

# Rapporto di Ricerca

---

Progetto INDICARE (INDIcizzazione delle Criticità Ambientali Regionali), sottoscritto tramite convenzione siglata il 12 dicembre 2017 tra FARBAS e SI-UNIBAS

---

Questo rapporto illustra la ricerca sviluppata nell'ambito del Progetto INDICARE (INDIcizzazione delle Criticità Ambientali Regionali), sottoscritto tramite convenzione siglata il 12 dicembre 2017 tra FARBAS e SI-UNIBAS. Esso è diviso in due sezioni: la prima descrive la ricerca che si riferisce all'Art. 3, comma 2.a della Convenzione il cui Responsabile Scientifico è il Prof. Guido Masiello e La seconda descrive la ricerca che si riferisce all'Art. 3, comma 2.c della Convenzione il cui Responsabile Scientifico è il Prof. Francesco Scorza

Rapporto di Ricerca

Progetto INDICARE (INDIcizzazione delle Criticità Ambientali Regionali), sottoscritto tramite convenzione siglata il 12 dicembre 2017 tra FARBAS e SIUNIBAS (Art. 3, comma 2.a) *Responsabile Scientifico: Prof. Guido Masiello*

# Potenziamento di una piattaforma osservativa satellitare per analisi di qualità dell'aria sulla Basilicata e distretti limitrofi, insieme a dati ancillari relativi a parametri meteorologici.

---

*Gruppo di Lavoro AS SI-UNIBAS:*

*Prof. Guido Masiello(P.I.)*

*Prof. Carmine Serio*

*Dott. Sara Venafra*

*Dott. Angela Cersosimo*

## Sommario

Premessa .....	5
Rendicontazione Scientifica.....	5
Dati di natura meteorologica desunti direttamente dalle analisi dell'ECMWF.....	6
Dati derivati dai satelliti Metop ed in particolare dallo strumento IASI.....	8
Dati derivati dal satellite geostazionario METEOSAT ed in particolare dall'imager SEVIRI.....	9
Dati derivati dal satellite OMI.....	10
Dati derivati dal sensore TROPOMI .....	13
Intercorrelazione tra dati Satellitari con Stazioni a terra .....	17
Conclusioni per la parte scientifica.....	18
Disseminazione risultati del progetto .....	19
Rendicontazione economica .....	19

## Premessa

La presente relazione scientifica riguarda il punto **2.a** di cui alla convenzione FARBAS-SI-UNIBAS siglata in data 12 Dicembre 2017.

Più in dettaglio il tema della ricerca riguarda:

- la raccolta dati e parametri per la qualità dell'aria a scala regionale; dati al suolo; dati da satellite; per i dati dal suolo si utilizzerà la struttura esistente regionale di misurazione dei parametri ed eventuali campagne di misure ad hoc; per i dati da satellite si utilizzeranno soprattutto i satelliti della NASA, serie OMI per stima di SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> al suolo, CO e CH<sub>4</sub> saranno derivati dai satelliti Metop.

## Rendicontazione Scientifica

Da un punto di vista metodologico è stata definita un'area di interesse che si estende oltre i confini della regione Basilicata al fine di analizzare eventuali apporti di inquinanti provenienti dalle regioni limitrofe e/o fenomeni di trasporto a scala del Mediterraneo. L'area di interesse individuata è riportata nella mappa di Figura 1.

Per quanto riguarda le attività messe in essere, queste hanno riguardato il

- potenziamento di una piattaforma osservativa satellitare per analisi di qualità dell'aria sulla Basilicata e distretti limitrofi, insieme a dati ancillari relativi a parametri meteorologici.

La qualità dell'aria è condizionata da emissioni ed attività antropiche che possono immettere in atmosfera gas contenenti carbonio, azoto e/o zolfo. Per la componente carbonio l'elemento più pericoloso è l'ossido di carbonio (CO), associato in generale alla combustione non completa di idrocarburi ed alla presenza di attività industriali. Il CO, a sua volta, è un proxy di black carbon ed aerosol legati al ciclo del carbonio.



**Figura 1.** Area (indicata dal rettangolo rosso) interessata dallo studio. La regione comprende per intero la Basilicata, la Campania, e la Puglia, quasi per intero il Molise e parzialmente il Lazio, l'Abruzzo e la Calabria.

Precursori dell'aerosol con componenti azotate sono invece sia l'acido nitrico HNO<sub>3</sub> che l'ammonica, NH<sub>3</sub>. L'acido nitrico è un precursore degli NO<sub>x</sub>, a loro volta prodotti da combustione di idrocarburi e/o legna. A sua volta, l'ammoniaca gioca un ruolo importante nell'atmosfera perché partecipa al ciclo dell'azoto, contribuisce alla neutralizzazione di acidi, partecipa alla formazione di particolato atmosferico, soprattutto quello con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm. Il principale ruolo giocato dall'ammonica in stato gassoso nell'atmosfera urbana o siti particolarmente inquinati è di neutralizzare sostanze acide come l'acido solforico e l'acido nitrico che sono prodotti dell'ossidazione in fase gas di SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, rispettivamente.

Pertanto, per avere un quadro completo dei precursori che contribuiscono alla formazione di aerosol fine, particolarmente pericoloso per la salute umana, è importante monitorare in modo simultaneo la presenza di CO, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, ed SO<sub>2</sub>. A completare il quadro, bisogna anche inserire l'OCS che rappresenta una delle componenti principali della componente solfata dell'aerosol.

Lo scopo del presente progetto è di produrre mappe sinottiche da satellite di SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, OCS sulla regione Basilicata ed aree limitrofe. Come già detto, l'inclusione di aree limitrofe permetterà di analizzare anche la possibilità di aerosol trasportato dalla dinamica meteorologica, piuttosto che prodotto da attività antropiche interne al distretto lucano. Per completare l'analisi si ricaverà in simultanea anche la presenza di CH<sub>4</sub>, che può essere legato al ciclo del black carbon.

Come già sottolineato all'inizio, per il progetto si è considerata l'area indicata in Figura 1. Il progetto ha definito una piattaforma osservativa, in grado di fornire mappe sia su base giornaliera che mensile, e prevede a regime la produzione con continuità temporale di informazioni sui principali precursori di aerosol fine. Il progetto ha un ruolo complementare rispetto alle osservazioni al suolo. Queste, essendo relative a punti specifici, non sono in grado di fornire la situazione globale sulla regione o distretti all'interno della regione stessa.

Per i fini del progetto si sono considerate diverse tipologie di dati, provenienti da diverse fonti e/o satelliti attualmente in orbita. Queste tipologie sono brevemente riassunte qui di seguito:

- Dati di natura meteorologica desunti direttamente dalle analisi dell'ECMWF (European Centre for medium range Weather Forecasts);
- Dati derivati dai satelliti Metop ed in particolare dallo strumento IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer);
- Dati derivati dal satellite geostazionario METEOSAT ed in particolare dall'imager SEVIRI (Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager);
- Dati derivati dallo strumento OMI (Ozone Monitoring Instrument) a bordo della piattaforma satellitare polare NASA AURA;
- Dati derivati dallo strumento TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) a bordo della piattaforma satellitare polare europea Copernicus Sentinel-5 Precursor.

