e la policentricità calcolata a partire dalle immagini satellitari notturne. L'indicatore di policentricità morfologica adottato nello studio è stato già usato per quantificare il policentrismo nei distretti cinesi. Tale indice verrà adattato nel contesto italiano prendendo i comuni come unità di riferimento. La policentricità funzionale invece verrà calcolata tramite un indice adottato nel contesto australiano che mostra quantitativamente il numero di centri presenti in un SLL sulla base dei flussi di pendolarismo tra comuni. Il terzo indicatore calcola la policentricità basandosi sull'estensione dei poli individuati a partire dalle luci notturne.

Verrà condotta poi un'analisi empirica per ogni indicatore, valutando l'andamento temporale, le differenze tra macrozone geografiche e le correlazioni con variabili sociodemografiche ed economiche.

Infine, tramite dei modelli di regressione multipla si valuta l'effetto della policentricità sulle diverse tipologie di reddito, al fine di individuare eventuali relazioni significative tra la struttura urbana e lo sviluppo economico.

3 Rassegna della letteratura

3.1 Letteratura sulle luci notturne

L'attività economica di un paese negli ultimi decenni è stata soggetta a numerosi studi volti ad analizzare una potenziale correlazione con l'intensità luminosa notturna. Il contributo di Henderson et al. (2012) è uno dei più rilevanti, poiché con il suo studio, viene sviluppato un modello statistico che integra i dati relativi alle variazioni dei valori di luminosità notturna catturata dai satelliti, con quelli relativi alla crescita del Prodotto Interno Lordo (PIL). L'intento principale dello studio è di migliorare le stime relative alla crescita economica di un paese. Tra i risultati, emerge una correlazione statisticamente significativa tra la variazione del PIL e l'intensità luminosa registrata dai satelliti. In particolare, Henderson, dimostra che i dati del Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) possono essere efficacemente impiegati per stimare l'andamento economico a lungo termine, soprattutto in quei paesi dove vi è una qualità dei dati relativamente scadente.

Ciò nonostante, il livello geografico di aggregazione informativa, costituiva uno dei limiti principali. Fino a quel momento, la maggior parte degli studi in questo ambito scientifico, si sono concentrati su analisi a livello nazionale, ma Ebener et al. (2005) ha esteso l'ambito applicativo a un livello spaziale più dettagliato, dimostrando, come lo studio dell'intensità luminosa a livello nazionale possa essere agevolmente esteso a livello subnazionale, prendendo in considerazione città o regioni. Per evidenziare le differenze tra i due approcci, vengono proposte due tipologie di analisi: la prima sviluppa

un nuovo modello per la previsione del reddito pro capite a livello nazionale, mentre la seconda, trasferisce l'approccio da un livello nazionale a un livello subnazionale. Inizialmente la seconda analisi risulta molto imprecisa, tuttavia, è stato sottolineato come l'accuratezza tenda ad aumentare se vengono inclusi nello studio parametri specifici riferiti al paese che si sta analizzando. Il metodo adottato da Ebener et al. (2005) ha aperto la strada a numerosi studi successivi che hanno arricchito la nostra conoscenza in questo ambito.

La considerazione di Ebener et al. in merito alla sua seconda analisi viene ulteriormente approfondita da Bickenbach (2016). Con il suo studio, vi è un'ulteriore conferma che sia necessario tener conto di altre variabili per studiare la relazione tra PIL e intensità luminosa. Diversamente da Ebener et al., Bickenbach ha focalizzato il suo studio esclusivamente a livello subnazionale, analizzando, inizialmente, il rapporto tra la crescita del PIL e l'intensità delle luci notturne nelle economie emergenti di India e Brasile. Il suo studio evidenzia come la semplice osservazione dell'intensità luminosa non sia sufficiente per descrivere accuratamente la crescita economica nei paesi considerati, andando a rilevare un'elevata instabilità in questa correlazione. Per affrontare ciò, vengono introdotte ulteriori variabili che tengono conto delle specificità locali. Tra queste, si cita una variabile che distingue le aree rurali da quelle urbane, nonché variabili che delineano la struttura economica specifica di un luogo, come l'agricoltura e l'attività manifatturiera.

I lavori di Bickenbach ed Ebener che prevedono un'esplorazione empirica più complessa e articolata, conferiscono un ulteriore grado di precisione e

dettaglio per l'analisi della correlazione tra l'intensità luminosa notturna e la crescita economica, andando a evidenziare l'importanza di un approccio multidimensionale che consideri le peculiarità di ciascun contesto economico.

L'informazione estratta dalle immagini satellitari permette di attuare degli studi empirici efficaci per prevedere l'andamento dell'attività economica di un paese. Tramite le luci notturne è possibile constatare verso dove si è spostato il centro principale dell'attività economica di un paese o la nascita di eventuali nuovi centri urbani. Questo campo di applicazione risulta particolarmente utile laddove si verificano eventi esogeni, come ad esempio sanzioni economiche o pandemie, che possono influenzare significativamente l'economia di un paese, anche nel breve termine. Un esempio emblematico è fornito da Lee (2018), che ha esaminato con attenzione le conseguenze delle sanzioni imposte alla Corea del Nord, soffermandosi sulla distribuzione delle luci urbane catturate dai satelliti sul territorio nazionale nord-coreano nel corso dei mesi. Osservando i dati sulla luminosità notturna, Lee ha scoperto che, a seguito dell'imposizione delle sanzioni, è avvenuta una redistribuzione dell'attività antropica con un aumento della luminosità in determinate aree, in particolare, nella capitale, nelle aree commerciali vicine alla Cina e nelle città manifatturiere. Secondo Lee, questo fenomeno potrebbe aver acuito le disuguaglianze regionali a scapito delle aree più marginali. I dati satellitari adoperati per lo svolgimento di questa analisi provengono dal Defense Meteorological Satellite Program. Le fonti dati principali dalle quali è possibile estrarre informazione sono due: il DMSP e il VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite).

I dati del DMSP sono stati disponibili fino al 2013, mentre il VIIRS è ufficialmente operativo dal 2011.

Sono stati condotti molteplici studi volti a confrontare l'accuratezza dei dati satellitari provenienti dalle due fonti nel corso degli anni. Gibson (2020) ha condotto uno studio comparativo sull'efficacia dei dati VIIRS rispetto ai dati DMSP. Tramite un'analisi di regressione, dimostra che i dati VIIRS, più recenti e accurati, offrono un potere predittivo per il PIL reale decisamente superiore (80%) rispetto ai dati DMSP. Questi, infatti, presentano diverse limitazioni, ad esempio: sfocature, mancanza di calibrazione e troncamenti artificiali (i.e., top-coding).

Negli ultimi anni, i dati VIIRS hanno acquisito particolare rilevanza nella valutazione delle implicazioni socioeconomiche di eventi su larga scala, come la pandemia da COVID-19. Lo studio di Roberts (2021) ha utilizzato le luci notturne per monitorare gli effetti economici della pandemia in Marocco, a livello nazionale e regionale con una frequenza di aggiornamento particolarmente elevata. L'osservazione ha permesso di identificare le regioni che hanno sofferto più di altre. Roberts evidenzia come sia possibile monitorare "quasi in tempo reale" gli effetti sull'economia di un territorio di eventi come pandemie o sanzioni economiche, sostenendo, inoltre, che il suo metodo possa essere applicato a un livello di dettaglio superiore, estendendolo a città e aree definite in base alle loro funzioni. L'ottimizzazione di questa metodologia potrebbe fornire risultati ancora più precisi, con ricadute positive per la gestione di crisi e la definizione di politiche di intervento mirate.

Le luci notturne non sono altro che la concentrazione dell'attività antropica all'interno delle comunità urbane. Attraverso attente analisi, è possibile sia definire i centri nei quali si concentra maggiormente l'attività umana, Lee (2018), sia delimitare dei confini che circoscrivano le dinamiche economiche di un territorio. In pratica, studiare la distribuzione della luminosità nel territorio nazionale o regionale consente di delineare ulteriori confini che, sulla base delle analisi che vengono condotte, potranno risultare notevolmente differenti rispetto ai confini amministrativi. Questo strumento può essere particolarmente utile per indagare sull'assetto urbano e la sua evoluzione nel tempo.

Lo studio delle luci notturne si rivela quindi uno strumento versatile e multidisciplinare, utile non solo per stimare indicatori economici, ma anche per osservare il mutamento della struttura spaziale urbana di un paese.

3.2 Letteratura sul monocentrismo e il policentrismo

I dati sulle luci notturne possono essere impiegati per studiare la struttura spaziale delle aree urbane, ad esempio, al fine di analizzare i centri e i subcentri delle città. Le immagini satellitari offrono un nuovo spunto per capire come è alterata la configurazione urbana delle città nel corso degli anni, infatti, indagare sul cambiamento nel tempo dei centri delle città, può risultare molto utile per capire se questi sono aumentati di dimensione, o se ne sono nati di nuovi. L'informazione sull'intensità luminosa di una determinata area non è altro che l'effetto dell'attività antropica, quindi, osservare una modifica della struttura spaziale urbana, significa anche osservare indirettamente un cambiamento dell'attività antropica.

Infine, lo studio in questo ambito, risulta adeguato a comprendere quali siano le configurazioni urbane migliori da adottare per ottimizzare la distribuzione delle attività economiche, poiché è risaputo, grazie anche ai numerosi studi effettuati, che le configurazioni urbane policentriche sono caratterizzate da numerose connessioni che permettono una eccellente integrazione funzionale con dei risvolti positivi anche dal punto di vista della produttività del lavoro a livello cittadino, Zhang et al. (2017). L'indagine di Zhang et al. risulta valida per esaminare quanto sia efficace l'implementazione di una strategia urbanistica policentrica. Lo scopo principale, nel caso del governo cinese, era quello di migliorare la distribuzione delle attività economiche e, di conseguenza, le condizioni di vita e di lavoro.

Analizzare le luci notturne, quindi, consente di avere un potente strumento volto a monitorare e valutare le dinamiche relative al mutamento urbano nel tempo, permettendo, così, di identificare cambiamenti nella configurazione economica territoriale e di valutare l'efficacia delle politiche urbanistiche implementate. L'approccio seguito, che integra dati economici e spaziali, permette di comprendere più a fondo le dinamiche urbane e tutte le loro implicazioni economiche. Pertanto, le luci notturne costituiscono un punto di partenza cruciale per apprendere tutto questo.

Partendo dalla distribuzione di intensità luminosa sulla superficie, si è in grado di definire i confini territoriali e i centri delle città. Potrebbe essere particolarmente interessante analizzare come cambia il numero di città multicentriche in un paese nel corso del tempo. A questo proposito, sono state condotte numerose analisi su svariati paesi, ad esempio, in Cina (Ma

et al., 2020) e in Turchia (Çiraci, 2000). L'intento della ricerca di Ma et al. è quello di identificare i centri urbani in 2200 città in Cina partendo dall'analisi delle luci notturne. In particolare, dopo interventi di rimozione del rumore e data preprocessing, viene applicato l'algoritmo del maximum neighborhood al file raster. L'algoritmo viene fatto passare per ogni pixel. Alla fine, vengono estratti i centri urbani. L'analisi ha osservato una tendenza positiva nel corso degli anni per le città policentriche, che stanno aumentando sempre di più, al contrario, quelle monocentriche stanno diminuendo di numero. Tuttavia, non è stato proposto alcun metodo che evidenzi potenziali correlazioni tra il numero di città policentriche e gli indicatori economici. Sotto questo punto di vista il modello risulta molto utile solo per osservare la variazione del numero di città policentriche e monocentriche nel corso del tempo.

Nel corso degli anni, sono stati sviluppati diversi modelli volti a esaminare l'evoluzione del grado di policentrismo nelle città e la correlazione con gli indicatori economici. Ciò che differenzia i modelli tra loro, è la tipologia di policentricità calcolata. Esistono modelli che calcolano la policentricità andando a considerare variabili come la densità della popolazione o il livello di occupazione, operando dunque nello spazio geografico discreto. Ad esempio, nello studio effettuato da Zhang et al. (2017), vengono utilizzati diversi indici di policentricità, dove il tasso di occupazione è la variabile utilizzata in questo studio per ogni subcentro individuato. In particolare, si considera il rapporto tra l'impiego di ogni subcentro con quello del centro principale. Alcuni indici, oltre a tenere conto della forza lavoro, includono anche gli effetti della distanza tra un centro e l'altro. Li e

Liu (2018) hanno sviluppato un modello che restituisce un indice di importanza P come output per ogni centro di ogni città. Per il calcolo di quest'indicatore di policentricità viene tenuto conto sia della distanza tra i vari (sub)centri e la popolazione residente. Infine, viene fatta un'analisi di regressione partendo da una funzione di produzione aggregata Cobb-Douglas, per controllare se esiste una relazione tra l'indice di policentricità P e il valore del PIL. Il limite di questo studio sta sicuramente nella variabile che usa per il calcolo della policentricità. La popolazione, infatti, è indicativa ma fino a un certo punto per evidenziare legami con lo sviluppo economico, diversamente invece, da come possono esserlo altre variabili come la distribuzione dell'occupazione, Zhang et al. (2017), o delle imprese.

Recentemente, sono stati sviluppati nuovi modelli che studiano la policentricità partendo dalle luci notturne. Gli studi condotti per realizzare questi modelli, utilizzano le misurazioni di intensità luminosa acquisite dai sensori satellitari, per andare a creare una superficie nella quale si riflette il livello di concentrazione dell'urbanizzazione. Il risultato iniziale è simile a una topografia. Uno degli studi più rilevanti in quest'ambito è quello di Yang et al. (2021), che hanno presentato un nuovo metodo volto ad analizzare la policentricità morfologica del quadro urbano. Per svolgere questo lavoro, vengono usate le immagini satellitari di quattro grandi città cinesi. Da ogni file vengono selezionati solo alcuni pixel seguendo la head/tail division rule, e una volta messi insieme vanno a delineare il poligono delle città. Dopodiché il file raster viene convertito in un vettore di dati. Una volta ottenuto il poligono di ogni città sotto forma di vettore, vengono estratti i centri urbani sulla base di tre parametri: area, elongazione e deviazione

standard. Fatto questo, non solo è possibile individuare il centro principale, ma si ha il numero di centri urbani per ogni città. Tale metodo presenta molteplici vantaggi, tra cui, l'adattabilità del modello in altre regioni del mondo ma soprattutto, l'elevata precisione per l'identificazione dei centri urbani. Questo modello, quindi, non è solamente versatile, ma estremamente accurato. Lo studio prosegue con la creazione di un indice (UCDI) che esprime il grado di sviluppo di ogni centro o subcentro. Servendosi sempre della head/tail division rule, il vettore di poligoni viene diviso in blocchi. È come se, partendo dal vettore di dati che contiene le coordinate del pixel e il valore della luminosità a esso corrispondente, venga preso l' n -esimo percentile. Questo processo viene ripetuto n volte. Più un pixel (e quindi l'area circostante) rimane all'interno del nuovo blocco, più il subcentro in questione ha un alto grado di sviluppo. Tale indice può essere messo in relazione con degli indicatori finanziari per verificare se esiste una correlazione tra esso e lo sviluppo economico.

Con questo modello lo studio della configurazione urbana risulta sicuramente più agevole, soprattutto, grazie alla facilità con cui si può accedere ai dati per ottenere gli output previsti, ovvero, in questo caso, le immagini satellitari.

Un'altra tipologia di policentricità è quella funzionale, che non si limita a studiare come i centri urbani sono distribuiti nello spazio, ma esamina come interagiscono e sono collegati tra loro sulla base di flussi di persone, beni, informazioni e servizi. *“La dimensione funzionale della policentricità non esclude l'approccio morfologico, ma lo estende per includere anche il modello di interazione funzionale tra i centri urbani.”* Burger e Meijers

(2012). Sarkar et al. (2020) propongono un metodo che identifica i centri sulla base dei flussi di pendolarismo tra le città prese in considerazione. In particolare, hanno sviluppato una serie di indici come ad esempio “il trip-based centrality”. Questo indice permette di identificare le aree che fungono da nodi principali all'interno di un'area metropolitana. Lo studio si è rivelato molto utile per comprendere come Sydney, nonostante la pianificazione volta a favorire una struttura policentrica, non lo sia ancora diventata per via della netta dominanza (sotto il punto di vista dei flussi di pendolarismo in entrata) rispetto agli altri centri caratterizzati da una capacità di attrazione significativamente inferiore. Questo metodo può essere sicuramente adatto in quei contesti dove si opera con delle aree funzionali delineate sulla base di parametri come il pendolarismo. Ad esempio, le aree funzionali dei SLL possono rappresentare una base solida da cui partire per effettuare analisi di questo tipo. I SLL, infatti, rappresentano delle unità economiche funzionali, delineate tramite il parametro dei flussi di lavoro in entrata e in uscita. Potrebbe essere interessante valutare l'esistenza di una correlazione tra un indice di policentricità funzionale calcolato in un SLL e gli indicatori economici del SLL in questione.

Tramite lo studio di parametri demografici, delle matrici di pendolarismo e delle luci notturne, è possibile estrarre informazione riguardo la policentricità morfologica e funzionale di una determinata area geografica. Un approccio interessante potrebbe consistere nel confrontare tali indicatori di policentricità per poi valutare l'esistenza di un'interdipendenza con quelli economici.

3.3 Letteratura sulla sviluppabilità di un territorio

Nel corso degli anni, sono stati condotti molteplici studi nell'ambito dello sviluppo urbano, concentrandosi in particolar modo sulle conseguenze a livello economico che ne derivano. Tra gli elementi presi in considerazione nell'analisi della configurazione urbana, gioca un ruolo fondamentale la forma delle città. Questo aspetto è già stato preso in considerazione in vari ambiti, come ad esempio, nello studio della pianificazione urbana o dell'accessibilità ai trasporti pubblici, tuttavia, raramente è stato considerato nel contesto della sfera economica. Harari (2020) ha esaminato la forma delle città in India mettendola in relazione a degli indicatori economici quali i salari e il costo dell'affitto delle abitazioni. Successivamente, ha implementato l'indice di compattezza di coesione, dove dei valori bassi indicano una conformazione urbana meno compatta, e distanze interne più lunghe da percorrere.

La particolarità del modello di Harari risiede anche nel metodo utilizzato per misurare la geometria urbana in relazione alla geografia del territorio. È riuscita a creare uno strumento che quantifica la compattezza di un'area urbana, tenendo conto della posizione naturale di elementi come laghi, fiumi o terreni molto ripidi. Questi elementi rappresentano delle barriere naturali che impediscono lo sviluppo economico e allo stesso tempo ostacolano gli spostamenti. Di conseguenza, Harari (2020) introduce all'interno della sua analisi un nuovo parametro chiamato "forma potenziale" che misura, in chilometri, la forma della città tenendo conto delle limitazioni dovute alle barriere naturali. Tale strumento offre una visione più chiara della sviluppabilità di un territorio.

Da un lato, un territorio molto sviluppabile offre molti vantaggi, come la possibilità di avere terreni edificabili e quindi una crescita urbana più rapida, ma anche un accesso più facilitato alle infrastrutture grazie all'assenza di barriere che ostacolerebbero l'espansione di reti stradali. Anche l'economia di un territorio per questi motivi ne risentirebbe positivamente. Il discorso è simile anche per la compattezza. Una città molto compatta permette spostamenti più rapidi e ridurrebbe i costi di trasporto. Lo studio di Harari sottolinea come le persone preferiscano questo tipo di città. Oltre a confrontare gli indici di compattezza e sviluppabilità di un territorio, andando a valutare quanto siano correlabili l'un l'altro, potrebbe essere un'idea verificare empiricamente come incidano, sugli indicatori economici del territorio preso in esame.

4 Dati e metodologia

Questo capitolo è volto a spiegare come verrà condotto lo studio della policentricità sul territorio italiano. Per condurre tale studio verranno impiegati tre tipologie di indici. Alcuni quantificano la policentricità seguendo un approccio discreto utilizzando come proxy la popolazione di una determinata area o il pendolarismo tra i comuni italiani. Un secondo approccio prevede l'utilizzo delle immagini satellitari e quindi di dati relativi all'intensità luminosa sul territorio. Una volta calcolati gli indici verranno valutate potenziali correlazioni tra di loro e gli andamenti nel tempo nelle principali città italiane. Verrà condotta un'analisi sulla base della divisione geografica: nord, centro, sud. Infine, lo studio proporrà un modello empirico nel quale si cerca di comprendere se, e in che misura, il livello di policentrismo dei sistemi locali di lavoro italiani sia legato a dinamiche economiche specifiche.