### **Dati di natura meteorologica desunti direttamente dalle analisi dell'ECMWF.**

Si tratta di dati atti a caratterizzare le condizioni meteo-climatiche del territorio al fine di definire parametri quali venti prevalenti, condizioni medie di piovosità, umidità del suolo al fine di caratterizzare la potenziale vulnerabilità dell'area di interesse a fenomeni di trasporto di inquinanti.

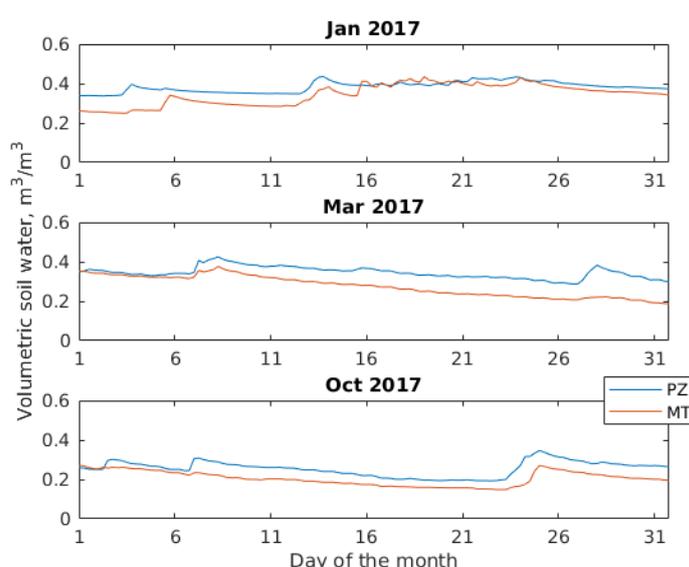
**Tabella 1.** Variabili meteorologiche e loro definizione disponibili per l'area di Fig. 1 per l'anno 2017

Variabile	Simbolo	Unità di misura	Dimensioni
<b>Temperatura</b>	T	K	47×23×137
<b>Umidità specifica</b>	q	kg/kg	47×23×137
<b>Ozono</b>	o	kg/kg	47×23×137
<b>Componete zonale del vento</b>	u	m/s	47×23×137
<b>Componente meridionale del vento</b>	v	m/s	47×23×137
<b>Componente verticale del vento</b>	w	m/s	47×23×137
<b>Vorticità relativa</b>	vo	s <sup>-1</sup>	47×23×137
<b>Pressione Superficiale</b>	sp	Pa	47×23
<b>Temperatura superficiale</b>	skt	K	47×23
<b>Temperatura a 2 metri</b>	2mt	K	47×23
<b>Temperatura di rugiada a 2 metri</b>	2md	K	47×23
<b>Umidità del suolo (soil moisture)</b>	swvl	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	47×23
<b>Precipitazioni totali</b>	tp	m	47×23

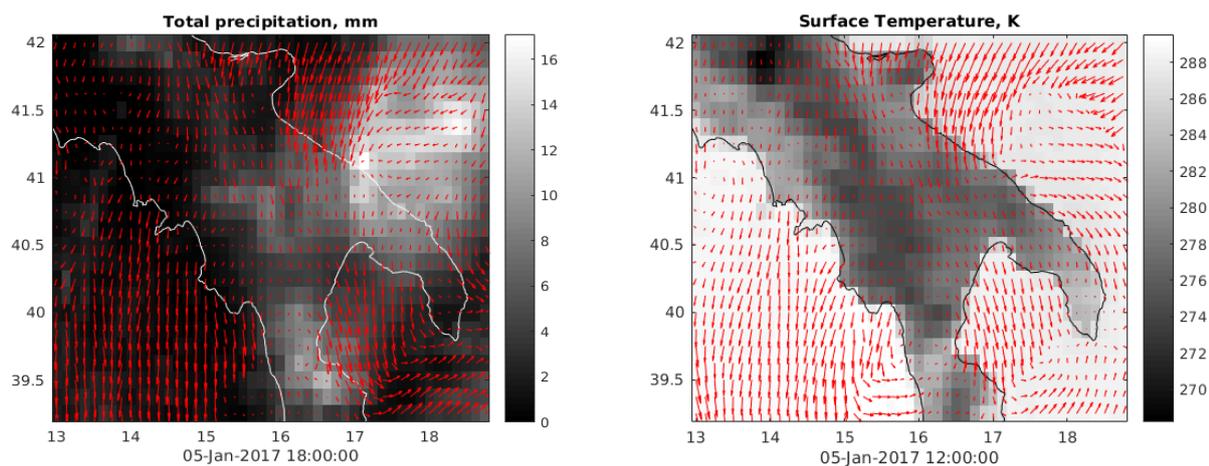
Sono stati acquisiti dati meteorologici per l'anno 2017.

Dal catalogo *mars* (Meteorological Archival and Retrieval System) delle analisi ECMWF sono state acquisite tramite API (application programming interface) variabili per la regione compresa tra le longitudini 13° e 18.75° e le latitudini 39.25° e 42° (si veda la Figura 1) alla risoluzione spaziale di 0.125° (circa 12 km). Tenendo conto della risoluzione spaziale, le variabili per la regione scelta possono essere rappresentate in una matrice di 47x23 elementi. Le variabili sono disponibili alle ore canoniche delle analisi ECMWF (00, 06, 12, 18 UTC).

Le variabili che caratterizzano l'atmosfera sono distribuite su una griglia di 137 livelli di pressione tra la pressione di superficie fino a  $2 \cdot 10^{-4}$  hPa (che corrisponde circa a 120 km di altitudine). Per l'umidità volumetrica al suolo (o soil moisture), l'ECMWF fornisce valori per 4 strati (0-7 cm, 7-21 cm, 21-72 cm, 72-189 cm). In sintesi sono state archiviate per la regione suindicata le seguenti variabili, mostrate in Tabella 1.



**Figura 2.** Nella figura è mostrato l'andamento temporale del primo strato di umidità volumetrica al suolo per i punti della griglia ECMWF più vicini alle città di Potenza (40.625 N, 15.75 E, in blu) e Matera (40.625 N, 16.625 E, in arancio). Dall'alto verso il basso, i tre grafici mostrano l'andamento in gennaio, marzo e ottobre.



**Figura 3.** A sinistra la figura mostra le precipitazioni totali per il giorno 5 gennaio 2017 alle ore 18. A destra la figura mostra la temperatura superficiale per il giorno 5 gennaio 2017 in scala di grigi. In entrambe le figure, in rosso è mostrato il campo di vento orizzontale (le componenti u e v) alla superficie. Il campo è interessato da venti prevalentemente settentrionali.