Verrà inoltre spiegato e giustificato il motivo legato all'utilizzo dell'area geografica di riferimento adottata per condurre tale studio, si parlerà quindi dei sistemi locali di lavoro (SLL). Verranno infine descritte le fonti dati.

4.1 Fonti dati

Per condurre le analisi di questo lavoro sono state utilizzate numerose informazioni provenienti da svariate fonti. I dati relativi ai SLL e sulla popolazione dei comuni sono stati reperiti sul sito dell'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Per quanto riguarda le informazioni sui sistemi locali una tabella riporta per ogni SLL: il suo codice identificativo, il nome, la provincia di appartenenza, la regione e la posizione geografica (nord-est,

nord-ovest, centro, sud, isole). Una seconda tabella fornisce un livello di dettaglio maggiore sui comuni, in particolare, elencandone: il codice del SLL associato al comune, il nome del SLL, il codice identificativo del comune, il nome del comune e un valore booleano che indica se quel comune è anche il capoluogo di provincia. I dati relativi alla popolazione sono disponibili per ogni comune e sono stati ricavati dalle serie storiche, in particolare, a partire dall'anno 2002 al 2019.

Nel corso degli anni, tuttavia, i sistemi locali sono stati soggetti a variazioni. Infatti, il numero di comuni presenti in un SLL può variare nel corso del tempo a causa delle fusioni tra comuni. Tale fenomeno solleva una problematica di attribuzione quando avviene tra località appartenenti a SLL diversi. In questo caso risulta complesso determinare a quale SLL assegnare il nuovo comune fuso. Per risolvere questa criticità è stato adottato un approccio dove partendo dai dati relativi al primo anno di esistenza del nuovo comune si cerca di calcolare la redistribuzione di variabili come la popolazione e indicatori economici tra i comuni vecchi, fino al 2019. Ciò permette di analizzare quello che può essere il contributo corrispondente a ogni comune che ha preso parte alla fusione e quindi l'apporto che dà al suo SLL.

In particolare, nel caso della redistribuzione della popolazione, inizialmente viene attribuita al nuovo comune la somma degli abitanti dei comuni fusi a partire dal 2002 fino all'anno della fusione. Poi, vengono calcolate le quote percentuali di popolazione attribuibili a ciascun comune originario sulla base della somma calcolata precedentemente. Una volta ottenuti questi valori percentuali viene fatta una previsione per stimare la popolazione dei

comuni fusi a partire dall'anno in cui non si hanno più informazioni su di essi, ovvero l'anno in cui hanno cessato di esistere. Questa previsione per calcolare la stima del loro contributo demografico a partire dall'anno della fusione si ottiene moltiplicando la percentuale stimata dei comuni fusi per la popolazione reale del comune fuso. Qualora la fusione avvenga tra comuni appartenenti allo stesso sistema locali il problema non si pone.

Per il calcolo delle distanze invece è stata utilizzata una tabella che elencava per ogni comune italiano: il suo codice identificativo, l'ascissa e l'ordinata. Quest'ultimo dataset è fondamentale per il calcolo delle distanze euclidee per gli indici di policentricità morfologica sulla popolazione.

I dati sul pendolarismo tra comuni sono stati reperiti nel sito dell'ISTAT. Tali dati sono stati estratti a seguito del quindicesimo Censimento generale della popolazione in data 9 ottobre 2011. Il file contiene informazioni sul numero di persone che si spostano tra i comuni (comune di partenza e comune di destinazione) o all'interno dello stesso comune, sono classificate per sesso, motivo dello spostamento, mezzo di trasporto, fascia oraria di partenza e durata del tragitto. Molte informazioni riportate risultano superflue ai fini analitici, quindi, sono state tenute solo le istanze riassuntive del totale degli spostamenti comune per comune indipendentemente da fattori come il sesso, il mezzo o la durata.

Una seconda sequenza di dati impiegati per condurre le analisi descrittive riguarda le dichiarazioni annuali sul reddito ed è fornita dal Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF).

Le immagini satellitari del VIIRS sono l'ultima fonte dati utilizzata per il calcolo della policentricità. Le analisi verranno condotte utilizzando queste immagini a partire dal primo anno in cui risultano disponibili, ovvero il 2013, fino al 2023. Tali informazioni risultano più accurate rispetto ai dati del DMSP perché superano alcune limitazioni intrinseche di quest'ultimi. I dati del DMSP, infatti, presentano fenomeni di saturazione e top-coding che riducono la precisione della misurazione dell'intensità luminosa. Tale fenomeno si traduce in una rappresentazione poco accurata dei valori di luminosità tra pixel adiacenti, soprattutto nei centri urbani altamente illuminati o in aree urbane di dimensioni ridotte, registrando dei valori identici o molto simili, impedendo così una corretta distinzione dalle variazioni reali.

4.2 I sistemi locali di lavoro

Per realizzare le analisi sulla policentricità è necessario innanzitutto tenere conto dell'area geografica di riferimento utilizzata per calcolare i vari indici di policentricità, ovvero, i sistemi locali di lavoro (SLL). L'obiettivo è quello di utilizzare un'area che vada ad approssimare nel modo più accurato possibile l'attività economica nel territorio. Dato lo scopo dello studio, ovvero studiare la correlazione tra l'attività economica e una specifica area territoriale, usare come riferimento l'area amministrativa potrebbe comportare delle inefficienze. Il rischio è duplice. Il primo è quello di includere un numero eccessivo di comuni, a causa del quale si avrebbe come principale rischio quello di avere sovrabbondanza di informazione che in alcuni casi potrebbe risultare fuorviante, soprattutto in quelle aree dove l'attività economica è concentrata su un numero

relativamente basso di comuni. Il secondo, al contrario, è quello di includerne un numero troppo basso, con il rischio di perdere tanta informazione. In sostanza, la classica scala amministrativa stabilita dalla legge risulterebbe troppo rigida, con la diretta conseguenza che l'area presa in esame non sarebbe perfettamente rappresentativa dell'attività economica. Per condurre lo studio, quindi, è stato ritenuto più appropriato l'utilizzo di un'area funzionale rispetto all'area amministrativa. L'area funzionale in questione è quella dei SLL.

I sistemi locali di lavoro caratterizzano una struttura territoriale che risulta indipendente dall'articolazione amministrativa. Gli SLL usano i flussi di pendolarismo, ovvero dagli spostamenti giornalieri casa/lavoro, come proxy per determinare le relazioni economiche sul territorio. Il SLL, quindi, è il luogo dove la popolazione (data dalla somma delle popolazioni dei comuni appartenenti a quel determinato SLL), svolge la maggior parte delle proprie interazioni sociali ed economiche.

Un SLL è caratterizzato da almeno due comuni e per la sua individuazione si tengono conto di vincoli derivanti dal numero di occupati residenti e del livello di autocontenimento che deriva dai flussi di pendolarismo, sia lato offerta che lato domanda dei posti di lavoro. L'autocontenimento serve a misurare la capacità di una determinata area geografica di trattenere al proprio interno i flussi lavorativi. L'autocontenimento calcolato lato offerta esprime la quota di occupati che lavorano e risiedono dentro l'area rispetto al totale dei residenti dell'area, lato domanda invece rappresenta la quota di posti di lavoro occupati dai residenti di un'area rispetto al totale dei posti di lavoro di quell'area. Nella specifica implementazione ISTAT sono stabilite

delle soglie relative all'autocontenimento, in particolare deve essere almeno del 60% in entrambi i casi. Se un'area non soddisfa questi requisiti, questa viene aggregata a un'altra area fino al raggiungimento della soglia minima. Avere un autocontenimento elevato vuol dire che la maggior parte delle dinamiche economiche sono svolte internamente all'area geografica delimitata dall'algoritmo, ragion per cui ogni SLL può essere considerato come un mercato autonomo. Ciò può risultare molto utile ai fini analitici e statistici.

In conclusione, l'area funzionale del SLL, rispetto all'area amministrativa, risulta preferibile perché delimita porzioni di territorio sulla base della concentrazione dell'attività economica.

4.3 Indice di policentricità con popolazione

Nel corso sono stati condotti numerosi studi volti a valutare la policentricità delle città. Zhang et al (2017) hanno condotto un'analisi sul territorio cinese utilizzando delle variabili sociodemografiche, in particolare, usando come proxy per la policentricità è stata l'occupazione dei distretti. Lo studio qui condotto valuterà diversi metodi per il calcolo della policentricità sul territorio italiano, usando come area geografica di riferimento il SLL. Il primo obiettivo è quello di capire quale, tra gli indici impiegati per il calcolo, sia più efficace per spiegare la policentricità. Verranno calcolati quindi gli indici per tutte le 611 aree funzionali italiane. Nell'approccio discreto verranno utilizzate informazioni relative alla popolazione e al pendolarismo tra un comune e l'altro appartenente al medesimo SLL. Tra gli studio volti a valutare la policentricità che hanno considerato la distribuzione spaziale della popolazione spiccano quelli di Li et al. (2018).

Nell'analisi che verrà condotta, si terrà conto degli indici utilizzati da Zhang et al. (2017), tuttavia, diversamente dal loro studio, si considereranno i dati sulla popolazione al posto del tasso di occupazione. Verranno usate in particolare tre varianti per misurare il grado di policentricità di un SLL. La prima variante dell'indice, Pol_{pop} , calcola una media quadratica, ed è formata da n che rappresenta la numerosità dei comuni all'interno del SLL, mentre il termine x_i è il rapporto tra la popolazione del comune i -esimo e la popolazione del centro principale. L'effetto dell'elevamento al quadrato serve a dare maggior peso ai comuni con una popolazione più vicina a quella del centro principale, ovvero ai comuni con un valore di x_i elevato. I comuni con valori bassi di x_i avranno un peso minore nel calcolo dell'indice. Una volta effettuata la sommatoria di tutti gli x_i^2 viene calcolata la media dividendo per $n - 1$, infine si estrae la radice quadrata del risultato. Questa variante, quindi, tiene conto di come è distribuita la popolazione dentro un SLL, in particolare Pol_{pop} può assumere valori che vanno da 0 a 1. Più la popolazione dei comuni di uno specifico SLL è bassa rispetto a quella del centro principale, più il valore dell'indice calerà, tanto è vero che se si presentasse un'importante differenza in termini di ordine di grandezza di popolazione tra il centro principale e gli altri comuni, l'indice potrebbe assumere valori tendenti a 0. Se la popolazione invece non è maggiormente concentrata nel centro principale ma è adeguatamente distribuita, l'indice assumerà un valore più alto, in particolare può assumere un valore pari a 1 se i comuni del SLL hanno tutti la stessa popolazione del centro principale.

$$Pol_{pop} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{n-1}^2}{n-1}}$$

Da un punto di vista intuitivo e logico, un sistema locale di lavoro può essere considerato più policentrico quando, in assenza di un unico centro dominante, i comuni che lo compongono presentano popolazioni simili tra loro e conseguentemente dei valori di Pol_{pop} relativamente maggiori. Al contrario, quando un singolo comune emerge in modo nettamente predominante mentre gli altri hanno popolazioni molto inferiori, risulta evidente che il sistema sia più monocentrico. In questo caso, il centro principale funge da punto di attrazione e concentrazione delle attività, relegando i comuni minori a un ruolo marginale.

La seconda variante per il calcolo della policentricità $Pol_{popDist}$ introduce un nuovo termine. Tale indice non terrà conto solo della popolazione x_i ma anche la distanza d_i . In particolare, questo nuovo elemento rappresenta la distanza normalizzata del comune i -esimo rispetto al centro principale. Tale distanza è standardizzata, il che significa che viene espressa come rapporto tra la distanza del distretto i -esimo dal centro principale e la distanza del distretto più lontano rispetto allo stesso centro principale. Questa normalizzazione serve a evitare che distanze molto grandi, ad esempio in SLL geograficamente estesi, distorcano il risultato finale.

$$\begin{aligned}
 Pol_{popDist} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (d_i x_i)^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(d_1 x_1)^2 + (d_2 x_2)^2 + \dots + (d_{n-1} x_{n-1})^2}{n-1}}
 \end{aligned}$$

d_i può assumere quindi un valore tra 0 e 1, in particolar modo più è vicino a 1 più il comune i -esimo, rispetto agli altri comuni, è distante dal centro principale, mentre più è vicino a 0, più il comune i -esimo si trova vicino al centro principale, quindi, comuni relativamente grandi rispetto a quello principale (x_i alto) ma vicini a esso (d_i basso), pesano relativamente poco, in pratica è come se venissero considerati parte del centro principale stesso quindi non definibili come ulteriori centri. In questo indice i comuni più lontani avranno un peso maggiore nel calcolo, mentre i comuni più vicini al centro principale faranno diminuire il prodotto $d_i x_i$ e quindi di conseguenza si avrà un $Pol_{popDist}$ più basso. Con la distanza si cerca quindi di ridurre l'effetto distorsivo legato all'attrattività verso il centro principale. Tale approccio, consente di calcolare questo effetto causato da comuni che non sono identificabili come centri poiché, pur avendo una popolazione rilevante sono strettamente legati al centro dominante. L'elevazione al quadrato di $d_i x_i$ porta ad avere un indice che enfatizza la presenza di comuni grandi e lontani dal centro principale. L'indice può assumere valori tra 0 e 1, in particolare per ottenere il valore massimo si dovrebbe avere una

popolazione distribuita uniformemente tra tutti i comuni che allo stesso tempo devono essere anche equidistanti dal centro dominante così da avere d_i pari a 1. Si può affermare che in tutti i casi $Pol_{popDist} < Pol_{pop}$.

L'ultima variante per il calcolo della policentricità morfologica impiegando la popolazione, $Pol_{popDistLog}$, è molto simile $Pol_{popDist}$. La differenza sta nell'uso del logaritmo naturale $\ln(1 + d_i)$ che va a ridimensionare l'apporto conferito dal termine della distanza d_i . Questo significa che comuni molto distanti avranno un impatto relativamente minore sulla policentricità rispetto a $Pol_{popDist}$. Si potrebbe dire che il peso di valori fortemente anomali come, ad esempio, comuni grandi in termine di popolazione e allo stesso tempo molto distanti risulta essere ridimensionato. Il logaritmo naturale serve, perciò, a ridurre l'impatto di distanze elevate senza però andarle ad annullare del tutto. Questo effetto noto come distance-decay effect descrive come l'intensità di una determinata interazione o relazione, ad esempio economica, vada a diminuire all'aumentare della distanza geografica. Zhang et al. hanno cercato di incorporare questo effetto utilizzando il logaritmo, in particolare, così facendo, si va ad attenuare il peso dei comuni più lontani dal centro principale evitando una sovrastima del loro contributo complessivo per il calcolo della policentricità.

$$\begin{aligned}
Pol_{popDistLog} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} [\ln(1 + d_i) x_i]^2}{n - 1}} \\
&= \sqrt{\frac{[\ln(1 + d_1) x_1]^2 + [\ln(1 + d_2) x_2]^2 + \dots + [\ln(1 + d_{n-1}) x_{n-1}]^2}{n - 1}}
\end{aligned}$$

L'indice $Pol_{popDistLog}$ può assumere dei valori compresi tra 0 e 0,693. Il valore massimo può essere assunto nel caso in cui d_i e x_i assumano un valore pari a 1. Un indice con valore pari a 0 è matematicamente possibile per tutte e tre le varianti, tuttavia, all'atto pratico non si avrà mai un indice pari al valore minimo raggiungibile perché per averlo, ad esempio considerando $n = 2$, sarebbe necessario avere o un comune con 0 abitanti, o un comune con le coordinate del centro coincidenti con quelle del centro principale.

La scelta metodologica per il calcolo della distanza d_i tra i comuni è ricaduta su quella euclidea. Per calcolarla sono state utilizzate le coordinate geografiche (ascisse e ordinate) che identificano il centroide di ogni comune. Si è scelto di utilizzare questa distanza per due motivi principali dove in entrambi i casi gioca un ruolo fondamentale la scala di riferimento geografica scelta, ovvero i SLL. Il primo motivo è legato alle dimensioni geografiche dei SLL. L'adozione della distanza euclidea rappresenta sicuramente una semplificazione rispetto alla distanza geodetica reale sulla superficie terrestre, tuttavia, i SLL hanno delle dimensioni abbastanza contenute e poiché la distorsione introdotta dalla curvatura terrestre risulta

minima si può dire che lo sarà pure la differenza tra la distanza euclidea calcolata e quella geodetica reale. Il secondo motivo invece riguarda un problema che potrebbe presentarsi ma, si suppone, in minore misura nel caso dell'area funzionale in questione. Usare la distanza euclidea rappresenterebbe una semplificazione rispetto a quella realmente percorribile (strade, autostrade), che potrebbe essere maggiore nel caso in cui vi fossero delle barriere naturali, come fiumi, montagne e laghi. Tuttavia, la struttura funzionale del SLL riduce la probabilità di trovarsi in una situazione simile, seppur non annullandola del tutto. La struttura del SLL stesso è concepita in modo da evitare che vengano inseriti nello stesso sistema dei comuni dove vi siano bassi flussi di pendolarismo, che ad esempio potrebbero essere causati dalla presenza barriere naturali. Ciò implica che l'algoritmo per la costruzione di un SLL tenda a minimizzare già di suo la probabilità di avere delle barriere naturali significative dentro l'area funzionale. Sicuramente un'analisi più sofisticata potrebbe considerare altri tipi di distanze ma si ritiene che la semplificazione introdotta dalla distanza euclidea non includa distorsioni sistematiche.

4.4 Indice di policentricità funzionale con pendolarismo

La policentricità funzionale è un'alternativa di calcolo alla policentricità morfologica perché considera che lo stato di "centro" di un comune dipenda dalla sua relazione con altre località. L'elemento che viene tenuto in considerazione in questo caso è il flusso di pendolarismo. L'indice di centralità utilizzato nello studio va a quantificare all'interno di un SLL quanti sono potenzialmente i comuni definibili come centri. L'indicatore impiegato è lo stesso utilizzato da Sarkar et al. (2019). In

particolare, la centralità del comune k dipende da due fattori, il primo è il totale di pendolari entranti in quel comune $T_{d,k}$, il secondo è il totale dei pendolari uscenti $T_{o,k}$. Il comune, quindi, avrà un valore di centralità che oscilla tra -1 e 1 perché la differenza tra il totale dei pendolari entranti e uscenti è rapportata al totale di essi. Se il valore è maggiore di 0, quel comune può essere potenzialmente un centro funzionale del SLL preso in esame. I nodi in questione, ovvero i comuni, possono essere quindi dei nodi origine se da essi escono più persone di quante ne entrano, oppure un nodo destinazione se presenta più pendolari entranti rispetto agli uscenti. Nel primo caso si avrà un valore dell'indice negativo.

$$C_{t,k} = \frac{T_{d,k} - T_{o,k}}{T}$$

L'area di riferimento dello studio rimane sempre quella funzionale del SLL, per questa ragione sono stati presi in considerazione solo i pendolari tra comuni appartenenti allo stesso SLL. Tuttavia, questo indice presenta dei limiti perché non sempre un comune con un valore $C_{t,k}$ positivo può essere considerato come centro significativo, è necessario capire anche la sua rilevanza. Per questo motivo sono stati attuati dei filtri sui dati affinché venisse mitigato l'errore insito nell'assunzione che un valore positivo di $C_{t,k}$ sia sufficiente a identificare un comune come centro. Il filtro si basa sul totale di pendolari uscenti ed entranti T . In particolar modo vengono scartati tutti i comuni che non superano un certo valore soglia di T perché un valore basso, rispetto a quello del centro principale, implica che tale comune non contribuisca in modo significativo sull'economia locale del SLL preso in

considerazione. Quindi se un comune ha un T molto basso si parte dal presupposto che non rappresenta un polo economico rilevante. Questa soglia non è fissa, ma cambia in base al sistema locale che si sta analizzando. Nello specifico è un valore estratto dal prodotto tra un fattore α e il valore massimo di T del SLL preso in questione T_{max} . Ciò vorrà dire che non esisterà una soglia uguale tra due SLL a meno che il loro T_{max} non sia lo stesso. Ai fini analitici è stata fatta variare pure la componente α . Il motivo è legato al fatto che più α diminuisce più sarà elevato il numero di potenziali centri, mentre più α è alto, più comuni verranno scartati a priori e quindi più basso sarà il numero di nodi destinazione individuati.

4.5 Indice di policentricità con luci notturne

La policentricità morfologica basata sulle luci notturne si serve delle immagini satellitari per calcolare il livello di policentricità di un SLL. Per condurre questa analisi verrà impiegato un indicatore analogo a quello utilizzato nel calcolo della policentricità morfologica con la popolazione. L'indice adoperato sarà $Pol_{LuciDistLog}$. Tale indice, come $Pol_{popDistLog}$, utilizza la distanza ridimensionata tramite il logaritmo naturale. In questo caso però, cambiano i significati di alcuni termini. Il termine x_i che precedentemente rappresentava il rapporto tra delle popolazioni, adesso indica il rapporto tra due aree. In particolare, x_i , è il rapporto tra l'area del poligono i -esimo e del poligono principale, ovvero il poligono con l'area maggiore. Il termine d_i continua a rappresentare la distanza normalizzata. Per poterla calcolare verrà calcolato il centroide di ogni poligono individuato. Per definire i poligoni vengono utilizzati dei valori percentili che permettono di identificare le aree rilevanti all'interno dei SLL. Ogni

SLL contiene un certo numero di pixel ai quali è associato un valore di intensità luminosa media annuale. Più basso sarà il valore del percentile scelto per condurre l'analisi, maggiore sarà il numero di pixel preso in considerazione e quindi maggiore sarà l'area totale dei poligoni identificati. Il termine n invece, indica il numero totale di poligoni individuati.

$$\begin{aligned}
 Pol_{LuciDistLog} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} [\ln(1 + d_i) x_i]^2}{n - 1}} \\
 &= \sqrt{\frac{[\ln(1 + d_1) x_1]^2 + [\ln(1 + d_2) x_2]^2 + \dots + [\ln(1 + d_{n-1}) x_{n-1}]^2}{n - 1}}
 \end{aligned}$$

Per condurre lo studio si è deciso di usare la formula che include la distanza normalizzata con il logaritmo naturale per le stesse ragioni legate all'approccio per il calcolo della policentricità morfologica che usa la popolazione. Con la distanza, infatti, si cerca di ridurre l'effetto distorsivo legato all'attrattività verso il centro principale. Tale approccio, consente di calcolare l'effetto causato da poligoni che non sono identificabili come centri poiché potrebbero risultare strettamente legati al centro dominante. Quindi poligoni con una distanza ridotta da quello principale hanno un peso più basso. L'indice può assumere valori che oscillano tra 0 e 0,693. Il valore massimo è ottenibile nel caso in cui vengano identificati dei poligoni con la stessa area ed equidistanti tra di loro. Valori elevati corrispondono a una distribuzione dell'attività antropica più omogenea e meno sbilanciata verso il polo principale.

5 Analisi descrittive

5.1 Analisi indici policentricità con popolazione

5.1.1 Analisi descrittiva indice con popolazione

Di seguito sono riportate le statistiche descrittive relative agli indici di policentricità morfologica con la popolazione. L'anno di riferimento è il 2019.

	Media	Mediana	Max	Min	Std	25° perc	75° perc
Pol_Pop	0.2812	0.2498	0.9824	0.0068	0.195	0.1232	0.393
Pol_Pop_Dist	0.2028	0.1591	0.9824	0.0028	0.175	0.0693	0.2793
Pol_Pop_Dist_Log	0.1486	0.1198	0.6809	0.0023	0.123	0.0545	0.2051

Tabella 1: Statistiche descrittive indice con popolazione

L'indice Pol_Pop è quello con il valor medio più elevato. Ciò è dovuto all'effetto della distanza che influenza gli altri due indici riducendone il valore. In tutti e tre i casi più del 50% degli SLL assume dei valori al di sotto della media, come si può osservare dalla mediana. I valori minimi registrati appartengono tutti allo stesso SLL, ovvero quello di Roma in quanto tale SLL è caratterizzato da un centro principale molto popoloso, in particolare il più popoloso dell'intero territorio nazionale. Questo fa diminuire il rapporto tra le popolazioni a numeratore e di conseguenza cala drasticamente anche il valore dell'indice. Il valore massimo invece è assunto da Capri, un SLL con soli 2 comuni con una popolazione molto simile, ciò giustifica il valore approssimativamente molto vicino a 1.

5.1.2 Analisi di correlazione tra indici calcolati e caratteristiche del SLL

È stato ritenuto opportuno evidenziare le correlazioni degli indici con i termini di calcolo e tra gli indici stessi.

	1	2	3	4	5	6	7
1. Pol_Pop	1.0						
2. Pol_Pop_Dist	0.9401	1.0					
3. Pol_Pop_Dist_Log	0.9558	0.9985	1.0				
4. N° comuni	-0.4172	-0.4338	-0.4360	1.0			
5. Popolazione SLL	-0.2476	-0.2248	-0.2299	0.6323	1.0		
6. Superficie	-0.3888	-0.3960	-0.3977	0.5853	0.5107	1.0	
7. Densità popolazione	-0.0965	-0.0774	-0.0804	0.2639	0.5437	-0.0353	1.0

Tabella 2: correlazione tra indici con popolazione e caratteristiche del SLL

Come si può osservare dalla matrice di correlazione, i valori degli indici tendono a diminuire all'aumentare del numero di comuni. In particolare, vi è una correlazione moderatamente negativa in tutti e tre i casi. Questo è sicuramente dovuto alla struttura dell'indice che, tramite la media quadratica, va a penalizzare i SLL con tanti comuni. Anche la popolazione totale del SLL influenza negativamente l'indice, seppur in minor misura. La matrice, infatti, evidenzia una correlazione negativa debole per tutte e tre le varianti dell'indice, seppur leggermente maggiore per l'indice Pol_Pop. Tuttavia, il valore dell'indice è principalmente influenzato dalla distribuzione della popolazione. SLL molto popolosi, come quelli delle città metropolitane, hanno un polo dominante con una popolazione nettamente superiore rispetto a quella degli altri comuni. Di conseguenza il valore

dell'indice in questi casi risulta più basso. Contrariamente, i SLL con una popolazione complessiva più contenuta e uniformemente distribuita tra i comuni, difficilmente mostrano valori bassi dell'indice. Vi è una correlazione negativa media anche tra gli indici e la superficie di un SLL suggerendo che è più probabile avere valori bassi degli indici all'aumentare dell'estensione di un SLL. La correlazione con la densità di popolazione invece è praticamente nulla, ciò suggerisce che i valori assunti dall'indice non dipendono da come la popolazione sia distribuita sulla superficie del SLL.

Data l'assenza di correlazione con la densità di popolazione è stato ritenuto opportuno valutare la correlazione tra le tre varianti dell'indice di policentricità e la distribuzione della popolazione tra i comuni dei SLL. Questa distribuzione è stata calcolata usando l'indice di Gini.

	1	2	3	4
1. Pol_Pop	1.0			
2. Pol_Pop_Dist	0.9401	1.0		
3. Pol_Pop_Dist_Log	0.9558	0.9985	1.0	
4. Indice Gini	-0.8713	-0.8714	-0.8775	1.0

Tabella 3: correlazione tra indici con popolazione e indice di Gini

La matrice mostra una correlazione fortemente negativa tra gli indicatori di policentricità e l'indice di Gini. All'aumentare dell'asimmetria tra i comuni dello stesso SLL (in termini di popolazione), diminuisce il valore dell'indice.

5.1.3 Analisi andamento indici policentricità morfologica con popolazione

Il numero di sistemi locali di lavoro in Italia è pari a 611. I fattori che condizionano fortemente i valori dell'indice di policentricità morfologica basato sulla popolazione sono il numero di comuni presente in ogni SLL e la popolazione. Ai fini dell'analisi comparativa dei valori di policentricità tra le città italiane risulterebbe inopportuno comparare un valore di policentricità di un SLL con centinaia di comuni, con uno che ne è composto solamente da 4. Il valore ottenuto per un SLL con più di 100 comuni tenderebbe a 0, mentre per quello con un numero più contenuto si

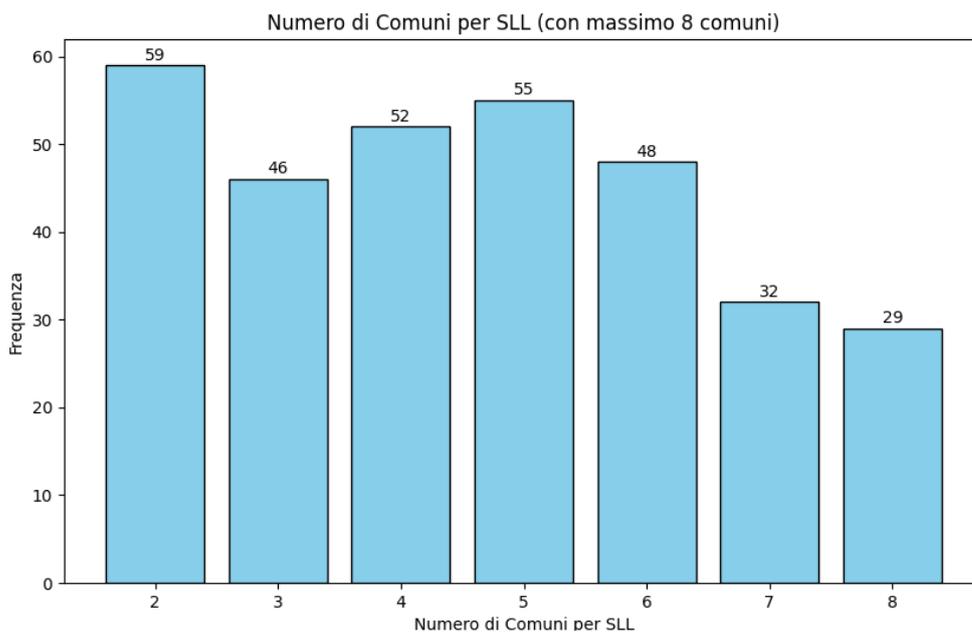


Figura 1: frequenza comuni SLL piccoli

otterrebbero dei numeri molto più alti anche in termini di grandezza. Ciò non significa necessariamente che il sistema locale in questione, con un numero elevato di comuni, non sia policentrico. Potrebbe essere opportuno valutare la policentricità confrontando tra di loro SLL con un numero di comuni simile o uguale. Osservando la distribuzione del numero di comuni

per SLL si nota come il 52,5% degli SLL ha un numero di comuni inferiore o uguale a 8 (Figura 1).

Si può notare che il numero di sistemi locali di lavoro con più di 50 comuni è pari a 18 (Figura 2). Gli SLL che si contraddistinguono per il numero più elevato di comuni sono quello di: Milano (174), Bergamo (123), Torino (112), Como (99), Roma (89), Lecco (85).

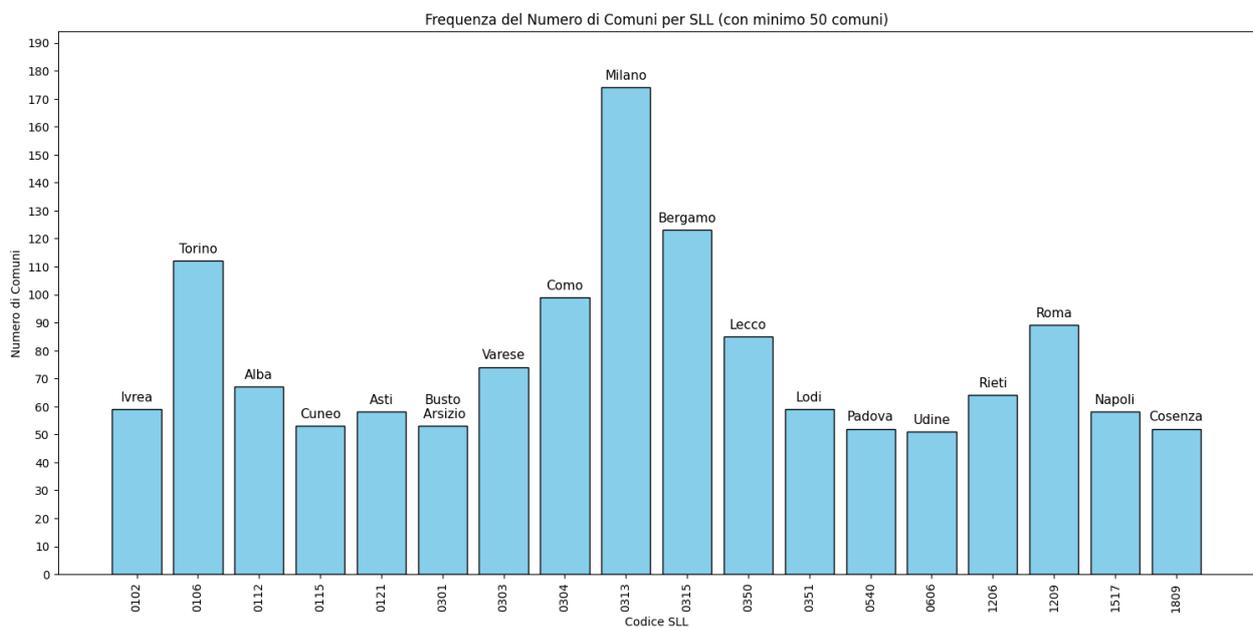


Figura 2: frequenza comuni SLL grandi

Come si può notare la distribuzione dei sistemi locali per numero di comuni non è omogenea. La mediana del numero di comuni per SLL è pari solo a 8.

Questa prima fase è necessaria per puntualizzare le differenze tra i sistemi locali di lavoro che, ai fini del calcolo dell'indice di policentricità morfologica sulla base della popolazione, risultano assai significative.

Osservando i valori degli indici per le città di Milano, Torino e Roma si possono notare importanti differenze.

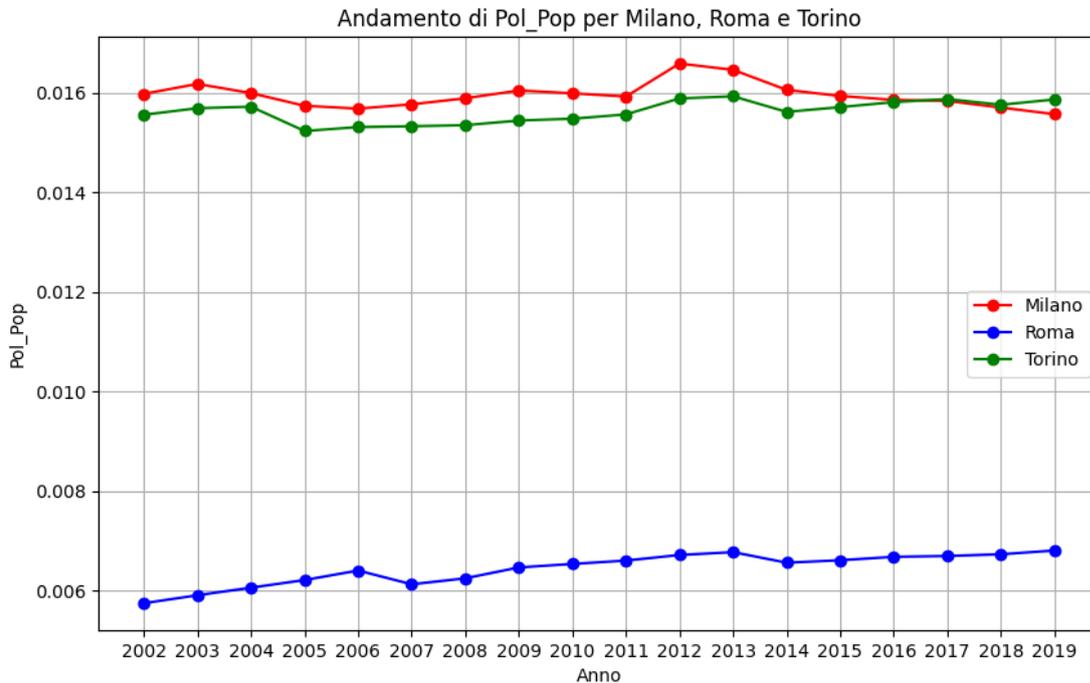


Figura 3: andamento Pol_Pop per Milano, Roma e Torino

Confrontando il grafico (Figura 3) si può osservare come i sistemi di Torino e Milano hanno registrato negli anni dei valori dell'indice Pol_Pop superiori rispetto a Roma. Il SLL di Roma è caratterizzato da 89 comuni, mentre quello di Milano ne ha quasi il doppio (174). Dalla lettura di questi dati si potrebbe supporre la monocentricità del sistema locale di Roma. Ciò è dovuto all'alta concentrazione della popolazione del sistema nella capitale che va a ridurre drasticamente il valore del numeratore dell'indice e di conseguenza riduce pure il valore di Pol_Pop.

Nell'anno 2019, il 75.3% della popolazione del SLL di Roma è concentrata nella capitale (Figura 5), mentre nel sistema locale di Milano solo il 35.1% è compresa nella città metropolitana (Figura 4).

Distribuzione della Popolazione nel SLL di Milano (2019)

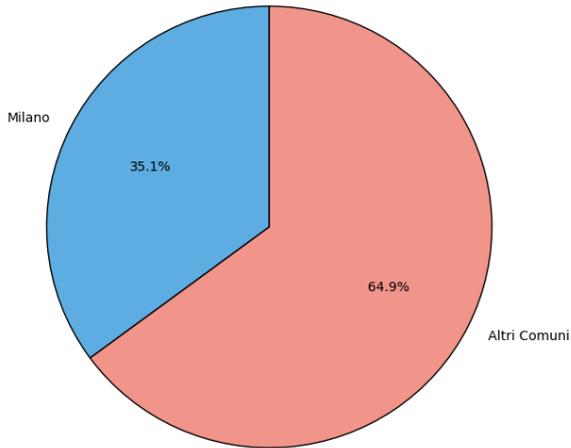


Figura 4: distribuzione popolazione Milano

Distribuzione della Popolazione nel SLL di Roma (2019)

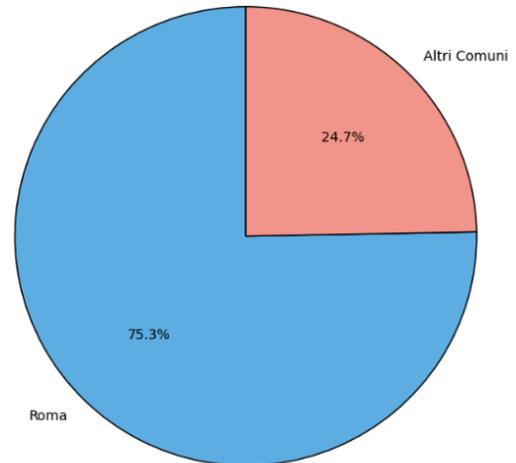


Figura 5: distribuzione popolazione Roma

Torino e Milano invece hanno dei valori più alti e molto simili tra loro, soprattutto nel caso dell'indice Pol_Pop. Tuttavia, osservando l'andamento dell'indice Pol_Pop_Dist (Figura 6) e Pol_Pop_Dist_Log (Figura 7) si nota come il fattore della distanza crei un divario tra gli SLL di Milano e Torino. Nonostante l'SLL di Milano abbia un numero di comuni considerevolmente più alto rispetto a quello di Torino, i valori di policentricità morfologica sono comunque più elevati. Ciò non vuol dire necessariamente che l'SLL di Torino tende a essere monocentrico, tuttavia, sulla base dei numeri estratti dagli indicatori è ammissibile supporre che Milano sia più policentrica rispetto a Torino.