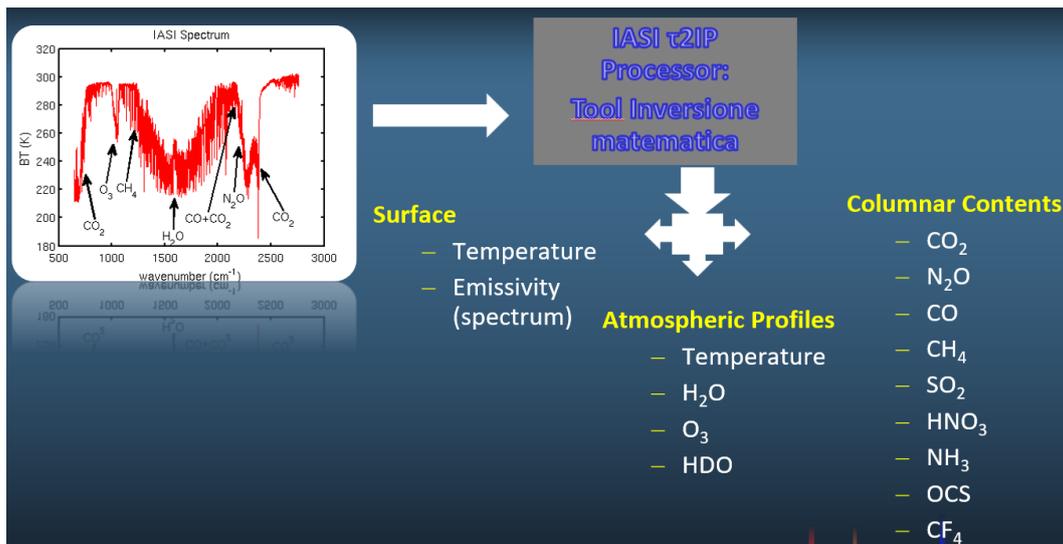
Ad esemplificazione, Figura 2 e Figura 3 mostrano esempi dei dati in Tabella 1, per diversi periodi dell'anno e/o giorni.

I dati meteorologici, brevemente descritti in questa sezione, sono importanti per l'inizializzazione dei processi matematici inversi che permettono di ricavare il contenuto in atmosfera dei gas in traccia che influenzano la qualità dell'aria. Le mappe di vento permettono poi di avere informazioni sulle direzioni dominanti lungo le quali avviene il trasporto atmosferico. In previsione di una piattaforma osservativa stabile per la qualità dell'aria, si consideri che i dati di cui in Tabella 1 si possono anche ottenere in tempo reale sotto forma di previsioni, almeno a tre ore in avanti.

### **Dati derivati dai satelliti Metop ed in particolare dallo strumento IASI**

I dati IASI (dati di livello 1C, ovvero radianze spettrali) sono stati acquisiti per l'anno 2017. Detti dati saranno utilizzati per la produzione delle mappe di gas inquinanti e serra. IASI è uno spettrometro a trasformata di Fourier utilizzato in ambito meteorologico, tuttavia la risoluzione e copertura spettrale lo rendono adatto anche ad analisi relative alla chimica dell'atmosfera, stima di trend e andamenti stagionali dei gas serra, e qualità dell'aria. Nel recente passato tali tipi di analisi hanno privilegiato la rapidità delle operazioni di processing a discapito della qualità della stima dei parametri. Tale approccio non ha permesso il pieno utilizzo di IASI per l'analisi di processi atmosferici con la dovuta risoluzione orizzontale spaziale e temporale.

Il presente progetto utilizza una tecnica di analisi sviluppata dal gruppo di Spettroscopia Applicata dell'Università della Basilicata (<http://www2.unibas.it/gmasiello/assite/as/home.html>) che consente di utilizzare tutto lo spettro (copertura spettrale da 645 a 2760  $\text{cm}^{-1}$ ) alla piena risoluzione spettrale di 0.25  $\text{cm}^{-1}$  e senza semplificazione in relazione alla struttura dell'errore di misura dello strumento. Tale approccio consente la stima simultanea di tutti i parametri oggetto dello studio, garantendo allo stesso tempo un'elevata precisione della stima ed una risoluzione spaziale praticamente coincidente con lo scan pattern dello IASI, ovvero circa 12 Km al nadir. Tuttavia, poiché è possibile utilizzare misure ripetute nell'arco del giorno e del mese, la risoluzione spaziale, ad esempio, sulle mappe mensili può raggiungere livelli di 1-2 km. Il processo che permette di ottenere i parametri meteorologici dalle radianze spettrali è brevemente riassunto nel grafico di Figura 4, che mostra anche le grandezze derivate a valle del processo di inversione.



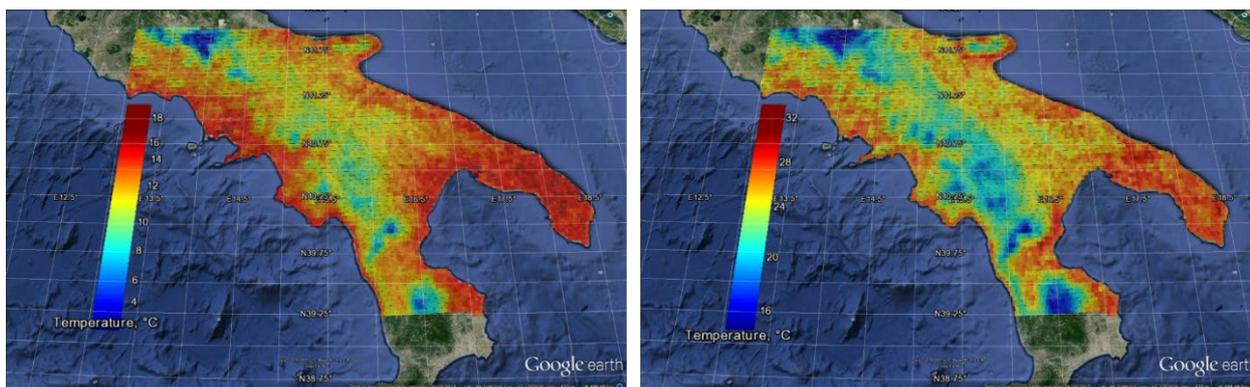
**Figura 4.** Variabili e parametri ottenibili dall'analisi di dati di livello 1C (radianze spettrali) a valle del processo matematico di inversione dell'Equazione di Trasferimento Radiativo.

## Dati derivati dal satellite geostazionario METEOSAT ed in particolare dall'imager SEVIRI

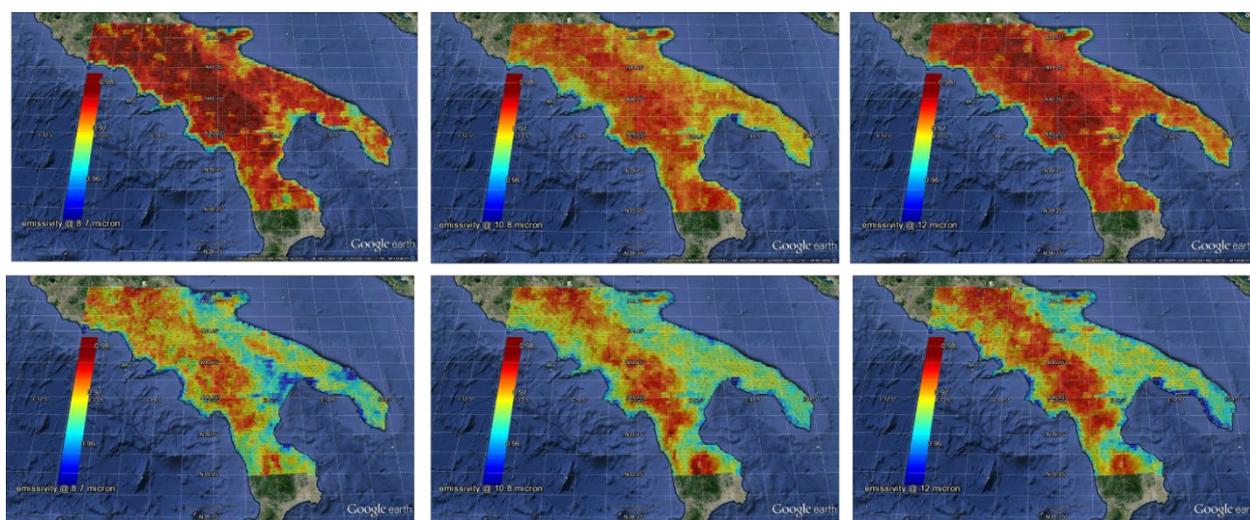
Lo strumento SEVIRI, posto a bordo della piattaforma MSG, consente di ottenere uno scan completo della superficie terrestre con una risoluzione spaziale di 3 km ad intervalli di tempo regolari pari a 15 minuti. Tale strumento fornisce le misure della radianza in 12 canali spettrali (di cui 8 nella banda dell'infrarosso termico, 3 nello spettro solare ed uno nel visibile ad alta risoluzione su una zona più ristretta della Terra). La metodologia che consente di passare dalle radianze satellitari alla stima dei parametri geofisici è analoga a quella del processore di livello 2 per IASI. Le radianze sono "riprodotte" o "calcolate" con un modello di trasferimento radiativo (modello diretto), il confronto tra radianze misurate e calcolate permette, attraverso un metodo di inversione matematica, di ottenere la stima dei parametri. Per il caso in esame, i parametri stimati sono: temperatura superficiale, emissività in quattro canali spettrali nell'infrarosso, ovvero 12, 10.8, 9.7 e 8.7  $\mu\text{m}$ .