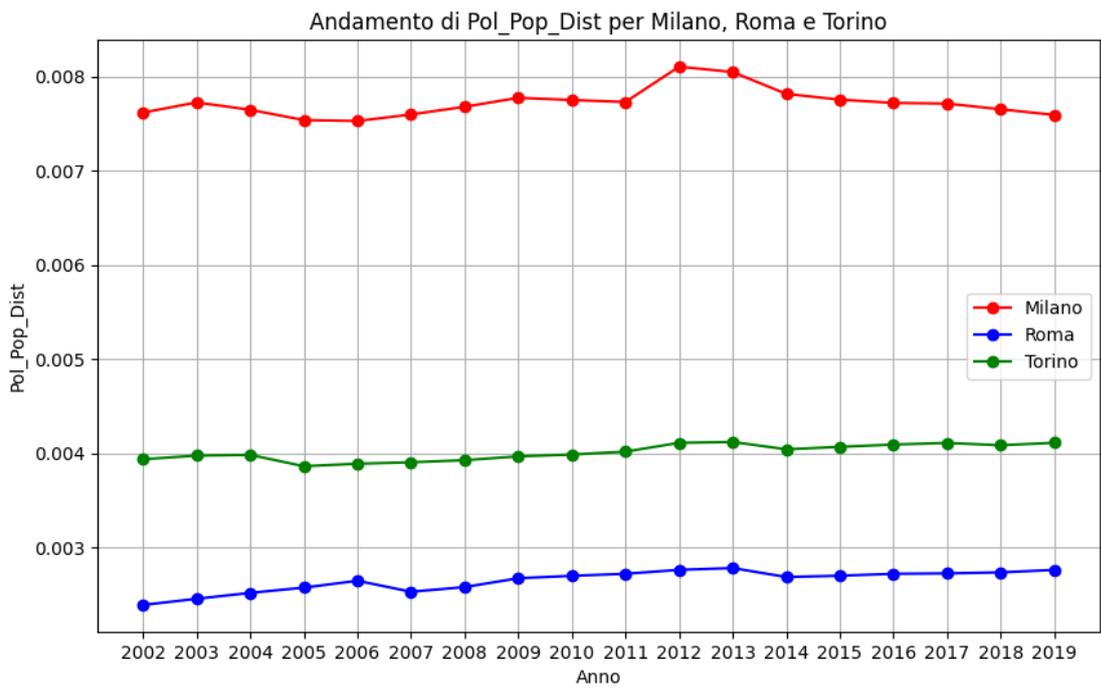


Figura 6: andamento Pol_Pop_Dist per Milano, Roma e Torino

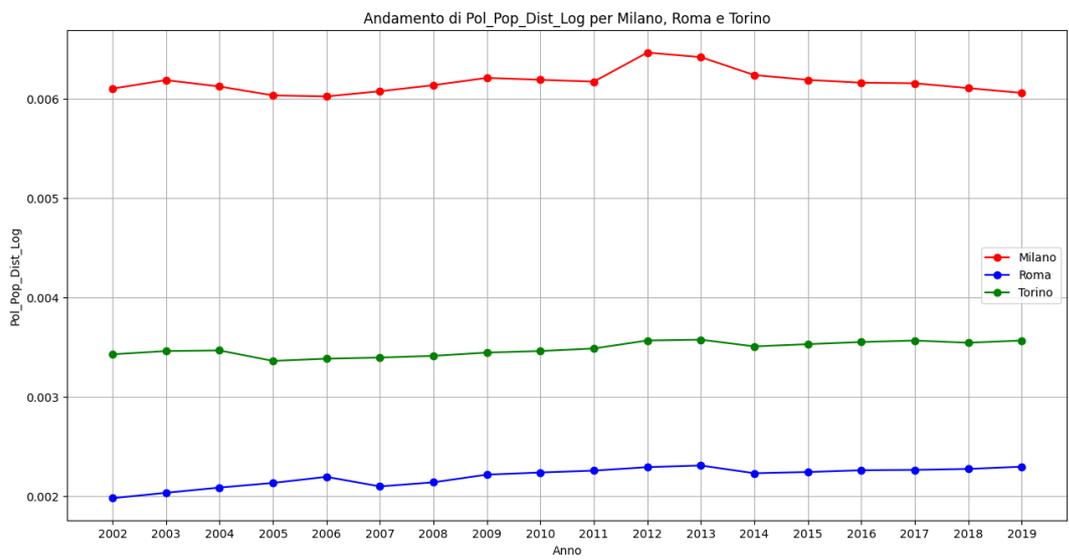


Figura 7: andamento Pol_Pop_Dist_Log per Milano, Roma e Torino

Roma rimane il sistema locale con il valore più basso registrato negli anni per tutti e tre gli indici.

Visualizzando l'andamento nel tempo di Pol_Pop_Dist includendo anche i sistemi di Lecco, Bergamo e Como, risulta evidente come i valori dell'indice aumentino al diminuire del numero di comuni presenti nel SLL (Figura 8). Si registra un trend crescente dell'indice negli ultimi anni per la città di Como (99 comuni), che sta quasi per raggiungere i valori assunti da Lecco (85 comuni).

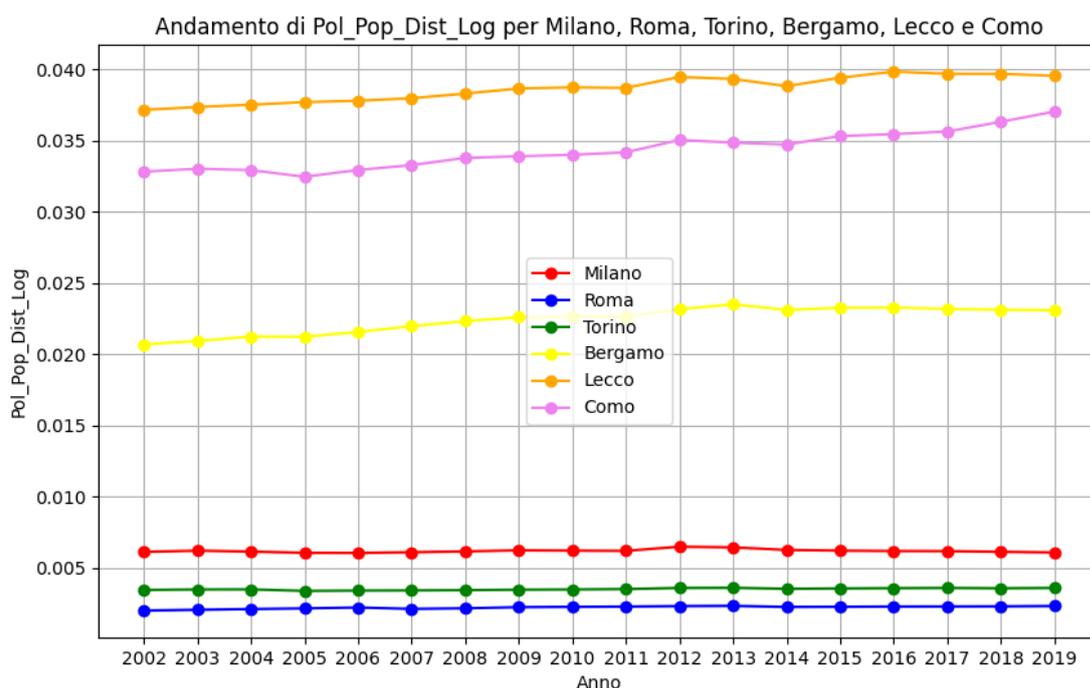


Figura 8: andamento Pol_Pop_Dist per Milano, Roma, Torino, Bergamo, Lecco e Como

5.1.4 Analisi SLL più popolosi

Sono state analizzate le variazioni percentuali, tra il 2002 e il 2019, dell'indice Pol_Pop_Dist_Log per i 10 SLL più popolosi. Il SLL di Palermo ha registrato l'incremento più elevato, pari al 28,88%, seguito da Roma (17,21%), Napoli (14,07%) e Bologna (14,07%). Il SLL che ha registrato la variazione percentuale minore tra questi è quello di Firenze con il 2,38%. Il

SLL di Milano è invece l'unico di questi dieci a registrare un decremento del valore dell'indice.

SLL	2002	2019	Variazione_%
Palermo	0.0052	0.0067	+28.88%
Roma	0.0020	0.0023	+17.21%
Napoli	0.0104	0.0119	+14.07%
Bologna	0.0129	0.0147	+14.068%
Bergamo	0.02070	0.0231	+11.89%
Bari	0.0430	0.045	+4.52%
Torino	0.00348	0.00358	+4.45%
Genova	0.0025	0.0026	+3.32%
Firenze	0.0194	0.0198	+2.39%
Milano	0.00610	0.00606	-0,71%

Tabella 4: Variazione tasso di policentricità dal 2002 al 2019

Il SLL con il valore più alto registrato per la variante Pol_Pop_Dist_Log è Bari, il più basso invece è quello di Roma.

5.2 Analisi indici policentricità funzionale

L'indice di policentricità funzionale adoperato nello studio utilizza le matrici di pendolarismo come parametro per calcolare la centralità di ogni comune italiano. Tale indice può fornire quantitativamente il numero di centri all'interno di ogni SLL. È stato ritenuto opportuno evidenziare le differenze degli effetti del pendolarismo sulla policentricità nei SLL in relazione alle macroregioni geografiche del paese. In particolare, sono state distinte tre zone: nord, centro e sud. Il numero di SLL è maggiore nel sud-Italia (46%), tuttavia l'ammontare di SLL con un numero centri maggiore di 1 è maggiore al nord-Italia.

Distribuzione dei Sistemi Locali di Lavoro (SLL) per Area Geografica

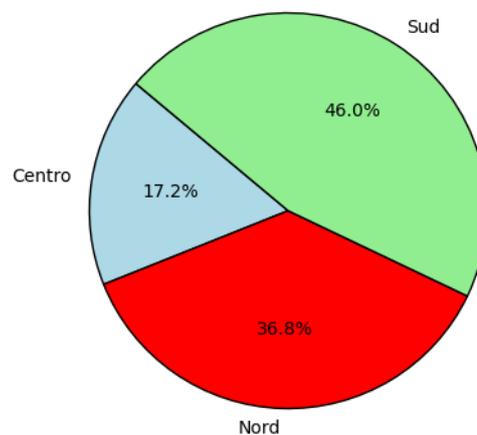


Figura 9: distribuzione SLL per area

Tuttavia, il numero di SLL che possiedono almeno un centro è in proporzione superiore al nord-Italia, dove il 95% dei sistemi locali possiede almeno un centro, una percentuale più alta rispetto al sud dove solo il 77,6% ne ha almeno uno. Dal grafico si può notare che, nonostante il numero di

SLL inferiore al nord, vi è sempre una concentrazione maggiore di SLL con almeno 1, 2, 3 o 4 centri rispetto al sud.

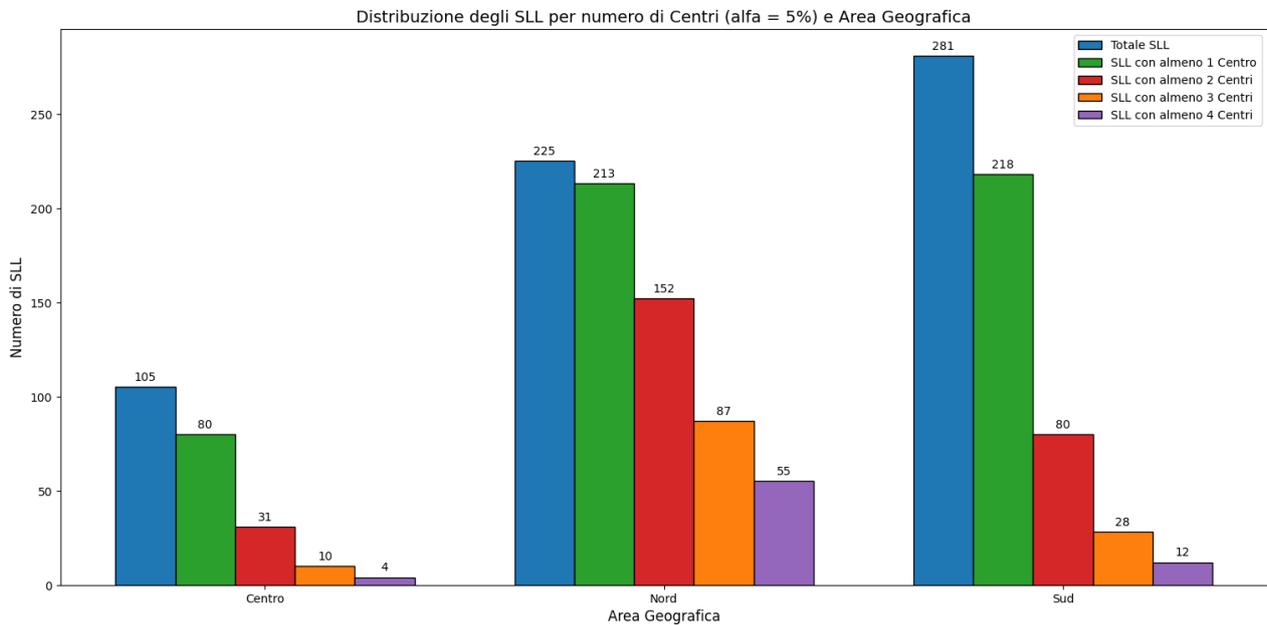


Figura 10: numero SLL-centri per area

5.2.1 Statistiche descrittive macroaree italiane

Statistiche descrittive nord-Italia

Variabile	Media	Mediana	Max	Min	Std
N° centri $\alpha = 0$	3.30	2	25	0	3.42
N° centri $\alpha = 0.1$	2.13	2	10	0	1.54
Popolazione SLL	123863.62	58847	3809565	3149	303038.29
Superficie SLL	540.54	464.19	2508.81	56.99	387.39

Tabella 5: statistiche descrittive nord-Italia

I sistemi locali del nord-Italia presentano una media di centri, con $\alpha = 0$, rilevati per ogni SLL pari a 3.3. Se messo in comparazione con i valori individuati nelle statistiche descrittive del sud (1.34) e del centro (1.33), si evince un'elevata differenza tra il numero di centri funzionali presenti al nord rispetto alle altre parti d'Italia.

Il nord possiede pure il miglior risultato per quanto riguarda il valore massimo di centri registrato con entrambe le soglie. Il massimo, con $\alpha = 0$ (25), appartiene al SLL di Milano, mentre con $\alpha = 0.1$ (10) appartiene al SLL di Busto-Arstizio.

Rispetto alle altre aree geografiche, il nord presenta la variabilità più grande sia con la soglia $\alpha = 0$ che $\alpha = 0.1$. La variabilità risulta più elevata con la soglia più bassa (3.42), mentre diminuisce con la soglia massima (1.54). Questo è sicuramente dovuto all'elevato numero di comuni che hanno un indice di policentricità positivo ma un numero totale di pendolari entranti e uscenti nettamente inferiore rispetto a quello del centro principale. Un altro motivo è sicuramente legato alla presenza di grandi poli industriali, come Milano e Torino, nei quali si concentrano maggiormente i flussi di pendolarismo.

Statistiche descrittive centro-Italia

Variabile	Media	Mediana	Max	Min	Std
N° centri $\alpha = 0$	1.33	1	6	0	1.21

N° centri $\alpha = 0.1$	1.19	1	5	0	0.99
Popolazione e SLL	113871.89	45548	3656152	3639	365247.33
Superficie SLL	552.40	444.58	3891.52	51.31	499.58

Tabella 6: statistiche descrittive centro-Italia

Il centro-Italia presenta un numero medio di centri per SLL inferiore rispetto al nord ma pressoché identico se messo a confronto con il sud. Il SLL del centro con il numero più elevato di centri è quello di Frosinone, sia con $\alpha = 0$ (6) che $\alpha = 0.1$ (5).

Statistiche descrittive sud-Italia

Variabile	Media	Mediana	Max	Min	Std
N° centri $\alpha = 0$	1.34	1	10	0	1.28
N° centri $\alpha = 0.1$	1.15	1	6	0	0.96
Popolazione SLL	74695.79	36027.50	2531913	4454	179696.45
Superficie SLL	438.69	324.62	2459.56	10.53	372.34

Tabella 7: statistiche descrittive sud-Italia

Al sud-Italia il SLL con il maggior numero di centri individuati è Napoli con $\alpha = 0$ e Sant'Angelo dei Lombardi con $\alpha = 0.1$.

Queste statistiche mostrano come la policentricità sia più accentuata al nord-Italia rispetto alle altre macroaree, probabilmente a causa di un'economia più robusta e maggiormente distribuita.

5.2.2 Analisi di correlazione centri vs superficie e popolazione

È stata condotta un'analisi di correlazione per valutare l'impatto della numerosità della popolazione e la grandezza della superficie del sistema locale in relazione al numero di centri per la soglia minima $\alpha=0$ e massima $\alpha=0.1$. Tale analisi, inizialmente, tiene in considerazione l'intero suolo italiano senza distinguere tra aree geografiche puntuali, come ad esempio: nord, centro e sud. Ovviamente il numero di centri tra le due soglie non presenta una correlazione lineare perfetta, questo è dovuto al fatto che l'introduzione della soglia agisce in maniera diversa in base al SLL in cui ci si trova. Tuttavia, la correlazione risulta abbastanza forte, questo è dovuto al fatto che nella maggior parte dei casi, l'introduzione della soglia non altera significativamente il numero di centri individuati o, laddove si riscontri una variazione, risulta per lo più minima.

Matrice correlazione Italia

	1	2	3	4
1. Numero centri $\alpha = 0$	1.0000			
2. Numero centri $\alpha = 0.1$	0.7059	1.0000		
3. Popolazione SLL	0.5189	0.1811	1.0000	

4. Superficie SLL	0.4371	0.2289	0.5116	1.0000
--------------------------	--------	--------	--------	--------

Tabella 8: matrice correlazione numero-centri e caratteristiche SLL

La correlazione individuata tra *Numero centri $\alpha=0$* e *Popolazione SLL* è pari a 0.5189, questo suggerisce che SLL con una popolazione maggiore tendono ad avere più centri, tuttavia, ci sono sicuramente altri fattori che influenzano l'analisi. La correlazione tra *Superficie SLL* e *Numero centri $\alpha=0$* evidenzia come SLL con una superficie maggiore tendono ad avere più centri. Ovviamente, in molti casi, maggiore è la superficie, maggiore sarà la possibilità di avere comuni considerabili come centri, tuttavia non è sempre necessariamente vero.

La correlazione è stata proposta anche graficamente. Dai grafici si può evincere, come vi sia visibilmente una correlazione positiva, seppur debole, tra il numero di centri con $\alpha = 0.1$ e la superficie dei sistemi locali. Tra gli outliers significativi si può notare Roma, con una superficie quasi di 4000 Km² ma con un numero di centri pari a (2) e Busto Arsizio, con una superficie prossima ai 500 Km² ma con 10 poli centrali. Per quanto

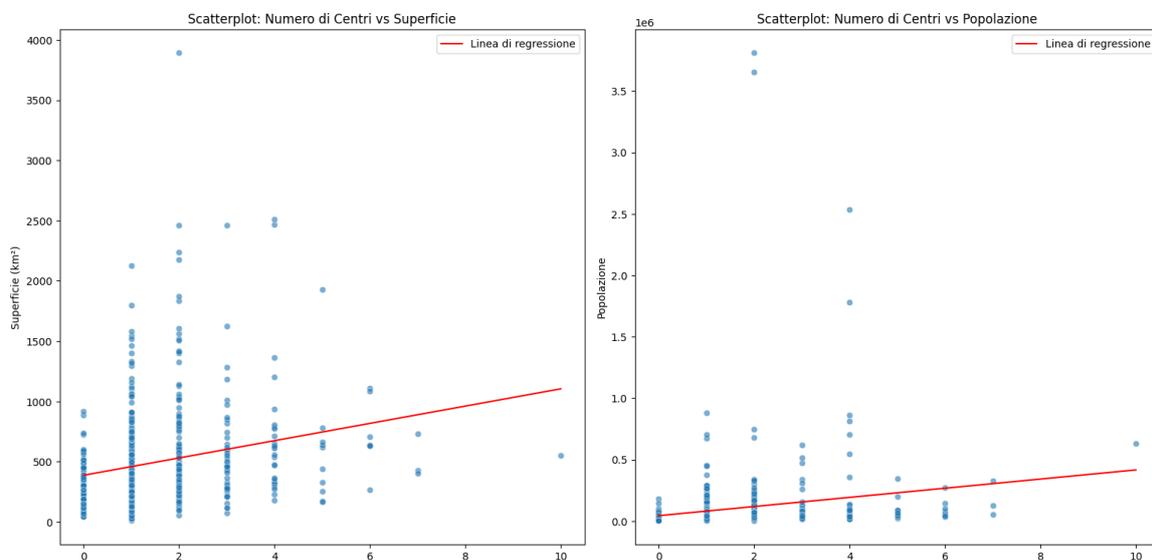


Figura 11: scatterplot numero-centri superficie e popolazione

riguarda la correlazione con la popolazione, risulta evidente come sia più debole. Con una soglia α del 10%, il numero di centri risulta meno influenzato sia dalla popolazione, sia dalla superficie del sistema locale. La correlazione rimane positiva, seppur debole. Questo sicuramente è dovuto al fatto che con la soglia più elevata molti SLL condividono lo stesso valore minimo di centri, indipendentemente dalla popolazione e dalla superficie.

È stata eseguita la stessa analisi di correlazione anche per ogni macroarea. Per quanto riguarda le differenze tra nord, centro sud, si può notare come nei SLL del centro-Italia la popolazione e il numero di centri, sia nel caso di α pari a 0 che α pari a 0.1, hanno un coefficiente di correlazione relativamente basso. Questo potrebbe essere dovuto alla presenza di SLL di grandi dimensioni ma non necessariamente con un elevato numero di centri. Roma, ad esempio, con una popolazione di 3.656.152 abitanti per $\alpha = 0$, conta 4 poli centrali, mentre Rieti con una popolazione nettamente più bassa ne conta 5. Per $\alpha = 0.1$ entrambe possiedono solo 2 comuni con $C_{t,k} > 0$.

Matrice correlazione centro

	1	2	3	4
1. Numero centri $\alpha = 0$	1.0000			
2. Numero centri $\alpha = 0.1$	0.9291	1.0000		
3. Popolazione SLL	0.3201	0.1955	1.0000	
4. Superficie SLL	0.5292	0.3817	0.7347	1.0000

Tabella 9: matrice correlazione numero-centri e caratteristiche SLL centro-Italia

I SLL del nord presentano un'elevata correlazione tra numero di centri e popolazione, ma solo nel caso di $\alpha = 0$, infatti, con la soglia massima viene registrato il coefficiente di correlazione più basso delle 3 aree. Questo sicuramente vuol dire che nonostante la grande differenza in termini di popolazione che ci può essere tra sistemi locali del nord, il numero di comuni centrali individuati per soglie alte di α tende a essere simile tra i vari SLL. Lo stesso discorso vale per la superficie che vede una correlazione lineare molto debole con il numero di centri per $\alpha = 0.1$. Basti pensare che, utilizzando la soglia più severa, SLL come Milano e Torino presentano rispettivamente 2 e 4 centri, mentre altri con una popolazione (e una superficie) nettamente inferiore ne possiedono di più, ad esempio, l'SLL di Cossato che conta circa 55000 abitanti, è caratterizzato da 7 poli centralmente funzionali.

Matrice correlazione nord

	1	2	3	4
1. Numero centri $\alpha = 0$	1.0000			
2. Numero centri $\alpha = 0.1$	0.6004	1.0000		
3. Popolazione SLL	0.6600	0.1312	1.0000	
4. Superficie SLL	0.5259	0.1396	0.5028	1.0000

Tabella 10: matrice correlazione numero-centri e caratteristiche SLL nord-Italia

La situazione per quanto riguarda la correlazione tra numero di centri, popolazione e superficie è molto simile in tutte e tre le regioni con il sud

Italia presenta dei valori in linea con quelli identificati sull'intero territorio nazionale.

Matrice correlazione sud

	1	2	3	4
1. Numero centri $\alpha = 0$	1.0000			
2. Numero centri $\alpha = 0.1$	0.8626	1.0000		
3. Popolazione SLL	0.4979	0.2465	1.0000	
4. Superficie SLL	0.4457	0.2492	0.3202	1.0000

Tabella 11: matrice correlazione numero-centri e caratteristiche SLL sud-Italia

5.2.3 Analisi di correlazione centri vs redditi

Per quanto riguarda la relazione tra il numero di centri e gli indicatori economici, è stato preso in considerazione la correlazione tra i poli centrali dei sistemi locali e due forme di reddito: il reddito medio da lavoro dipendente per persona e il reddito medio derivante da lavoro autonomo calcolato sempre per persona.

Per valutare questa correlazione, sono stati utilizzati i redditi di ogni SLL dell'anno 2012, il numero di centri calcolati invece, sono relativi all'anno 2011.

La matrice di correlazione evidenzia una correlazione moderatamente positiva tra numero di centri calcolati senza applicare la soglia $\alpha = 0$ e il reddito medio da lavoro autonomo.

Tabella correlazione Italia-Redditi

	1	2	3	4	5	6
1. N° centri $\alpha = 0$	1.0000					
2. N° centri $\alpha = 0.02$	0.9711	1.0000				
3. N° centri α = 0.05	0.8841	0.9505	1.0000			
4. N° centri α = 0.1	0.7053	0.7795	0.8740	1.0000		
5. Reddito medio da lavoro dipendente	0.2008	0.2045	0.2089	0.1685	1.0000	
6. Reddito medio da lavoro autonomo	0.4811	0.4818	0.4640	0.3893	0.5139	1.0000

Tabella 12: matrice correlazione numero-centri e redditi a livello nazionale

Con tutte e quattro le soglie, la correlazione con il reddito medio da lavoro dipendente è positiva ma debole, mentre, la correlazione con il reddito medio da lavoro autonomo è moderatamente positiva. Dal grafico risulta

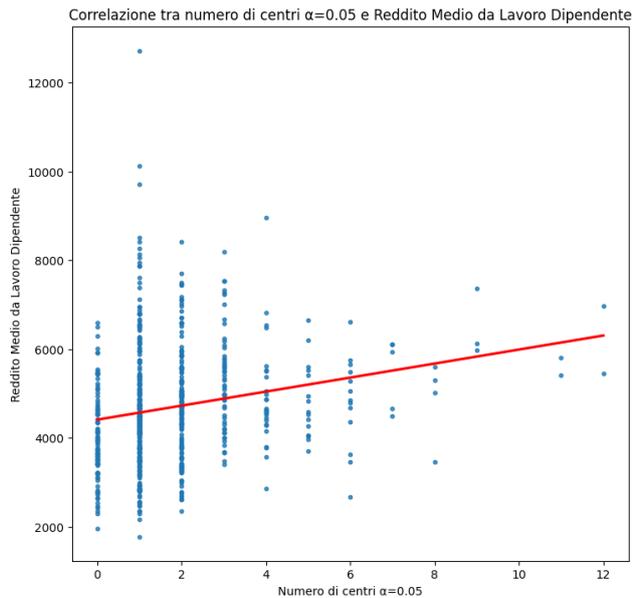


Figura 12: scatterplot numero-centri reddito dipendente

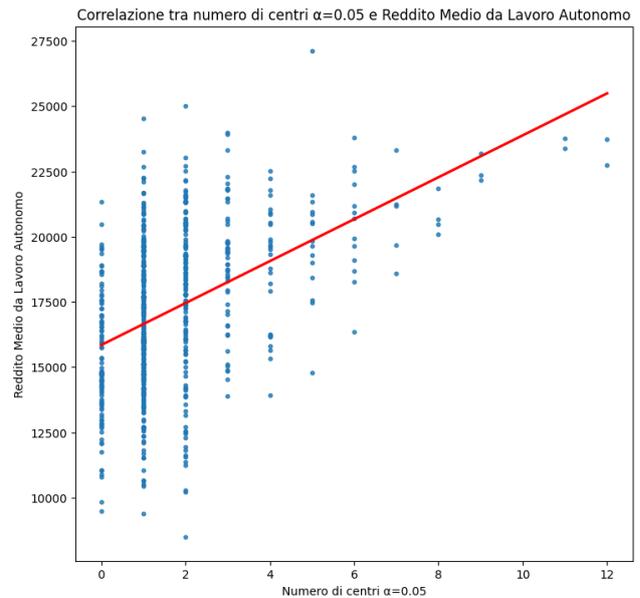


Figura 13: scatterplot numero-centri reddito autonomo

ancora più evidente la correlazione più forte tra il numero di centri con la soglia massima e il reddito medio di lavoro dipendente.

5.2.4 Analisi top 20 SLL

Adesso lo studio porrà maggiore attenzione ai sistemi locali di lavoro che possono avere un impatto maggiore sull'economia italiana utilizzando come criterio decisionale la numerosità della popolazione.

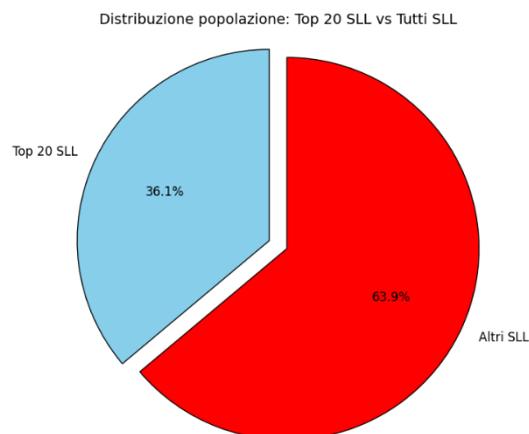


Figura 14: distribuzione popolazione top 20 SLL

La popolazione dei 20 SLL più numerosi rappresenta circa il 36% della popolazione italiana per un totale di 21.909.774 abitanti su 60.626.442. Di questi 20 SLL 11 si trovano al nord-Italia, 3 al centro mentre 6 al sud.

SLL	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.1$	N° comuni SLL
Bari	3	3	3	2	20
Bergamo	24	21	12	4	123
Bologna	12	12	12	4	40
Brescia	6	5	4	1	37
Busto Arsizio	12	12	11	10	53
Cagliari	8	7	5	3	42
Catania	2	2	2	2	22
Como	9	9	9	4	99
Firenze	4	4	4	4	18
Genova	2	2	2	1	31
Milano	25	15	5	2	174
Napoli	10	9	7	4	58
Padova	9	9	9	1	52
Palermo	2	1	1	1	18
Pomezia	1	1	1	1	13
Roma	4	4	2	2	89
Taranto	1	1	1	1	18
Torino	17	9	6	4	112
Venezia	3	3	3	3	19
Verona	3	3	3	3	23

Tabella 13: numero-centri top 20 SLL

Senza applicare alcun tipo di soglia, i SLL con il numero più elevato di centri sono quello di Milano (25), segue poi quello di Bergamo (24) poi Torino (17). Applicando le soglie, ovviamente, il numero di centri diminuisce in ogni area funzionale, ad esempio con la soglia massima vengono identificati solo due poli centrali nel SLL di Milano.

Si può notare come in alcuni sistemi locali il passaggio da una soglia all'altra non risulta così significativo in termini di perdita di comuni centrali. Un esempio può essere Busto Arsizio, che passando dalla soglia minima alla soglia massima perde solamente due centri, oppure Verona e Venezia che non ne perdono neanche uno. I motivi alla base di queste variazioni sono dovuti al pendolarismo interno al SLL, infatti, quello che si può dedurre, è che non vi siano differenze significative in termini di somma di pendolari entranti e uscenti tra un comune e l'altro rispetto al comune con la somma massima di pendolari. È interessante notare come Roma possieda un numero relativamente basso di nodi destinazione, con la soglia del 5% gli unici poli individuati sono il comune di Roma e il comune di Fiumicino, questo può suggerire che, come già dedotto nel caso della policentricità morfologica usando la popolazione, l'SLL di Roma possa essere fortemente monocentrico.

Nonostante i suoi 378.584 abitanti, Taranto è il SLL che presenta un unico centro con tutte le soglie, questo fa presumere la presenza di un grande centro dominante rispetto agli altri comuni. Busto Arsizio, considerando l'elevato numero di centri nonostante l'applicazione della soglia massima, è probabilmente il SLL dove i flussi di pendolarismo sono distribuiti in maniera più omogenea tra un comune e l'altro.

Il SLL con la maggiore variazione del numero di centri passando dalla soglia minima alla massima è Milano (-23), mentre, escludendo i SLL con meno di 4 centri, il SLL con la variazione minima è Firenze (0).

Applicando la soglia intermedia del 5%, risulta evidente e in modo più marcato la differenza tra nord e sud per quanto riguarda il numero totale di centri individuati, 76 al nord, 19 al sud, solo 7 al centro.

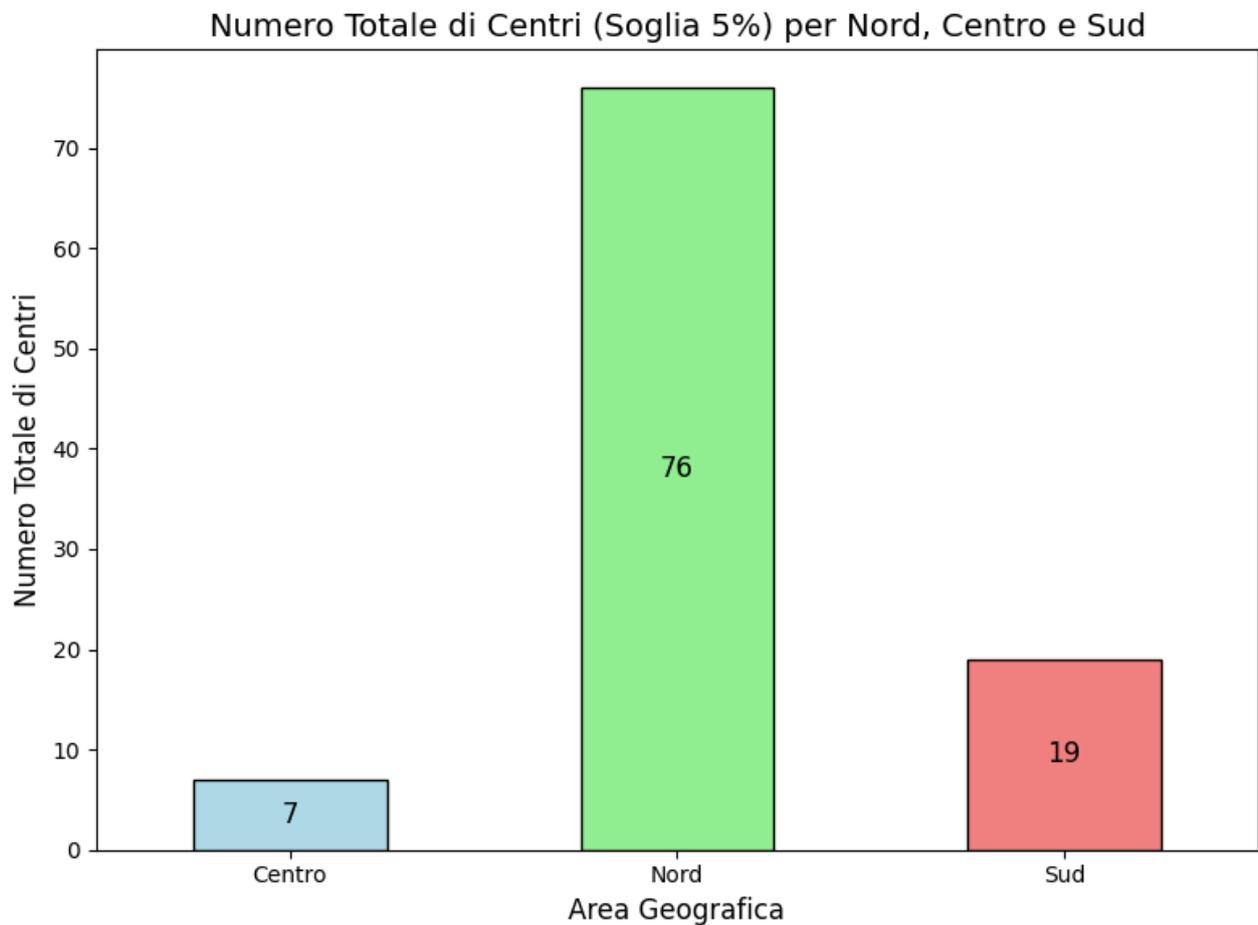


Figura 14: numero centri per macroarea

5.3 Analisi indice policentricità con luci notturne

L'indice di policentricità morfologico con le luci notturne utilizza le immagini satellitari per individuare le aree rappresentative dell'attività antropica, nel contesto dei SLL, a partire da un certo livello percentile di luminosità. A partire da questi poligoni è possibile fornire due informazioni in particolare: si può quantificare, sia il numero di poli all'interno di ogni SLL per ogni livello di percentile scelto, sia l'indice $Pol_{LuciDistLog}$ che misura il grado di policentricità di un SLL. Lo studio si concentrerà a evidenziare le differenze dei valori assunti dall'indice sul territorio italiano in relazione alle macroregioni geografiche del paese: nord, centro e sud. Diversamente dalla policentricità funzionale, adesso è possibile analizzare il trend temporale dell'indice grazie alle informazioni disponibili dal 2013 al 2023.

5.3.1 Scelta del percentile e della soglia

Come si può osservare dal seguente grafico, il numero totale di poligoni individuati assume il valore massimo usando il percentile pari a 80. In generale si può notare che per valori bassi di percentile, la somma totale dei poligoni tende ad assumere valori molto elevati. Questo è dovuto al fatto che percentili inferiori includono porzioni di area molto più ampia incrementando anche il numero di poligoni individuati. Passando da un percentile di 50 a 80 si registra un aumento dei poligoni, questo succede perché aumentando il percentile, la soglia di luminosità risulta più alta, ciò genera una frammentazione ulteriore dei poligoni precedentemente

individuati con la soglia di 50 che oltre all'essere numerosi, risultano anche molto estesi.

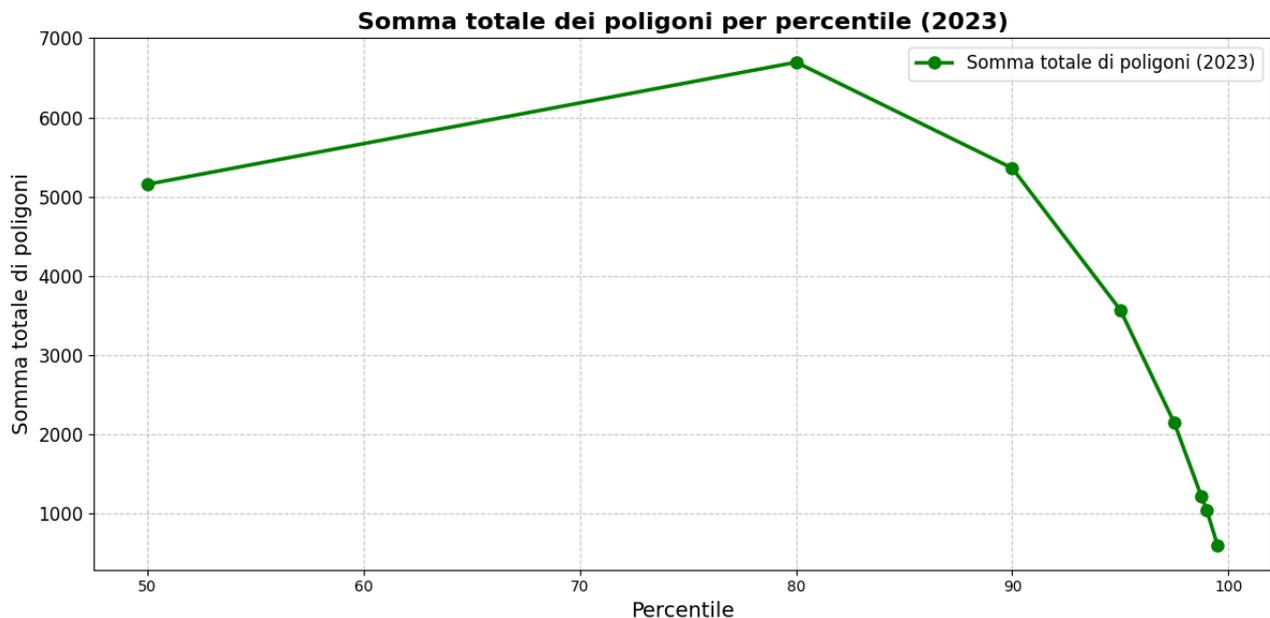


Figura 15: numero poligoni per soglia di percentile

Ai fini analitici, potrebbe risultare inopportuno analizzare i valori assunti dall'indice per livelli bassi di percentile. Ciò comporterebbe il rischio di includere un numero eccessivo di poligoni rappresentativi di zone periferiche dei SLL o di zone con una rilevanza economica e sociale non paragonabile a quella dei poli più importanti del proprio SLL. Per minimizzare questo rumore risulta sicuramente più opportuno scegliere un valore soglia di percentile superiore a 90, dove vengono messe in risalto le aree con un valore medio di intensità luminosa molto alta, presumibilmente di zone altamente urbanizzate e quindi potenzialmente dei centri principali.

Per condurre l'analisi comparativa dei valori dell'indice sul suolo italiano è stato inoltre ritenuto opportuno filtrare i dati per ridurre l'effetto distorsivo derivante dalla presenza di SLL con un'area complessiva dei poligoni molto bassa. Per come è costruito l'indice, tali SLL, fanno assumere all'indicatore

valori elevati, generando rumore. Si può notare, inoltre, che la correlazione tra il valore dell'indice e l'area totale dei poligoni del SLL sia sempre negativa, in particolare, diventa sempre più forte all'aumentare del percentile scelto per la soglia di intensità luminosa. È stato deciso dunque di applicare delle soglie che variano in base al percentile utilizzato. Per i percentili di 50, 80, 90 e 95, sono stati esclusi i SLL che possiedono un'area al di sotto del decimo percentile, per i percentili 97.5, 98.75 e 99 invece vengono scartati i SLL con un'area sotto il quindicesimo percentile. Per il percentile più elevato, ovvero 99.5, è stata scelta come soglia il ventesimo percentile. Il motivo di usare una soglia più elevata per percentili più alti è legato al maggior rumore generato proprio quando viene calcolato l'indice usando quei percentili. Il rischio è quello di includere SLL poco estesi con un valore dell'indice elevato semplicemente perché è composto da pochi poligoni di aree molto piccole ma simili tra loro.