Sono stati analizzati i dati relativi all'intero 2013, e ciò ha permesso di avere una caratterizzazione delle temperature e stato della vegetazione. Riguardo allo stato vegetazione, è importante notare che questi è interessato a sua volta dal livello di qualità dell'aria, soprattutto in aree urbane e zone limitrofe alla rete viaria principale (e.g., Basentana). In tal modo lo stato vegetazionale e la sua variazione nel corso del tempo è un indicatore indiretto della qualità dell'aria. Al fine di evidenziare variazioni, sono in fase di analisi dati SEVIRI per il 2017.

Per esemplificare la qualità e tipo di informazione che è possibile ottenere dai dati SEVIRI, la Figura 5 mostra mappe delle Temperatura superficiale per i mesi di Aprile ed Agosto 2013. Per gli stessi mesi, la Figura 6 mostra l'emissività nei canali a 8.7, 10.8, e 12  $\mu\text{m}$ . Si noti la forte variazione tra i due mesi dell'emissività nel canale a 8.7 $\mu\text{m}$ , tale canale è sensibile alla presenza di suolo nudo ed è pertanto in grado di individuare le variazioni dovute alla presenza di campi di grano prima e dopo e il taglio.



**Figura 5.** Mappe della Temperatura superficiale per Aprile (sinistra) e Agosto (destra) 2013. Si noti che la scala temperatura non è la stessa nei due casi.



**Figura 6.** Emissività nei canali 8,7, 10,8 e 12  $\mu\text{m}$  per i mesi di Aprile (parte superiore del grafico) ed Agosto (parte inferiore del grafico) 2013.

## Dati derivati dal satellite OMI

Il satellite OMI è in grado di fornire il livello di gas inquinanti nella troposfera, ovvero nella parte dell'atmosfera più vicina alla superficie. Tale caratteristica è dovuta al tipo particolare di modo di misura (modo di misura in assorbimento) che è maggiormente sensibile agli inquinanti prossimi al suolo. La Tabella 2 riporta le principali caratteristiche dello strumento OMI.

Per OMI si è fatto ricorso direttamente a dati di livello 3 (dati giornalieri e mediati su griglia spaziale regolare di  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ). Il download dei dati OMI è stato effettuato dalla piattaforma web della NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) e sono relativi ai seguenti gas per il periodo 2013 e 2016 e 2017:

SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>.

**Tabella 2.** Le caratteristiche principale dello strumento OMI

Caratteristica	Valore
<b>Visible:</b>	350 - 500 nm
<b>UV:</b>	UV-1, 270 to 314 nm, UV-2 , 306 to 380 nm
<b>Risoluzione Spettrale:</b>	1.0 - 0.45 nm FWHM
<b>Campionamento Spettrale:</b>	2-3 for FWHM
<b>IFOV:</b>	3 km, binned to 13 x 24 km

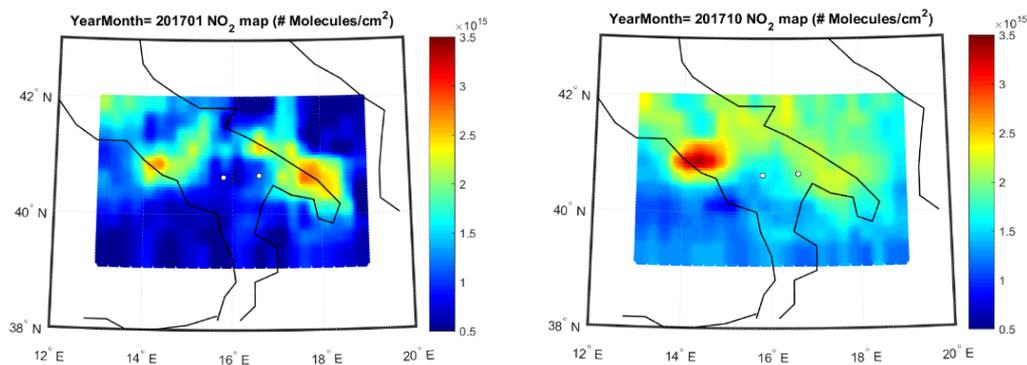


Figura 7. Esempio di mappe mensili di NO<sub>2</sub> per l'anno 2017. I due marker bianchi individuano le città di Potenza e Matera.

Si noti che solo i dati SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, sono riferibili allo strumento OMI, gli altri gas sono analisi effettuate dalla NASA sulla base di altri satelliti e sensori. Essi sono stati considerati per completezza e per effettuare eventuali confronti. L'anno 2013 è stato considerato al fine di avere un confronto in due periodi diversi (2013 e 2017). Come per gli altri casi, il 2017 è stato considerato perché in tale anno il Centro Oli di Val d'Agri (COVA) è stato fermo, e può, pertanto essere considerato come un anno di "zero" per futuri confronti.