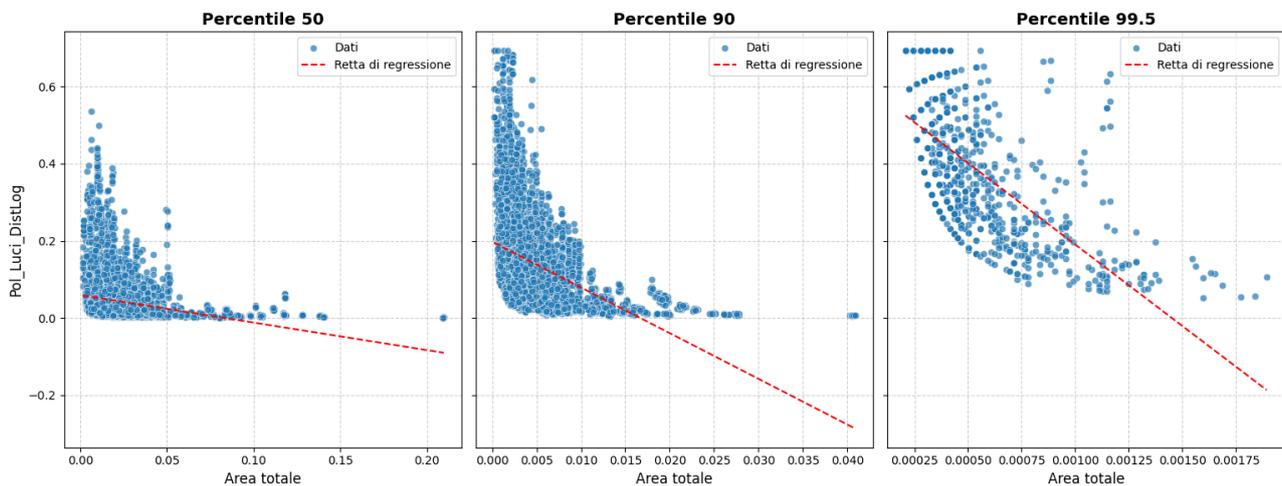


Figura 16: scatterplot valore indice *Pol_Luci* e area totale individuata

5.3.2 Analisi descrittive a livello nazionale per ogni percentile

Di seguito le analisi descrittive per ogni percentile con il dataset filtrato sulla base dell'area totale dei poligoni. L'anno di riferimento è il 2023.

Percentile	Media	Mediana	Max	Min	Std	Obs
50.00	0.0373	0.0176	0.3683	0.0012	0.0529	519
80.00	0.0791	0.0592	0.3592	0.0027	0.0678	540
90.00	0.1218	0.0966	0.5909	0.0065	0.0962	536
95.00	0.1627	0.1349	0.6238	0.0076	0.1128	517
97.50	0.2311	0.2079	0.6931	0.0168	0.1405	461
98.75	0.2997	0.2888	0.6931	0.0339	0.1537	290
99.00	0.3286	0.3266	0.6931	0.0469	0.1556	246
99.50	0.3662	0.3614	0.6931	0.0896	0.153	96

Tabella 14: Statistiche descrittive indice per percentile

I valori dell'indice registrati con il percentile di 50 sono mediamente i più bassi rispetto agli altri percentili. Questo è dovuto al fatto che più il percentile è basso, più è bassa anche la soglia di luminosità media individuata per costruire il poligono, quindi, sarà maggiore il numero di pixel presi in considerazione. I valori dell'indice tendono a essere molto bassi, perché tendenzialmente viene identificato un poligono di grandi dimensioni che domina su tutti gli altri, di conseguenza, il rapporto tra le

aree diminuisce. Aumentando il percentile, aumenta anche la frammentazione del grande poligono individuato adottando il percentile di 50, ciò contribuisce all'aumento del valore medio dell'indice. Analizzando i valori dell'indice sull'intero territorio nazionale, infatti, si osserva che la media aumenta in modo progressivo con l'incremento del percentile. Questo è attribuibile al fatto che, aumentando il percentile, i poli dominanti individuati tendono ad avere un'area inferiore, questo fa sì che il poligono del centro principale sia meno preponderante rispetto alle altre aree identificate, quindi, il rapporto tra le aree dei vari centri tende a diventare sempre più grande. Passando dal percentile di 50 a 80, il numero di SLL aumenta da 519 a 540. Tale incremento è dovuto al fatto che alcuni SLL che nel percentile di 50 presentavano un unico poligono, passando al percentile di 80 tale poligono risulta più frammentato consentendo il calcolo dell'indice. Dal percentile 80 in poi, il numero di osservazioni va a diminuire progressivamente. Il motivo è legato al fatto che aumentando il percentile vengono messe in evidenza le aree più urbanizzate che possono effettivamente essere considerate come dei potenziali centri. Solo una frazione di SLL possiede almeno due poli. Ad esempio, per l'ultima osservazione, sono stati individuati solo 96 SLL.

5.3.3 Trend temporale nazionale

Di seguito è riportata l'analisi temporale dell'andamento dell'indice di policentricità considerando interamente il territorio nazionale. Si osserva per i percentili 80, 90 e 98.75 un andamento sostanzialmente stabile nel tempo.

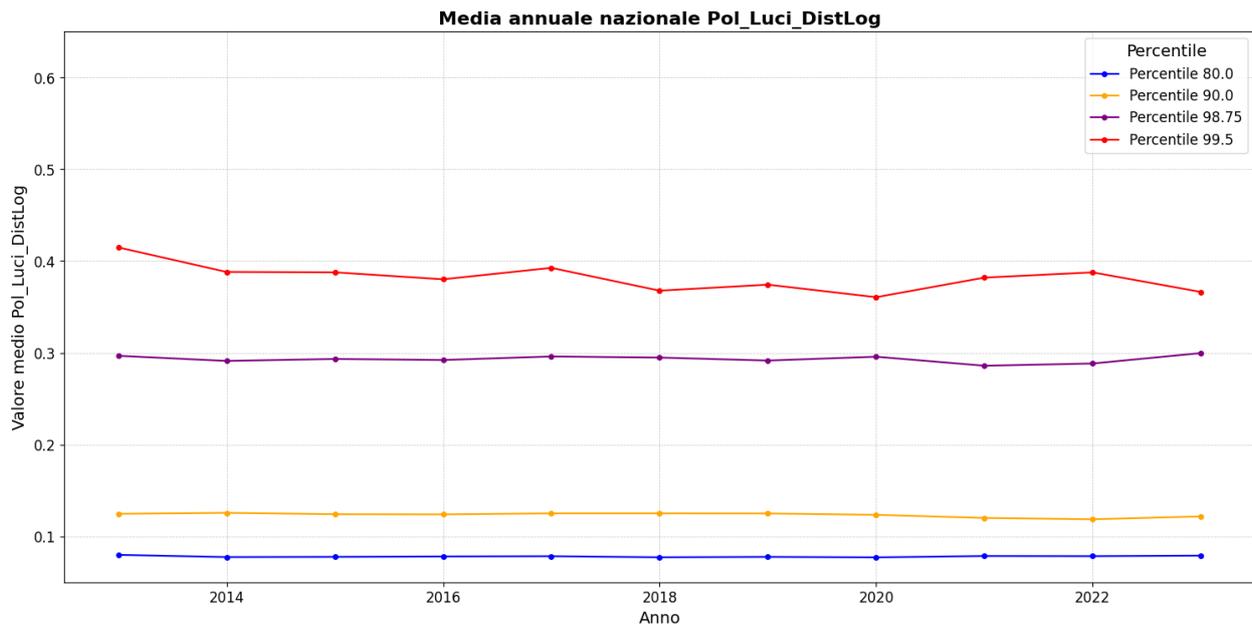


Figura 17: grafico andamento temporale indici con luci

Il percentile 99.5 (linea rossa) è quello che mostra maggiore variabilità evidenziando il picco nel 2013. A partire da quell'anno il valore medio dell'indice sembra seguire un andamento decrescente. Questa maggiore variabilità può essere riconducibile a due fattori principali. Il primo riguarda il numero di SLL osservati. Si può notare infatti che le osservazioni per il percentile 99.5 sono meno numerose rispetto a quelle degli altri percentili. Un campione così ridotto potrebbe generare maggiore variabilità. Il secondo fattore è legato ai valori assunti dall'indice per quel dato percentile. Per un percentile così alto, non è così improbabile che un SLL registri un aumento o una diminuzione brusca dell'indice, anche a distanza di poco tempo, ad esempio un anno. Ciò si può verificare ad esempio quando due poli distinti di un SLL si fondono tra loro, oppure, al contrario, quando un polo si frammenta in più poligoni. Un esempio è fornito dal SLL di Torino il cui valore dell'indice passa da 0,141 nel 2014 a 0,074 nel 2015. Tale diminuzione è dovuta all'aumento del numero di poligoni a causa della frammentazione del polo dominante. Questi eventi fanno cambiare

considerevolmente il valore dell'indice. Nei percentili più bassi questo non succede perché le variazioni d'area dei poligoni tra un anno e l'altro risultano meno rilevanti, di conseguenza, la variazione dell'indice risulta meno pronunciata.

Anno	Obs 80%ile	Obs 90%ile	Obs 98.75%ile	Obs 99.5%ile
2013	542	536	294	91
2014	541	537	292	89
2015	538	537	295	91
2016	541	538	298	86
2017	541	539	294	87
2018	540	538	285	89
2019	541	538	286	95
2020	537	539	300	96
2021	540	539	297	93
2022	540	536	290	96
2023	540	538	290	96

Tabella 15: numero osservazioni per percentile

La tabella seguente riporta i valori del tasso annuo di crescita composto per le 8 varianti dell'indice Pol_Luci_DistLog a livello nazionale. Il valore più alto si registra per Pol_Luci_DistLog_50_0 con una crescita media annuale del 0,676%, seguono Pol_Luci_DistLog_99_0 (0,280%) e Pol_Luci_DistLog_97_5 (0,240%). La variante Pol_Luci_DistLog_99_5 presenta il tasso di crescita negativo più elevato (-1,237%).

Indice di Policentricità	CAGR 2013-2023
Pol_Luci_DistLog_50_0	0.006760
Pol_Luci_DistLog_80_0	-0.001058

Pol_Luci_DistLog_90_0	-0.002300
Pol_Luci_DistLog_95_0	-0.001281
Pol_Luci_DistLog_97_5	0.002400
Pol_Luci_DistLog_98_75	0.000988
Pol_Luci_DistLog_99_0	0.002800
Pol_Luci_DistLog_99_5	-0.012367

Tabella 16: CAGR indice per ogni percentile

5.3.4 Analisi di correlazione valori nazionali

La seguente matrice di correlazione mette in evidenza la relazione tra i valori degli indici calcolati per differenti percentili, la superficie del SLL e la popolazione. L'anno di riferimento è il 2019 visto che le informazioni relative alla popolazione sono disponibili fino a quell'anno.

Dall'analisi della matrice emerge una correlazione positiva tra i valori degli indici calcolati per differenti percentili. In particolare, vi è una correlazione forte tra Pol_Luci_DistLog (99.0) e Pol_Luci_DistLog (98.75).

	1	2	3	4	5
1. Pol_Luci_DistLog (99.50)	1.000				
2. Pol_Luci_DistLog (99.00)	0.5315	1.000			
3. Pol_Luci_DistLog (98.75)	0.5433	0.8672	1.000		
4. Superficie SLL	-0.5778	-0.5365	-0.5347	1.000	

5. Popolazione SLL	-0.2637	-0.2569	-0.2466	0.5128	1.000
---------------------------	---------	---------	---------	--------	-------

Tabella 17: matrice correlazione indice e caratteristiche SLL

Per quanto riguarda invece la superficie di un sistema locale e la popolazione, entrambe mostrano una correlazione negativa con i valori dell'indice. Tuttavia, la correlazione è moderatamente negativa per la superficie mentre risulta più debole per la popolazione. Tali risultati suggeriscono che un SLL molto esteso in termini di superficie tenda ad assumere valori dell'indice relativamente bassi. Un motivo potrebbe essere dovuto al fatto che un SLL di dimensioni ridotte presenta dei poli molto vicini tra di loro, riducendo la probabilità di avere un polo estremamente distante da quello principale. Di conseguenza, la distanza normalizzata ha un peso nettamente più basso. Inoltre, i sistemi locali con una superficie elevata sono quelli che hanno un polo dominante molto esteso che sovrasta gli altri poli individuati, mentre nei SLL più piccoli il polo dominante risulta meno preponderante in termini di area rispetto agli altri.

È stato anche fatto un controllo per verificare l'esistenza di una correlazione tra la policentricità calcolata partendo dalle immagini satellitari e la sviluppabilità di un SLL. I risultati evidenziano quasi un'assenza di correlazione, in particolare vi è una leggera correlazione negativa per tutti e tre gli indici.

	1	2	3	4
1. Pol_Luci_DistLog (99.50)	1.000			
2. Pol_Luci_DistLog (99.00)	0.5315	1.000		

3. Pol_Luci_DistLog (98.75)	0.5433	0.8672	1.000	
4. Sviluppabilità SLL	-0.0736	-0.1476	-0.1803	1.000

Tabella 18: matrice correlazione indice e sviluppabilità SLL

5.3.5 Correlazione con indice di policentricità con popolazione

Dopo aver calcolato gli indici di policentricità morfologica usando la popolazione e le luci notturne è stata condotta un'analisi di correlazione per valutare come tali indici siano correlati tra di loro. L'indice di policentricità con le luci notturne è distinto nelle sue otto varianti in base al percentile utilizzato. Si può notare come la correlazione tra gli indici di policentricità con la popolazione e con le luci notturne sia sempre positiva. In particolare, la correlazione risulta moderatamente positiva nella maggior parte dei casi. Gli indici con una correlazione debole e positiva sono quelli che adottano i valori estremi di percentile, ovvero 50.0 e 99.5.

	Pol_Pop	Pol_Pop_ Dist	Pol_Pop_ Dist_Log	Pol_Luci _50_0	Pol_Luci _80_0	Pol_Luci _90_0	Pol_Luci _95_0	Pol_Luci _97_5	Pol_Luci _98_75	Pol_Luci _99_0	Pol_Luci _99_5
Pol_Pop	1.0000	0.9386	0.9546	0.2445	0.3972	0.5131	0.5618	0.5459	0.4368	0.4576	0.3368
Pol_Pop_ Dist		1.0000	0.9985	0.2590	0.4326	0.5649	0.5908	0.5484	0.4119	0.4265	0.3334
Pol_Pop_ Dist_Log			1.0000	0.2598	0.4318	0.5623	0.5911	0.5517	0.4180	0.4340	0.3343

Tabella 19: matrice correlazione indici in area geografica discreta e indici in area geografica continua

6 Analisi econometrica

In questo capitolo vengono presentati e discussi i risultati dell'analisi econometrica tra gli indici di policentricità calcolati a partire dalle luci notturne e vari indicatori economici. In particolare, vengono considerate quattro variabili di reddito: il reddito da lavoro autonomo, il reddito da lavoro dipendente, il tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo dal 2013 al 2019 e il tasso di crescita del reddito da lavoro dipendente dal 2013 al 2019.

Lo studio inizialmente esplora la correlazione tra tali indici e gli indicatori di reddito mettendo in risalto le differenze macro-geografiche sul territorio italiano attraverso la divisione dei SLL in due macroaree, nord e sud. Verranno usate anche delle variabili categoriche morfologiche e sociodemografiche come la superficie sviluppabile di un territorio e la popolazione per valutare l'effetto dell'indice separatamente per ogni categoria.

Lo studio si occupa inizialmente di valutare la relazione tra la policentricità e ciascuno degli indicatori economici, dopodiché verrà valutato l'effetto simultaneo con di più variabili, introducendo delle variabili di controllo per cercare di raffinare l'analisi.

L'indice di policentricità selezionato per tali analisi è Pol_Luci_DistLog_90 ed è stato scelto per due motivi principali: il primo è legato al numero di osservazioni. Infatti, come è stato già fatto notare precedentemente, questo indice è quello che conserva il numero di osservazioni più elevate (536), secondo solo a Pol_Luci_DistLog_80 (540). Un campione così ampio è

anche in linea con l'obiettivo dell'analisi, che non vuole concentrarsi solo sui sistemi locali più grandi, ma anche su quelli di dimensioni inferiori. Il secondo motivo è legato proprio al significato teorico del percentile che viene utilizzato. Valori troppo bassi come 50 o 80 mettono in risalto anche zone limitrofe che non danno un contributo rilevante per la crescita economica del sistema locale. Inoltre, tendono ad avere un poligono dominante che sovrasta di gran lunga gli altri poligoni individuati. Questo aspetto viene ridimensionato all'aumentare dei percentili poiché in tali casi i poligoni delle zone limitrofe non verranno più presi in considerazione, mentre sarà il poligono dominante esso stesso a frammentarsi e a mettere in luce ulteriori potenziali centri di un SLL con un valore medio di luminosità più elevato. I percentili più alti sono stati scartati perché risultano molto selettivi escludendo poli urbani secondari che potrebbero avere un ruolo significativo nel calcolo della policentricità in SLL di piccole e medie dimensioni. Il percentile 90 rappresenta un ottimo compromesso per la selezione dei poli principali e l'inclusione di centri secondari rilevanti.

6.1 Analisi descrittive indice e indicatori economici

Dall'analisi descrittiva emerge che il sud-Italia è la macrozona che possiede dei valori di policentricità più alti rispetto al nord con un valore medio di 0.1353 rispetto al 0.1084 del nord-Italia. Questo potrebbe essere dovuto alla presenza di SLL caratterizzati da centri principali più grandi e dominanti al nord rispetto a quelli del sud. La regressione quantilica evidenzia una differenza non significativa al novantacinquesimo percentile della distribuzione.

Pol_Luci_DistLog_90_0

	Media	5th Percentile	25th Percentile	50th Percentile	75th Percentile	95th Percentile
Nord	0.1084	0.0146	0.0389	0.0875	0.1394	0.2973
Sud	0.1353	0.0220	0.0623	0.1124	0.1808	0.3191
Differenza	-0.0268*** (0.002)	-0.0074* (0.0040)	-0.0234*** (0.0068)	-0.0249* (0.0095)	-0.0414** (0.0140)	-0.0218 (0.0454)

Tabella 20: descrittive differenza valori indice Pol_Luci_90 nord-sud

L'analisi sulla distribuzione del reddito da lavoro autonomo e dipendente evidenzia valori assoluti maggiori al nord-Italia.

Reddito da lavoro autonomo

	Media	5th Percentile	25th Percentile	50th Percentile	75th Percentile	95th Percentile
Nord	21002.76	17569.82	19,790.67	21,033.33	22,353.75	24,123.59
Sud	16651.96	12592.72	14,839.06	16,518.28	18,558.15	20,581.94
Differenza	4350.80*** (200.703)	4,977.10*** (480.853)	4,951.61*** (293.471)	4,515.06*** (232.642)	3,795.60*** (222.596)	3,541.64*** (380.863)

Tabella 21: descrittive differenza valori reddito da lavoro autonomo nord-sud

Reddito da lavoro dipendente

	Media	5th Percentile	25th Percentile	50th Percentile	75th Percentile	95th Percentile
Nord	1353.19	834.411	1,011.87	1,203.47	1,433.49	2,574.28
Sud	1042.18	538.957	797.74	1,008.22	1,196.32	1,718.67
Differenza	311.01*** (40.209)	295.454*** (31.204)	214.13*** (31.920)	195.25*** (30.998)	237.17*** (61.119)	855.62*** (193.459)

Tabella 22: descrittive differenza valori reddito da lavoro dipendente nord-sud

Il tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo presenta un valore medio più elevato nei sistemi locali del nord rispetto a quelli del sud con una differenza di 0.0091. In entrambi i casi il tasso medio di crescita è positivo.

Dalle analisi emerge una differenza significativa solo per il venticinquesimo e cinquantesimo percentile.

Tasso di crescita reddito da lavoro autonomo

	Media	5th Percentile	25th Percentile	50th Percentile	75th Percentile	95th Percentile
Nord	0.0373	-0.0154	0.0193	0.0378	0.0545	0.0849
Sud	0.0282	-0.0231	0.0058	0.0259	0.0496	0.0828
Differenza	0.0091*** (0.0029)	0.0077 (0.0065)	0.0135*** (0.0035)	0.0119*** (0.0037)	0.0049 (0.0040)	0.0021 (0.0090)

Tabella 23: descrittive differenza valori tasso di crescita reddito da lavoro autonomo nord-sud

Il tasso di crescita del reddito da lavoro dipendente è caratterizzato da un valore medio negativo in entrambe le macroaree. Mediamente, come si può osservare dalla tabella, dal 2013 al 2019, il reddito dipendente è diminuito in almeno il 75% dei sistemi locali sia del sud-Italia che del nord. Il valore più alto, seppur negativo, è del sud-Italia. La differenza risulta significativa per tutti i livelli di percentile utilizzati.