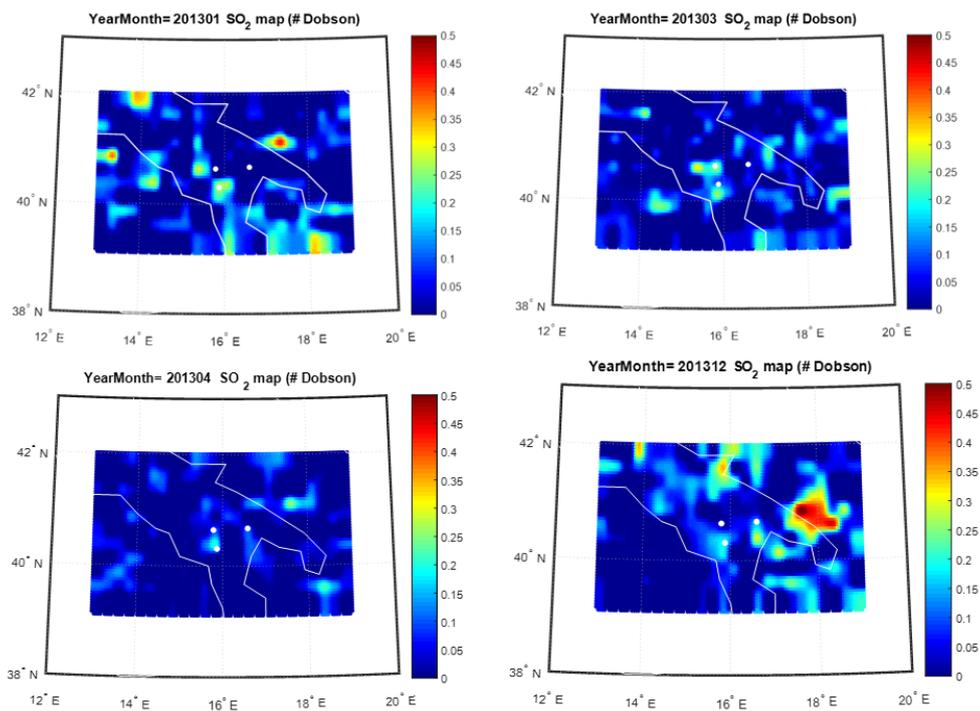
Si è provveduto ad analizzare i dati in prossimità delle aree più industrializzate al fine di riscontrare eventuali anomalie o eccessi di inquinamento. Le aree considerate sono:

- COVA (Centro Oli Val d'Agri);
- Fenice;
- FIAT di Melfi.

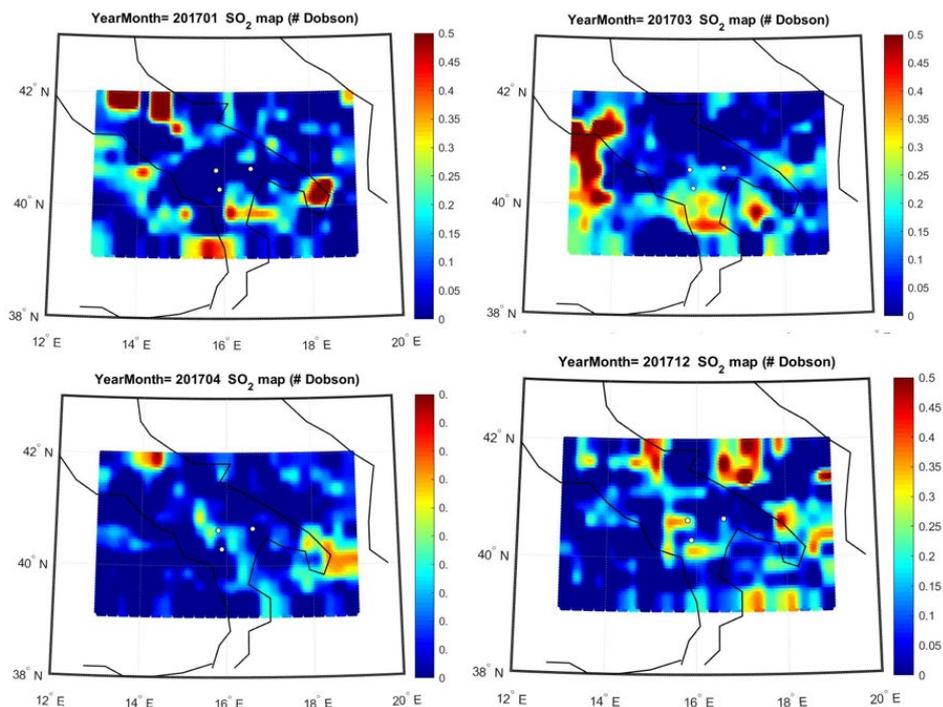
Inoltre è stato effettuato un confronto delle misure dei gas forniti da OMI con quelli prodotti dall'ARPAB in corrispondenza delle 5 stazioni di qualità dell'aria presenti in Basilicata (Viggiano, Grumento, Viggiano-Masseria De Blasiis, Viggiano-Costa Molina Sud). I dati dell'ARPAB contengono le medie orarie dei gas SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, da Gennaio ad Agosto 2017. Il confronto è risultato poco significativo in virtù della forte difformità del dato satellitare (mediato su aree di circa 20 Km) da quello delle centraline (dato puntuale).

Più interessante è l'andamento delle mappe mensili di NO<sub>2</sub> che evidenziano come la Basilicata sia scarsamente inquinata se confrontata con le mega-aree urbane di Napoli e Bari. Tale situazione è evidenziata nelle mappe mensili di NO<sub>2</sub> riportate, per esemplificazione nella Figura 7, dove si evince che l'inquinamento di NO<sub>2</sub> per l'area della Basilicata è originato dal trasporto dalle aree urbane Campano-Pugliesi piuttosto che da sorgenti endogene.

Situazione diversa si verifica per l'SO<sub>2</sub> per il quale una potenziale sorgente endogena è il COVA. La Figura 8 mostra mappe della SO<sub>2</sub> per i mesi di Gennaio, Marzo, Aprile e Dicembre 2013, quando si evidenzia abbastanza chiaramente la presenza di SO<sub>2</sub> centrata sulla posizione del COVA. La Fig. 10 presenta la stessa analisi ma per il 2017, che ha coinciso con il fermo dell'impianto. E' possibile individuare la presenza di SO<sub>2</sub>, anche dovute a fenomeni di trasporto, ma l'area del COVA non è mai origine, contrariamente a quanto evidenziato in Fig. 9, di inquinamento da SO<sub>2</sub>.



**Figura 8.** Mappe di  $\text{SO}_2$  per l'anno 2013 e per i mesi di Gennaio, Marzo, Aprile, Dicembre. I tre marker bianchi individuano le città di Potenza, Matera e del Centro Oli Val d'Agri (marker più in basso). Le mappe mensili evidenziano una persistenza di emissioni in posizione del Centro Oli Val d'Agri.



**Figura 9.** Mappe di  $\text{SO}_2$  per l'anno 2017 e per i mesi di Gennaio, Marzo, Aprile, Dicembre. I tre marker bianchi individuano le città di Potenza, Matera e del Centro Oli Val d'Agri (marker più in basso). In contrasto con la **Figura 7**, le mappe mensili non evidenziano questa volta una persistenza di emissioni in posizione del Centro Oli Val d'Agri.

## Dati derivati dal sensore TROPOMI

TROPOMI è un sensore a bordo del satellite polare Sentinel 5 Precursor, la prima missione del Programma Europeo Copernicus dedicata al monitoraggio della qualità dell'aria, lanciata in orbita il 13 Ottobre 2017 dalla Russia. Come illustrato in Tabella 2, lo strumento è costituito da 4 spettrometri, ciascuno dei quali sensibile a due bande negli intervalli spettrali dell'ultravioletto-visibile (UV, UVIS), del vicino infrarosso (NIR) e dell'infrarosso ad onde corte (SWIR).