Tasso di crescita reddito da lavoro dipendente

	Media	5th Percentile	25th Percentile	50th Percentile	75th Percentile	95th Percentile
Nord	-0.2377	-0.5048	-0.3495	-0.2595	-0.1722	0.2133
Sud	-0.1768	-0.4451	-0.2493	-0.1632	-0.0749	0.0133
Differenza	-0.0609*** (0.0145)	0.0597*** (0.0242)	-0.1003*** (0.0222)	-0.0964*** (0.0150)	-0.0974*** (0.0145)	0.2000*** (0.0679)

Tabella 24: descrittive differenza valori tasso di crescita reddito da lavoro dipendente Nord-Sud

6.2 Regressione lineare e analisi di correlazione

Sono state condotte delle analisi per valutare la correlazione tra la policentricità e gli indicatori economici. Inizialmente è stata fatta un'analisi di regressione tra la variabile dipendente economica e la variabile indipendente dell'indice.

Il seguente grafico evidenzia due aspetti in particolare. Il primo è la differenza tra i redditi da lavoro autonomo del nord e del sud-Italia. Si può notare infatti che i SLL del nord (rossi) rispetto a quelli del sud (verdi) possiedono dei valori di reddito da lavoro autonomo superiori, ma questo si era già visto nelle descrittive riportate pocanzi. Un altro aspetto è relativo alla correlazione tra l'indice `Pol_Luci_DistLog_90_0` e il reddito da lavoro autonomo. In questo caso sia al nord che al sud la retta di regressione presenta una lieve pendenza negativa, leggermente più pronunciata al sud. Sembra che un aumento della policentricità in questo caso, sia associata a una diminuzione del reddito.

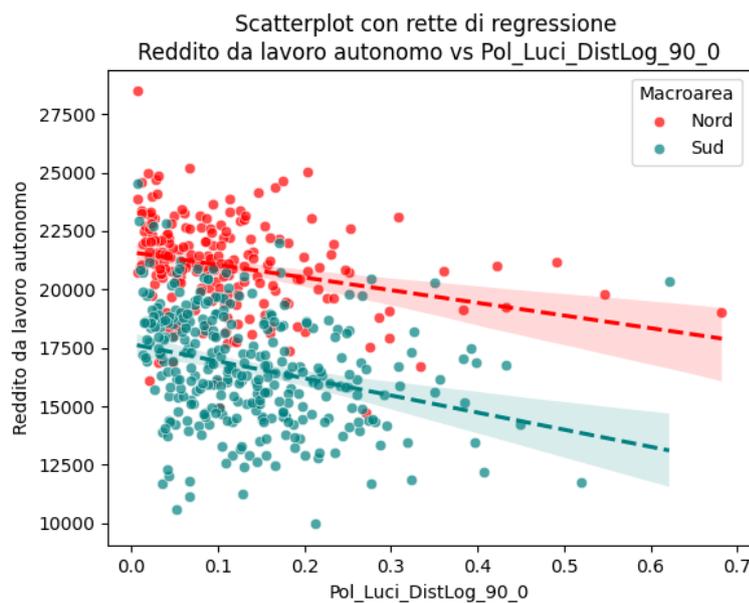


Figura 18: scatterplot reddito autonomo e indice `Pol_Luci_90`

La retta di regressione tra l'indice e il reddito da lavoro dipendente individua una leggera correlazione positiva per i SLL del nord mentre una correlazione quasi nulla, seppur leggermente negativa nei SLL del sud. Tuttavia, l'incertezza, soprattutto al nord è molto elevata. L'intervallo di confidenza aumenta all'aumentare della policentricità a causa della scarsità di informazioni e dell'elevata variabilità dei valori di reddito oltre la soglia di circa 0.3.

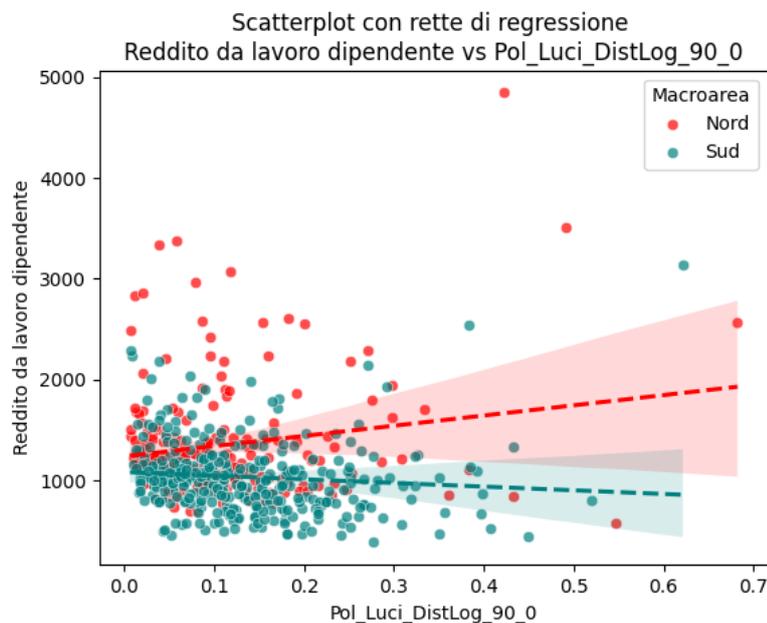


Figura 20: scatterplot reddito dipendente e indice Pol_Luci_90

I tassi di crescita, sia quello del reddito autonomo che dipendente presentano invece una correlazione positiva con gli indici di policentricità, in questo caso gli intervalli di confidenza rimangono più stretti e relativamente uniformi, tranne per valori alti di policentricità. Nel grafico relativo al tasso di crescita del reddito da lavoro dipendente si può cogliere una correlazione molto simile tra nord e sud, quindi, dalla regressione multipla per macroarea ci si può attendere che non emerga una differenza significativa tra nord e sud. L'inclinazione della retta rimane molto simile anche nel grafico del tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo.

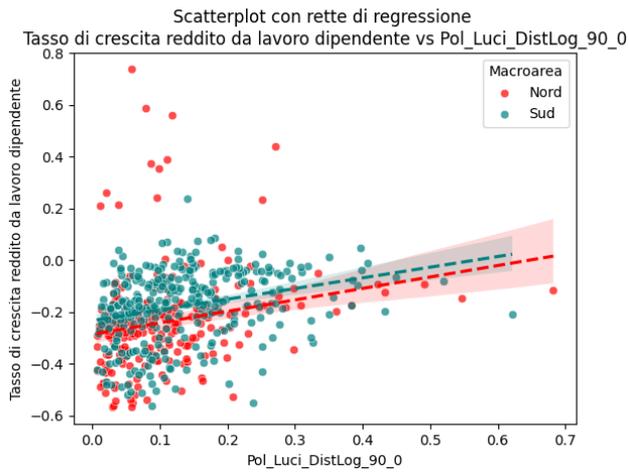


Figura 9: scatterplot tasso di crescita reddito dipendente e indice Pol_Luci_90

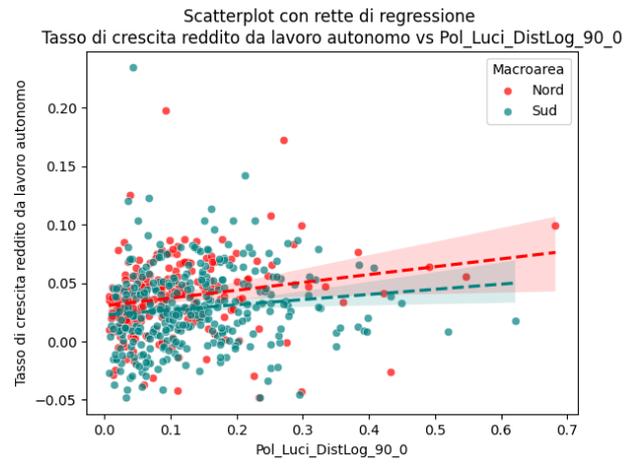


Figura 10: scatterplot tasso di crescita reddito autonomo e indice Pol_Luci_90

6.3 Variabili categoriche morfologiche e sociodemografiche

L'obiettivo dell'analisi è quello di realizzare gruppi, non necessariamente omogenei in termini di dimensione, che risultano comparabili tra loro nella valutazione dell'effetto incrociato con la policentricità. L'obiettivo, dunque, è quello di cercare di affrontare il problema derivante dall'elevata eterogeneità che caratterizza i SLL e che quindi se messi a confronto in un modello potrebbero portare a risultati poco interpretabili (ad esempio facendo interagire le variabili morfologiche o demografiche continue con l'indice). Questo problema si potrebbe ridimensionare raggruppando in gruppi i sistemi locali simili tra loro.

I criteri di divisione si sono basati su due attributi in particolare: popolazione e superficie sviluppabile. La superficie sviluppabile è divisa in 3 categorie: SLL con una superficie inferiore a 250 Km² che corrisponde un numero di osservazioni pari al sessantaquattresimo percentile,

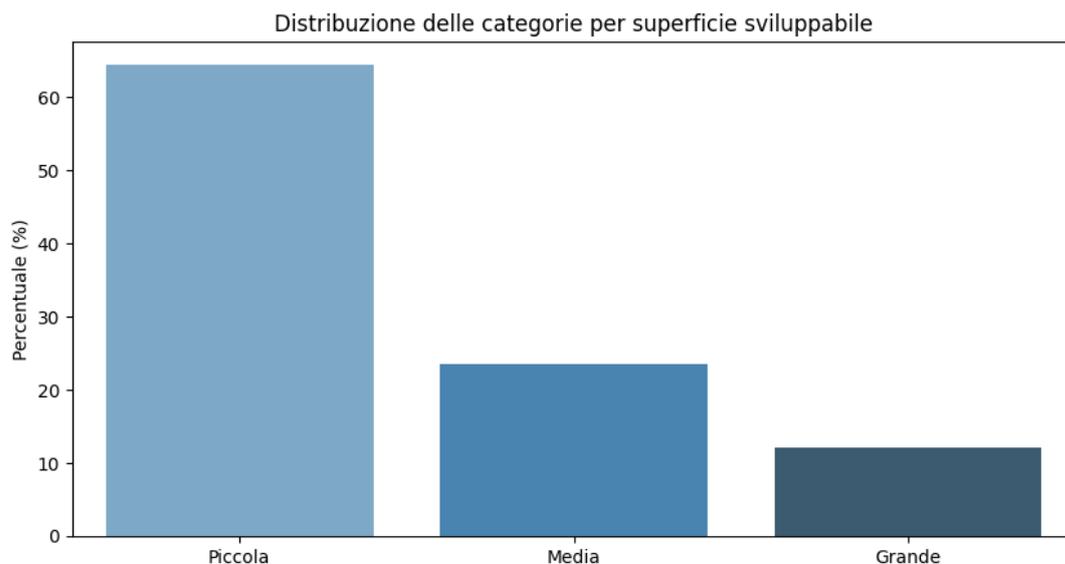


Figura 11: distribuzione osservazioni per categoria di superficie

SLL con superficie compresa tra 250 Km² e 500 Km², che corrispondono al 23% delle osservazioni e infine i SLL con un'area sviluppabile maggiore di 500 Km², con le osservazioni restanti ovvero il 13% nei quali sono inclusi SLL molto estesi come quello di Milano, Torino, Roma e Bologna.

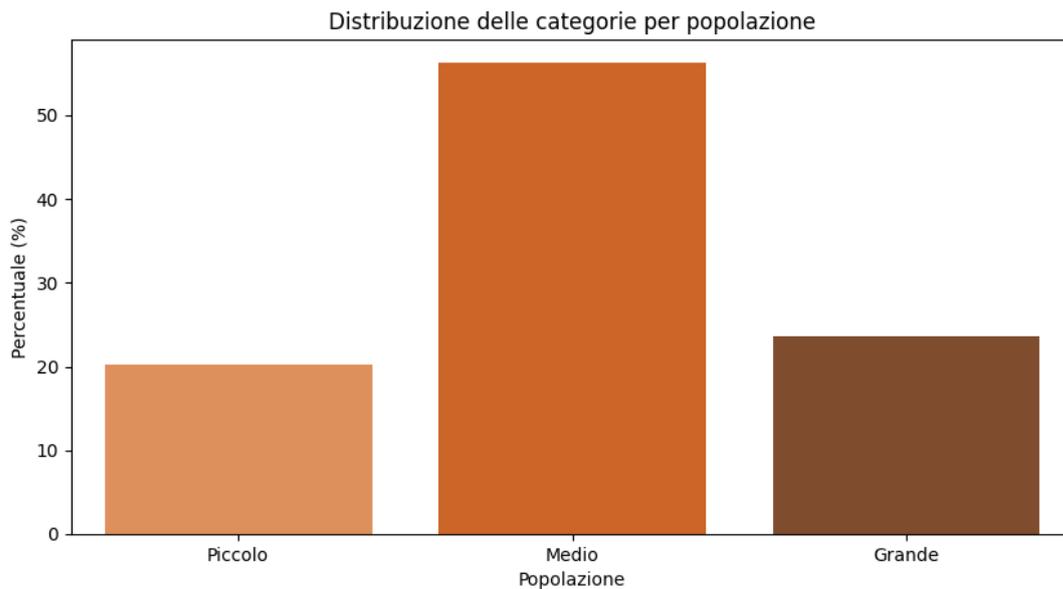


Figura 12: distribuzione osservazioni per categoria di popolazione

La popolazione invece è stata divisa in tre categorie: SLL con meno di 20000 abitanti, che contengono circa il 21% delle osservazioni, SLL con una popolazione tra i 20000 e i 100000 con il 56% delle osservazioni e quelli con più di 100000 abitanti che rappresentano il 23% dei SLL.

6.4 Analisi di correlazione e variabili di controllo

Prima di procedere con l'analisi di regressione multivariata è necessario elencare le variabili dipendenti che sono state ritenute opportune da utilizzare per cercare di migliorare la precisione dell'analisi econometrica. In particolare, sono state utilizzate variabili sociodemografiche come: il tasso degli abitanti che possono effettivamente lavorare rapportato alla popolazione totale, il tasso dei lavoratori impiegati nel settore manifatturiero rispetto ai lavoratori totali, il numero di laureati rispetto al totale della popolazione attiva e il numero di analfabeti sulla popolazione totale. La scelta è ricaduta dunque su variabili che possano dare un contributo positivo, o negativo (come il tasso di analfabetismo) per la crescita economica in ogni SLL.

Le variabili sono state normalizzate per evitare che l'analisi risulti influenzata dall'effetto della dimensione del SLL stesso. Tale effetto è presente per via dell'elevata eterogeneità tra i SLL presi in analisi, poiché tale valore tende logicamente ad aumentare all'aumentare della dimensione di un SLL. Se non venisse trattata questa eterogeneità il rischio in sostanza è che, anziché aumentare l'accuratezza della stima, il modello catturi le differenze di scala tra SLL andando a oscurare l'effetto della policentricità per poi portando a delle stime distorte del contributo di quest'ultima o a un'assenza di significatività. Questa normalizzazione, quindi, serve a garantire una maggiore comparabilità tra i SLL presi in esame.

Le variabili morfologiche utilizzate invece tengono in considerazione tramite una variabile dummy binaria se un SLL confina o meno con uno stato estero e se un SLL sia di tipo costiero o meno. È stata anche utilizzata la

svilupparabilità del territorio, usata sia singolarmente ma anche per calcolare la densità di popolazione per la superficie totale sviluppabile.

Un ulteriore effetto che il modello cerca di contenere è la reverse causality, che potrebbe presentarsi nella relazione tra la policentricità e il reddito. Tale fenomeno si verifica quando una variabile indipendente è influenzata dalla variabile dipendente. Ignorare questo rischio potrebbe portare a delle stime distorte. Nel caso in esame, lo studio si occupa di valutare l'effetto della policentricità sul reddito, tuttavia, non è da escludere la possibilità che il reddito stesso incida sulla policentricità di un SLL. Più risorse economiche, ad esempio, potrebbero favorire lo sviluppo di centri urbani e questo potrebbe portare a una variazione dell'indicatore di policentrismo. Per questo motivo vengono utilizzati i redditi relativi all'anno 2019, mentre tutte le altre variabili, compresi gli indici di policentrismo, sono relative al 2013. Usando delle variabili di controllo riferite ad anni precedenti rispetto a quella dipendente, si cerca di mitigare il rischio della reverse causality. Il reddito del 2019 infatti non può in alcun modo influenzare i valori della policentricità del 2013.

Durante l'analisi sono state considerate anche altre variabili, tuttavia, alcune sono state scartate a causa della loro elevata correlazione. Ad esempio, il tasso di laureati presenta una correlazione mediamente alta sia con il tasso di diplomati, che con il tasso degli iscritti alla scuola primaria e secondaria di primo grado. La scelta è ricaduta esclusivamente sul tasso di laureati. Un caso ancora più evidente è quello del tasso di analfabetismo e di alfabetizzazione che risultano perfettamente collineari (-1.000), essendo due variabili l'una combinazione lineare dell'altra.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(1) reddito_dip_19	1.000										
(2) reddito_aut_19	0.373	1.000									
(3) tasso_reddito_aut	-0.011	-0.060	1.000								
(4) tasso_reddito_dip	0.105	-0.411	0.158	1.000							
(5) Pol_Luci_90_0	-0.003	-0.295	0.133	0.266	1.000						
(6) sviluppabilità	-0.120	0.090	0.083	-0.253	-0.065	1.000					
(7) densità_pop_svilupp	0.278	0.253	-0.180	-0.150	-0.113	-0.253	1.000				
(8) sapopulation11	-0.209	-0.104	-0.051	0.234	0.127	-0.137	-0.083	1.000			
(9) smemployees11	-0.159	0.476	0.266	-0.334	-0.067	0.134	0.018	-0.040	1.000		
(10) stertiary11	0.269	0.371	-0.334	-0.339	-0.344	0.092	0.219	-0.202	-0.145	1.000	
(11) silliterate11	-0.462	-0.745	0.075	0.310	0.171	0.001	-0.176	0.074	-0.314	-0.206	1.000

Tabella 25: matrice correlazione variabili dipendenti e indipendenti

6.5 Modelli di regressione multipla

I modelli sotto riportati valutano la relazione tra l'indice di policentricità Pol_Luci_DistLog_90_0, che per semplicità verrà denominato Policentricità_Luci, e le variabili dipendenti del reddito e del loro tasso di crescita. I seguenti modelli riportano solo i risultati relativi alle variabili dipendenti di interesse legate alla policentricità e l'interazione con le variabili categoriche. Pur non essendo rappresentate nelle tabelle, ciascun modello contiene nell'analisi anche gli effetti delle variabili di controllo (6), (7), (8), (9), (10), (11) presenti nella matrice di correlazione.

6.5.1 Modello per reddito da lavoro autonomo

Il primo modello si pone l'obiettivo di valutare la relazione tra il reddito da lavoro autonomo e la policentricità. Il modello 1 evidenzia una chiara correlazione negativa tra la policentricità e il reddito da lavoro autonomo, indicando che un aumento della policentricità è associato a una riduzione del reddito. L'analisi distinta per macroarea (modello 5) mostra un effetto aggiuntivo negativo e significativo della policentricità al nord-Italia, mentre

al sud l'interazione non è significativa, suggerendo che l'effetto non si discosta rispetto a quello di base. Inoltre, al nord-Italia il reddito autonomo risulta mediamente più alto rispetto al sud (modello 3). L'interazione tra la policentricità e la variabile categorica della popolazione evidenzia un effetto negativo e significativo nei SLL mediamente popolosi rispetto a quelli poco popolosi. L'effetto della variabile interagita con SLL poco popolosi risulta positivo e non significativo, mentre nei SLL molto popolosi la policentricità non ha un effetto significativamente diverso rispetto a quello nei SLL poco popolosi. In generale al crescere della dimensione della popolazione aumenta significativamente il reddito da lavoro autonomo. Infine, nell'analisi che include l'estensione territoriale sviluppabile, si può vedere che in SLL poco estesi (modello 7) la policentricità ha un effetto sul reddito autonomo negativo e significativo, mentre per le altre categorie di estensione territoriale non emergono differenze significative rispetto al valore di base. Probabilmente per i lavoratori autonomi, soprattutto per chi lavora localmente, potrebbe essere preferibile una struttura monocentrica dove la domanda di beni e servizi risulta più concentrata in un unico polo piuttosto che frammentata e dispersa in più centri. Ciò spiegherebbe l'effetto negativo della policentricità riscontrato in questi modelli. Invece, dal punto di vista empirico, l'effetto negativo potrebbe essere dovuto dalla presenza di SLL con un reddito autonomo basso ma con una policentricità alta, come evidenziato dal grafico della correlazione. Questi SLL sono prevalentemente SLL di piccole dimensioni caratterizzati da pochi poli funzionali ma dimensionalmente molto simili tra loro. Tale configurazione tende a far aumentare molto il valore dell'indice, introducendo rumore nell'analisi.

Var Dip: Reddito autonomo	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5	Modello 6	Modello 7
Policentricità_Luci	-2439.04*** (775,993)	-1437.138* (777,859)	-1397.45** (655,506)	780,622 (1076,250)	-1754.98** (803,652)	-1804.186** (784,415)	-1401.212* (807,069)
SLL mediamente popoloso		378.029* (219,254)		951.421*** (326,797)			
SLL molto popoloso		1307.856*** (302,670)		1795.807*** (362,177)			
Sud			-2421.63*** (173,459)		-2488.41*** (219,804)		
SLL mediamente popoloso # Policentricità_Luci				-3503.843** (1568,558)			
SLL molto popoloso # Policentricità_Luci				-3428,460 (2485,547)			
Sud # Policentricità_Luci					605,936 (1184,373)		
SLL mediamente esteso						234,298 (169,396)	490.003** (243,668)
SLL molto esteso						927.670*** (273,287)	1192.371*** (372,903)
SLL mediamente esteso # Policentricità_Luci							-2425,609 (1754,556)
SLL molto esteso # Policentricità_Luci							-4268,406 (4273,456)
Costante	10688.226* (5528,728)	8955,058 (5453,615)	7804,929 (5087,155)	8708,540 (5496,411)	7919,631 (5060,898)	10129.198* (5389,248)	10289.529* (5560,474)
Osservazioni	536	536	536	536	536	536	536
Statistica F	164,566	139,958	240,098	119,183	218,141	140,860	125,002
Coefficiente di determinazione aggiustato	0,744	0,754	0,817	0,755	0,816	0,748	0,748

Tabella 26: modello di regressione per reddito da lavoro autonomo

6.5.2 Modello per reddito da lavoro dipendente

Il secondo modello valuta la relazione tra la policentricità e il reddito da lavoro dipendente. Il modello 1 evidenzia un contributo positivo, seppur poco significativo. Vengono riscontrati dei contributi positivi e significativi della policentricità per i SLL del nord-Italia (modello 5) mentre non sembra emergere una differenza significativa rispetto al valore di base per i SLL del sud-Italia. L'effetto positivo della policentricità sul reddito sembra essere

spiegato solo dai SLL poco popolosi, mentre per i SLL mediamente popolosi e molto popolosi non emerge un contributo significativamente diverso da quest'ultimo. Il modello con il coefficiente di determinazione più alto è il modello 5 dove la policentricità viene fatta interagire con la variabile della macrozona. Al nord-Italia l'effetto è significativo, in particolare la variazione di una deviazione standard dell'indice corrisponde a un aumento del reddito in valore assoluto di 115,5 euro. Infine, il modello che analizza la policentricità separatamente per categorie di superficie sviluppabile riporta risultati non significativi.

Il reddito da lavoro dipendente sembra beneficiare maggiormente della distribuzione spaziale dei centri urbani rispetto a quello autonomo. La necessità di spostarsi tra la propria residenza e il luogo di lavoro rende i lavoratori dipendenti più sensibili alla struttura urbana, poiché quest'ultima influisce indirettamente anche sui tempi di pendolarismo. In particolare, una conformazione policentrica potrebbe migliorare l'accessibilità al mercato del lavoro. Di conseguenza, il lavoratore non essendo vincolato a un unico polo economico per trovare l'occupazione, gode di una maggiore libertà di scelta tra più sedi occupazionali e acquisisce un maggiore potere contrattuale.

Var Dip: Reddito dipendente	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5	Modello 6	Modello 7
Policentricità_Luci	679.695* (348.864)	798.998** (343.415)	763.820** (349.793)	1148.102* (685.017)	1169.931* (634.030)	613.210* (368.805)	610,188 (409.134)
SLL mediamente popoloso		134.129** (54.770)		225.436* (121.109)			
SLL molto popoloso		138.323** (69.975)		211.723* (109.904)			
Sud			-195.585*** (173,459)		-119.735* (219,804)		

SLL mediamente popoloso # Policentricità_Luci				-559,804 (756.857)			
SLL molto popoloso # Policentricità_Luci				-488,991 (748.218)			
Sud # Policentricità_Luci					-688,262 (666.920)		
SLL mediamente esteso						-59.307* (33.792)	-69,113 (62.762)
SLL molto esteso						-69,865 (50.485)	-48,228 (68.467)
SLL mediamente esteso # Policentricità_Luci							96,32 (412.855)
SLL molto esteso # Policentricità_Luci							-373,844 (665.630)
Costante	7587.157* ** (949.351)	7451.016* ** (964.371)	7354.285* ** (940.767)	7413.858* ** (966.266)	7223.999* ** (944.806)	7582.737* ** (956.464)	7596.589* ** (952.937)
Osservazioni	536	536	536	536	536	536	536
Statistica F	36,05	31,763	34,597	26,171	32,383	29,733	25,901
Coefficiente di determinazione aggiustato	0,402	0,408	0,421	0,408	0,424	0,402	0,400

Tabella 27: modello di regressione per reddito da lavoro dipendente

6.5.3 Modello per tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo

Nel terzo modello la variabile dipendente è il tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo. Questo modello diversamente dai precedenti mostra poca robustezza, infatti la policentricità e le sue interazioni con le altre variabili risultano non significative in molti casi. Ad esempio, il modello 4 che valuta l'effetto incrociato del policentrismo con la variabile categorica della popolazione è privo di significatività. Il modello 5, che analizza l'effetto della policentricità per macrozona, mostra una relazione positiva per i SLL del nord-Italia seppur con una bassa significatività. Al sud-Italia l'effetto complessivo è poco meno minore di 0 se comparato all'effetto della policentricità al nord-Italia, tuttavia, il contributo non è significativo

suggerendo che l'effetto del policentrismo per i SLL del sud non si discosta rispetto a quelli del nord. Nello stesso modello il tasso di crescita del reddito autonomo sembra essere più basso per i SLL del sud Italia, come già si poteva intuire leggendo le descrittive. Nel modello 7 l'effetto della policentricità risulta non significativo in SLL di piccole dimensioni, tuttavia, in SLL di dimensioni medie l'effetto è mediamente significativo e positivo con un effetto aggiuntivo di 0,073 rispetto ai SLL piccoli, mentre nei SLL molto estesi la policentricità ha un impatto negativo sul tasso di crescita del reddito, con un coefficiente di 0,091. In SLL mediamente estesi un incremento di una deviazione standard dell'indice è associato a un aumento del tasso di crescita del reddito pari a 0,0072, mentre in SLL molto estesi la variazione è di -0,0089.

Complessivamente, questo modello evidenzia risultati meno robusti rispetto ai precedenti, sottolineando che una conformazione urbana policentrica non abbia una relazione significativa con il tasso di crescita del reddito da lavoro autonomo.

Var Dip: Tasso crescita reddito autonomo	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5	Modello 6	Modello 7
Policentricità_Luci	0,017 (0,018)	0,016 (0,019)	0,022 (0,017)	0,039 (0,036)	0.050* (0,028)	0,013 (0,019)	0,006 (0,021)
SLL mediamente popoloso		0,005 (0,005)		0,010 (0,008)			
SLL molto popoloso		-0,002 (0,006)		0,005 (0,009)			
Sud			-0.013*** (0,004)		-0.008* (0,005)		
SLL mediamente popoloso # Policentricità_Luci				-0,033 (0,042)			
SLL molto popoloso # Policentricità_Luci				-0,057 (0,046)			

Sud # Policentricità_Luci					-0,047 (0,033)		
SLL mediamente esteso						-0,003 (0,003)	-0.011** (0,005)
SLL molto esteso						-0,005 (0,004)	0,000 (0,006)
SLL mediamente esteso # Policentricità_Luci							0.073** (0,036)
SLL molto esteso # Policentricità_Luci							-0.091* (0,054)
Costante	0.328** (0,131)	0.333** (0,132)	0.312** (0,128)	0.330** (0,131)	0.303** (0,126)	0.328** (0,131)	0.332** (0,133)
Osservazioni	536	536	536	536	536	536	536
Statistica F	25,747	22,129	26,369	18,972	23,696	21,159	18,347
Coefficiente di determinazione aggiustato	0,183	0,186	0,199	0,185	0,202	0,181	0,185

Tabella 28: modello di regressione per tasso di crescita reddito da lavoro autonomo

6.5.4 Modello per tasso di crescita del reddito da lavoro dipendente

Il quarto modello analizza la relazione tra la policentricità con la variabile dipendente relativa al tasso di crescita del reddito da lavoro dipendente. La suddivisione per macroarea evidenzia un contributo significativo dell'indice nei SLL del nord. In particolare, la variazione di una deviazione standard dell'indice è associata a un incremento del tasso di crescita pari a 0,0176. Nei SLL del sud l'effetto aggiuntivo calcolato dal modello è negativo ma privo di significatività. In SLL mediamente popolosi il contributo aggiuntivo della policentricità è positivo e poco significativo mentre in SLL poco popolosi l'effetto non è significativo. Il contributo addizionale della policentricità è ancora più elevato nei SLL molto popolosi, tuttavia appare privo di significatività statistica. In sostanza, sembrerebbe che l'effetto del policentrismo sia guidato dai SLL mediamente popolosi. Si potrebbe dire quindi che l'indice potrebbe funzionare meglio nei SLL di medie dimensioni, mentre per quelli poco o tanto popolosi l'indicatore risulta

distorto. Nella divisione in categorie di superficie sviluppabile totale il tasso di crescita diminuisce all'aumentare della categoria di superficie sviluppabile. Tuttavia, nel modello 7 si può notare come l'effetto aggiuntivo della policentricità in SLL molto estesi (+0,587), sia maggiore rispetto a quello di base (0,129), suggerendo che, in relazione al tasso di crescita del reddito dipendente, la policentricità potrebbe avere un impatto più rilevante in SLL di grandi dimensioni. Entrambi i contributi risultano mediamente significativi.

Var Dip: Tasso crescita reddito dipendente	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5	Modello 6	Modello 7
Policentricità_Luci	0.173*** (0.053)	0.154*** (0.058)	0.171*** (0.053)	0,011 (0.081)	0.179* (0.097)	0.169*** (0.057)	0.129** (0.064)
SLL mediamente popoloso		-0,020 (0.019)		-0.056* (0.032)			
SLL molto popoloso		-0,022 (0.024)		-0.055* (0.033)			
Sud			0,004 (0.017)		0,005 (0.023)		
SLL mediamente popoloso # Policentricità_Luci				0.222* (0.119)			
SLL molto popoloso # Policentricità_Luci				0,251 (0.186)			
Sud # Policentricità_Luci					-0,012 (0.112)		
SLL mediamente esteso						-0,003 (0.014)	-0,026 (0.022)
SLL molto esteso						-0,005 (0.022)	-0,04 (0.029)
SLL mediamente esteso # Policentricità_Luci							0,21 (0.128)
SLL molto esteso # Policentricità_Luci							0.587** (0.241)
Costante	-1.400*** (0.397)	-1.378*** (0.398)	-1.396*** (0.397)	-1.361*** (0.394)	-1.398*** (0.397)	-1.400*** (0.399)	-1.422*** (0.397)
Osservazioni	536	536	536	536	536	536	536
Statistica F	53,152	43,062	48,196	38,039	44,931	43,301	36,626

Coefficiente di determinazione aggiustato	0,343	0,347	0,347	0,348	0,346	0,346	0,348
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabella 29: modello di regressione per tasso di crescita reddito da lavoro dipendente

7 Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha esposto una serie di metodi per misurare la policentricità considerando tre approcci di calcolo distinti, il primo con la popolazione, il secondo usando la matrice di pendolarismo e infine le luci notturne. Ogni metodo presenta dei punti di forza e dei limiti. L'indicatore di policentricità basato sulla popolazione presenta il limite di essere fortemente condizionato dal numero di comuni presenti nel SLL. Nei contesti in cui è presente una città metropolitana, il valore dell'indice risulta molto basso e poco comparabile con quello di altri sistemi. Inoltre, questo indice è fortemente correlato con il coefficiente di Gini della distribuzione della popolazione, suggerendo che aree con una distribuzione della popolazione più omogenea tendono a mostrare una maggiore policentricità. Tale misura adotta un approccio discreto, ignorando la componente funzionale della policentricità, che invece viene considerata quando vengono usati i flussi di pendolarismo. I risultati relativi alla policentricità funzionale mostrano delle correlazioni positive tra il numero di poli funzionali per SLL e il reddito, sia da lavoro autonomo che dipendente. Un numero maggiore di centri corrisponde a un valore di reddito assoluto maggiore, suggerendo che una distribuzione più frammentata delle opportunità lavorative ha effetti positivi sull'economia locale. La policentricità calcolata dalle luci notturne consente di superare alcune criticità filtrando le aree prive di rilevante attività antropica. Questo approccio, che diversamente dalla policentricità calcolata con la popolazione, opera in un contesto continuo, consente di catturare con maggiore precisione le zone dove sono maggiormente concentrate le

dinamiche economiche. L'utilizzo delle luci notturne risulta quindi il metodo più raffinato perché a partire dall'effettiva attività antropica riesce a catturare la dimensione dei poli di interesse e contemporaneamente scarta le aree poco rilevanti ai fini analitici.

L'analisi ha evidenziato differenze significative nell'influenza della policentricità sui due diversi tipi di reddito presi in considerazione: il reddito da lavoro autonomo e il reddito da lavoro dipendente. Il reddito da lavoro dipendente risulta maggiormente e positivamente influenzato dalla distribuzione spaziale dei centri urbani. I lavoratori dipendenti, rispetto ai lavoratori autonomi, salvo eccezioni legate allo smart working, sono vincolati a orari specifici e nella maggior parte dei casi devono spostarsi tra il luogo di residenza e il posto di lavoro. In un contesto policentrico la presenza di più poli economici riduce i tempi legati al pendolarismo e migliora l'accessibilità nel mercato del lavoro, aumentando sia la concorrenza tra le imprese locali, che l'opportunità di impiego e quindi la possibilità di ottenere dei salari più elevati. La presenza di alternative occupazionali distribuite su più poli permette ai lavoratori dipendenti di godere di un maggiore potere contrattuale.

Al contrario, il reddito da lavoro autonomo risente meno dell'organizzazione spaziale delle opportunità economiche. I lavoratori autonomi hanno maggiore flessibilità negli spostamenti e in alcuni casi possono anche lavorare da remoto, riducendo la dipendenza dalla struttura policentrica del territorio. Nonostante venga riscontrata, seppur in pochi casi, un'associazione positiva tra la policentricità e il tasso di crescita del reddito autonomo, tale relazione risulta meno robusta rispetto a quello che

si è osservato per il reddito da lavoro dipendente. La relazione negativa potrebbe essere spiegata con una tendenza da parte del lavoratore autonomo, soprattutto per chi lavora localmente, nel preferire una struttura monocentrica dove la domanda di beni e servizi risulta più concentrata in un unico polo piuttosto che frammentata e dispersa in più centri.

In conclusione, si può affermare che l'effetto della policentricità varia notevolmente in base alla tipologia di reddito che si sta considerando. I risultati mostrano una correlazione positiva tra il reddito da lavoro dipendente in valore assoluto e il tasso di crescita di quest'ultimo. È logico pensare che una maggiore policentricità corrisponda a una distribuzione maggiore delle opportunità lavorative, il lavoratore dipendente sotto questo punto di vista, trae vantaggio dalla migliore connessione che la policentricità genera tra le imprese e i lavoratori. In un SLL monocentrico la concentrazione delle risorse economiche e lavorative in un unico centro può risultare scomodo per chi risiede, ad esempio, in aree periferiche, aumentando i costi di trasporto e riducendo la flessibilità nella ricerca di un impiego. Viceversa, una distribuzione più orientata al policentrismo permette al lavoratore dipendente di accedere a offerte lavorative in centri secondari favorendo una maggiore accessibilità e riducendo i costi legati allo spostamento.

Le analisi condotte potrebbero essere perfezionate intervenendo direttamente sull'indicatore di policentricità utilizzato. Nel caso in esame per condurre l'analisi econometrica, è stato adottato l'indice che usa il novantesimo percentile, tuttavia, per ottenere dei risultati più accurati è consigliabile utilizzare delle soglie più elevate, come ad esempio 99 o 99.5

percentile. Il motivo per cui lo studio non si è spinto oltre è che, incrementando la soglia, il numero di osservazioni diminuirebbe considerevolmente, rischiando di compromettere la robustezza dei risultati. Per mitigare questo problema, una possibile strategia potrebbe prevedere l'ampliamento del dataset iniziale estendendo lo studio con l'inclusione di SLL di altri paesi europei in modo tale da aumentare la numerosità del campione e l'affidabilità dei modelli. Un'altra soluzione potrebbe prevedere l'uso di una policentricità dinamica calibrata sulla base delle caratteristiche dimensionali di ogni sistema locale. Data l'elevata eterogeneità tra i SLL italiani, si potrebbe anche pensare ad esempio di usare una policentricità con una soglia più alta per i SLL più estesi o più popolosi, mentre usare indici meno severi per SLL di dimensioni medie e inferiori. Adattare la misura della policentricità in base alle caratteristiche territoriali potrebbe ridurre il rischio di ottenere risultati distorti.

8 Bibliografia

Henderson et al. (2012). Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. American economic review, 102(2), 994-1028.

Ebener et al (2005) Ebener, S., Murray, C., Tandon, A., & Elvidge, C. C. (2005). From wealth to health: modelling the distribution of income per capita at the sub-national level using night-time light imagery. international Journal of health geographics, 4, 1-17.

Bickenbach (2016) Bickenbach, F., Bode, E., Nunnenkamp, P., & Söder, M. (2016). Night lights and regional GDP. Review of World Economics, 152, 425-447.

Lee (2018) Lee, Y. S. (2018). International isolation and regional inequality: Evidence from sanctions on North Korea. Journal of Urban Economics, 103, 34-51.

Kim et al. (2023) Kim, J., Kim, K., Park, S., & Sun, C. (2023). The economic costs of trade sanctions: Evidence from North Korea. Journal of International Economics, 145, 103813.

Gibson (2020) Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Which night lights data should we use in economics, and where?. Journal of Development Economics, 149, 102602.

Roberts (2021) Roberts, M. (2021). Tracking economic activity in response to the COVID-19 crisis using nighttime lights—The case of Morocco. Development Engineering, 6, 100067.

Zhang et al Zhang, T., Sun, B., & Li, W. (2017). The economic performance of urban structure: From the perspective of Polycentricity and Monocentricity. *Cities*, 68, 18-24.

Yang (2021) Yang, Z., Chen, Y., Guo, G., Zheng, Z., & Wu, Z. (2021). Using nighttime light data to identify the structure of polycentric cities and evaluate urban centers. *Science of the Total Environment*, 780, 146586.

Ma et al Ma, M., Lang, Q., Yang, H., Shi, K., & Ge, W. (2020). Identification of polycentric cities in China based on NPP-VIIRS nighttime light data. *Remote Sensing*, 12(19), 3248.

Ciraci Ciraci, H., & Kundak, S. (2000). Changing urban pattern of Istanbul; From monocentric to polycentric structure.

Maijers e Burger (2010) Meijers, E. J., & Burger, M. J. (2010). Spatial structure and productivity in US metropolitan areas. *Environment and planning A*, 42(6), 1383-1402.

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

Sarkar, S., Wu, H., & Levinson, D. M. (2020). Measuring polycentricity via network flows, spatial interaction and percolation. *Urban Studies*, 57(12), 2402-2422.

Angel et al. (2018) Angel, S., Franco, S. A., Liu, Y., Blei, A. M., & Zhang, X. (2018). The shape compactness of urban extents. In *Working Paper WP18SA1*. Lincoln Institute of Land Policy.

Angel et al. (2010) Angel, S., Parent, J., & Civco, D. L. (2010). Ten compactness properties of circles: measuring shape in geography. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 54(4), 441-461.

Li & Liu (2018) Li, Y., & Liu, X. (2018). How did urban polycentricity and dispersion affect economic productivity? A case study of 306 Chinese cities. *Landscape and Urban Planning*, 173, 51-59.

Harari (2020) Harari, M. (2020). Cities in bad shape: Urban geometry in India. *American Economic Review*, 110(8), 2377-2421.

Angel et al. (2020) Angel, S., Franco, S. A., Liu, Y., & Blei, A. M. (2020). The shape compactness of urban footprints. *Progress in Planning*, 139, 100429.