Tabella 3. La tabella mostra le principali caratteristiche dello strumento TROPOMI

TROPOMI spectral bands – based on calibration data								
Spectrometer	UV		UVIS		NIR		SWIR	
Band ID	1	2	3	4	5	6	7	8
Spectral range [nm]	267-300	300-332	305-400	400-499	661-725	725-786	2300-2343	2343-2389
Spectral resolution [nm]	0.45 - 0.5		0.45 - 0.65		0.34 - 0.35		0.227	0.225
Spectral sampling [nm]	0.065		0.195		0.126		0.094	
Spatial sampling [km <sup>2</sup> ] ***	5.6 x 29.6	5.6 x 3.6	5.6 x 3.6		5.6 x 3.6		5.6 x 7.1	
Detector binning factor	16	2	2	2	2	2	1	1
Minimum signal-to-noise ratio	50*	50-600*	100-1200*	1200*	500*	200-600*	100-120**	

\*Based on simulations for low albedo mid-latitude radiance \*\*Based on design values \*\*\*For 860 ms co-addition time the sampling alongtrack at nadir is 5.6 km, for 1080 ms it is 7.2 km.

Poiché TROPOMI si trova a bordo di un satellite polare, i dati da esso stimati non possono vantare di un'elevata risoluzione temporale (una o due osservazioni giornaliere), ma godono di buone risoluzioni spaziali (7km x 3.5km per le bande da 2 a 6, 6km x 7km per le bande 7 e 8 e 6km x 29km per la banda 1).

I dati forniti da TROPOMI si suddividono in dati di livello 1b, contenenti misure di radianze ed irradianze nelle diverse lunghezze d'onda, e dati di livello 2, che forniscono stime di alcuni parametri geofisici atmosferici. In particolare, le lunghezze d'onda selezionate per il TROPOMI permettono la stima dei più importanti gas atmosferici, quali O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, HCHO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>. In particolare, i dati utilizzati fanno riferimento alla versione riprocessata (RPRO) dei dati e sono stati scaricati tramite la piattaforma CREODIAS (<https://creodias.eu/>).

Tra questi, in relazione all'area di interesse, sono stati analizzati i dati di SO<sub>2</sub> e di NO<sub>2</sub>, per un periodo compreso da Maggio 2018 a Maggio 2019. Inoltre, i dati considerati sono stati interpolati su una griglia regolare di 1 km x 1 km, tramite una tecnica di downscaling detta kriging, per evidenziarne eventuali sorgenti continue e cicli stagionali. La Figura 10 illustra la tecnica di kriging usata per restituire i dati prodotti da TROPOMI sulla griglia regolare di risoluzione 1x1 km.

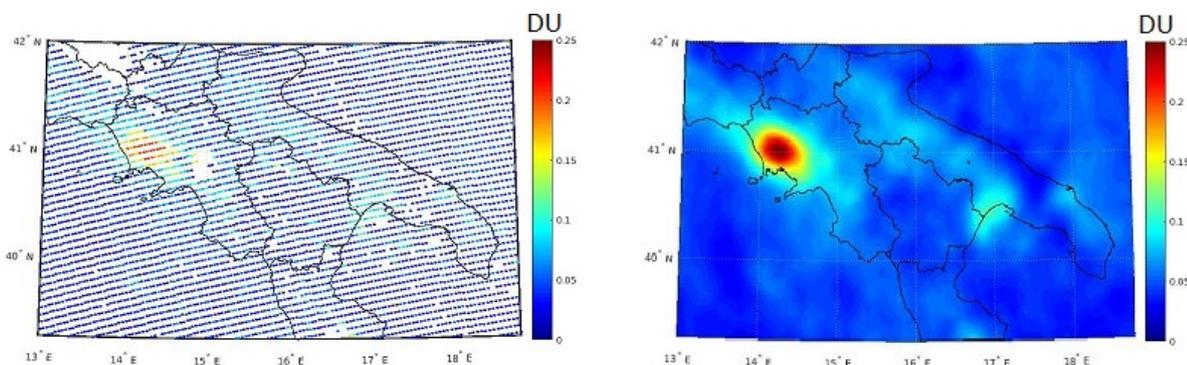


Figura 10. La figura illustra la tecnica di downscaling che restituisce i dati di Livello 2 prodotti da TROPOMI su una griglia regolare. A sinistra i dati di Livello 2 prodotti da TROPOMI, a destra i dati di Livello 3 distribuiti sulla griglia regolare.

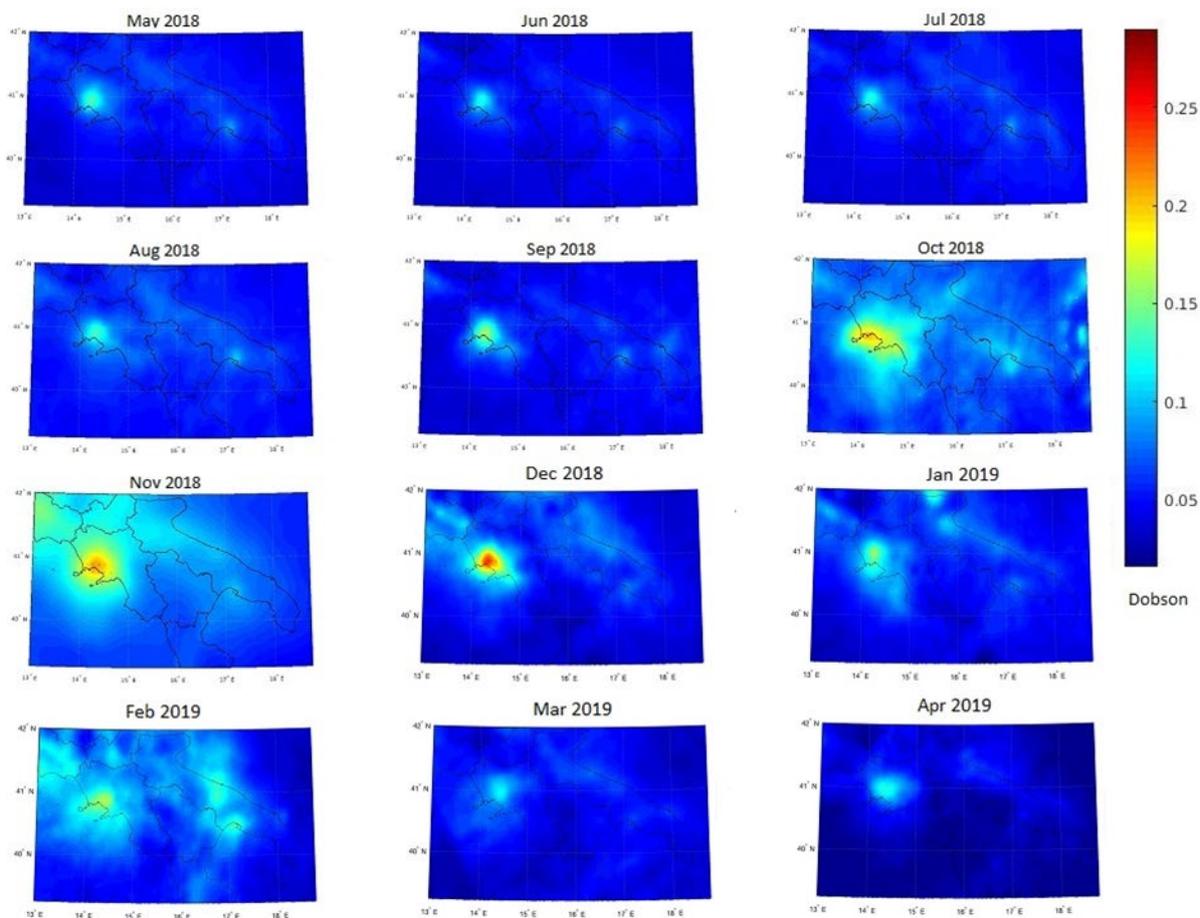


Figura 11. Mappe mensili di NO<sub>2</sub> per il periodo compreso tra Maggio 2018 ed Aprile 2019.

I dati di Livello 2 prodotti da TROPOMI sono hanno una distribuzione non uniforme (a sinistra in Figura 10) perché essi seguono le scansioni dello strumento. Per questo una mappa prodotta con essi mostra, insieme ai buchi dovuti alle nubi, una copertura a spot. La tecnica di downscaling messa a punto permette di restituire su una griglia regolare i valori di concentrazioni (a destra in Figura 10) producendo il Livello 3 dei dati TROPOMI.

Analogamente ai dati OMI, è interessante notare l'andamento delle mappe mensili di NO<sub>2</sub> che evidenziano come la Basilicata sia scarsamente inquinata se confrontata con le mega-aree urbane di Napoli, Bari e Taranto. Tale situazione è evidenziata nelle mappe mensili di NO<sub>2</sub> riportate nella Figura 11.

Queste mappe evidenziano come la concentrazione di NO<sub>2</sub> sulla città di Napoli possa essere legata al traffico veicolare, in quanto presenta un aumento in corrispondenza del mese di Settembre, mese in cui si riprendono le attività dopo la chiusura estiva, che si protrae nei mesi successivi.

Per quanto riguarda, invece, i dati di SO<sub>2</sub>, le mappe mensili ottenute non evidenziano sorgenti continue nel tempo come per l'NO<sub>2</sub>, ma una situazione piuttosto dettata da fenomeni di trasporto atmosferico, come è evidenziato dalla Figura 12. Rispetto ai dati OMI di SO<sub>2</sub> del 2013 non è più evidenziabile come possibile sorgente endogena il COVA.

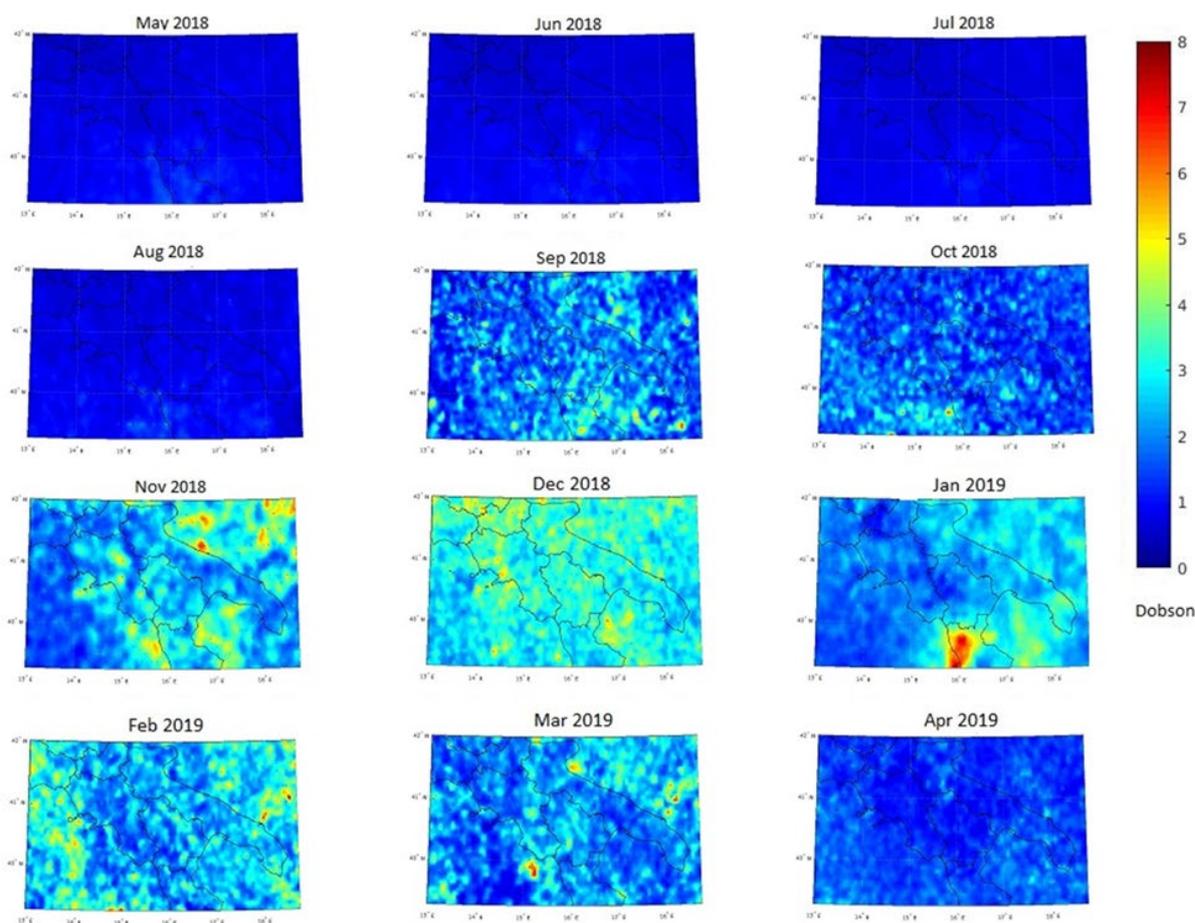


Figura 12. Mappe mensili di SO<sub>2</sub> per il periodo compreso tra Maggio 2018 ed Aprile 2019.

Da queste mappe è possibile, invece, notare un aumento generale della concentrazione di SO<sub>2</sub> nei mesi invernali rispetto a quelli estivi che potrebbe essere riconducibile alle emissioni relative all'uso dei riscaldamenti domestici.

Il mese di Gennaio 2019 evidenzia una sorgente estesa in Calabria, la quale è stata riconducibile alle diverse eruzioni vulcaniche che hanno interessato l'Etna durante il mese in questione. Anche per questo motivo si ritiene utile estendere la regione di interesse includendo l'intero bacino del mediterraneo.

Sulla base dei dati analizzati, sono stati condotti interessanti confronti tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> ed SO<sub>2</sub> misurate in prossimità di alcuni siti di interesse mostrati in Figura 13.

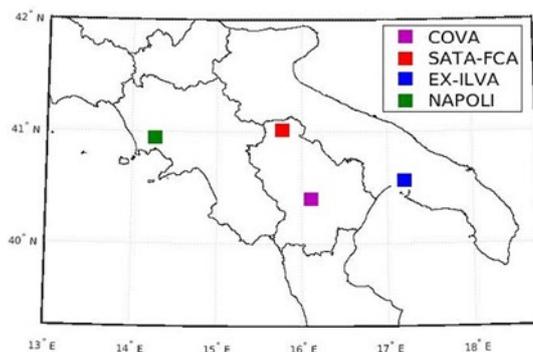


Figura 13. Siti di interesse sui quali sono stati effettuati dei confronti relativi alle concentrazioni di NO<sub>2</sub> e di SO<sub>2</sub>.

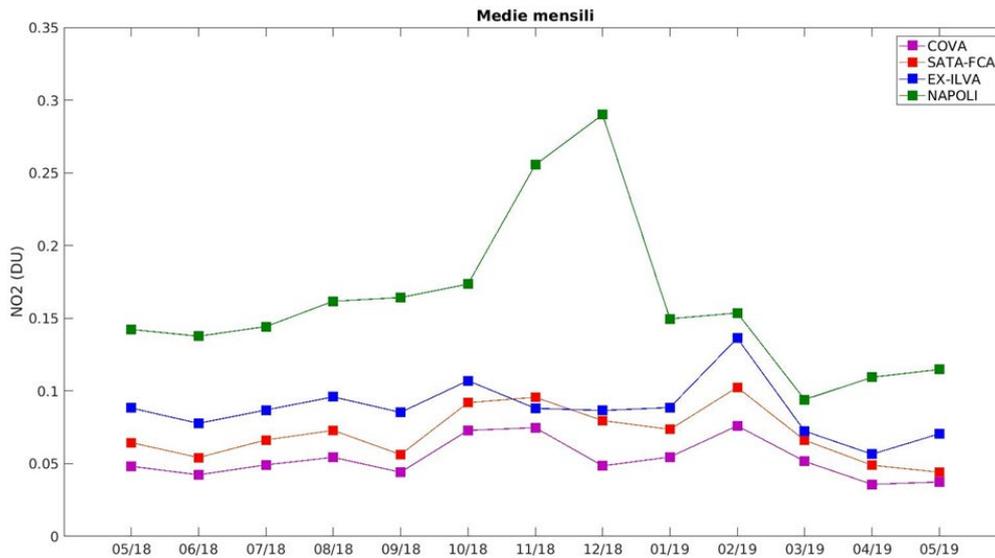


Figura 14. Confronti tra le concentrazioni mensili di NO<sub>2</sub> misurate nei quattro siti di interesse.

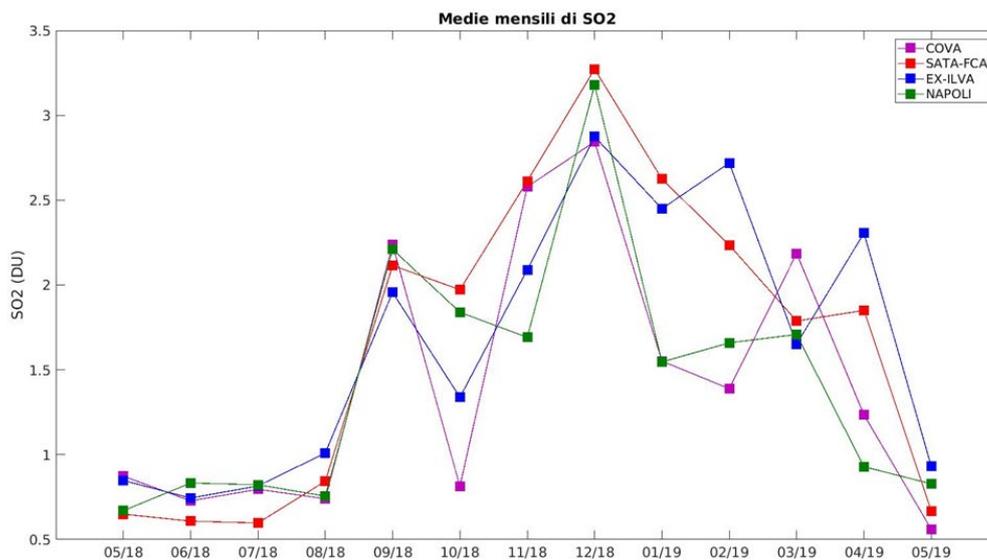


Figura 15. Confronti tra le concentrazioni mensili di SO<sub>2</sub> misurate nei quattro siti di interesse.

I siti analizzati sono il Cova, impianto cardine dell'Eni in cui avviene il primo trattamento degli idrocarburi, lo stabilimento automobilistico della Fiat, la SATA-FCA, l'impianto siderurgico dell'ex-ILVA e la città di Napoli.

In Figura 14 sono mostrati i confronti per le concentrazioni di NO<sub>2</sub>. La città di Napoli mostra rispettivamente valori 2 e 3 più grandi rispetto alla SATA-FCA e al COVA per tutto il periodo considerato, con un picco nel mese di Dicembre che eccede 6 volte i valori osservati sul COVA. Le misure riguardanti i due siti appartenenti all'area lucana, il COVA e la SATA-FCA, non riportano comportamenti anomali e picchi mensili.

In Figura 15, invece, sono mostrati i confronti per le concentrazioni di SO<sub>2</sub>. Questa volta, non vi è più una differenza sostanziale con le concentrazioni mensili relative alla città di Napoli. I valori misurati per i quattro siti seguono un pattern che evidenzia solamente un aumento di concentrazione di SO<sub>2</sub> nei mesi invernali, come già evidenziato nelle mappe in Figura 12.

## Intercorrelazione tra dati Satellitari con Stazioni a terra

I confronti sono stati effettuati sulla base delle medie mensili dei dati relativi alla colonna troposferica di NO<sub>2</sub> ottenuti dalle osservazioni TROPOMI ed i dati di NO<sub>2</sub> misurati dalle centraline distribuite sulle regioni Campania, Puglia e Basilicata.

Trattandosi di grandezze fisiche differenti, poiché da una parte abbiamo il contenuto colonnare di NO<sub>2</sub> misurato in Dobson e dall'altra la concentrazione di NO<sub>2</sub> espressa in µg/m<sup>3</sup>, ci siamo limitati a studiare la correlazione tra le due variabili e i diversi andamenti temporali. Più nel dettaglio, i dati validati giornalieri misurati dalle centraline nel periodo tra Maggio 2018 e Maggio 2019 sono stati mediati per ottenere un valore di concentrazione di NO<sub>2</sub> mensile per ciascuna centralina. I confronti sono stati condotti con i dati di NO<sub>2</sub> di Livello 3 TROPOMI.

Per tutte le stazioni scelte si è trovata una buona correlazione tra le due differenti grandezze. A titolo di esempio si riporta in Figura 16 la serie temporale mensile di NO<sub>2</sub> misurata a terra dalla stazione di Viggiano (Costa Molina sud 1). La Figura 17 mostra la serie temporale dei contenuti colonnari di NO<sub>2</sub> di Livello 3 osservate da TROPOMI per la posizione più vicina alla stazione a terra. Dal confronto visivo tra la Figura 16 e la Figura 17, si può notare come le due serie mostrino notevoli similitudini: entrambe mostrano il valore massimo in febbraio 2019, valori minimi in settembre 2018 e aprile 2019.

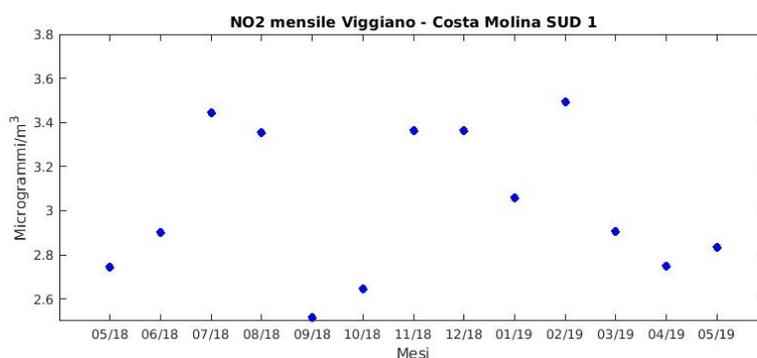


Figura 16. Serie temporale delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate dalla stazione a terra di Viggiano - Costa Molina 1.

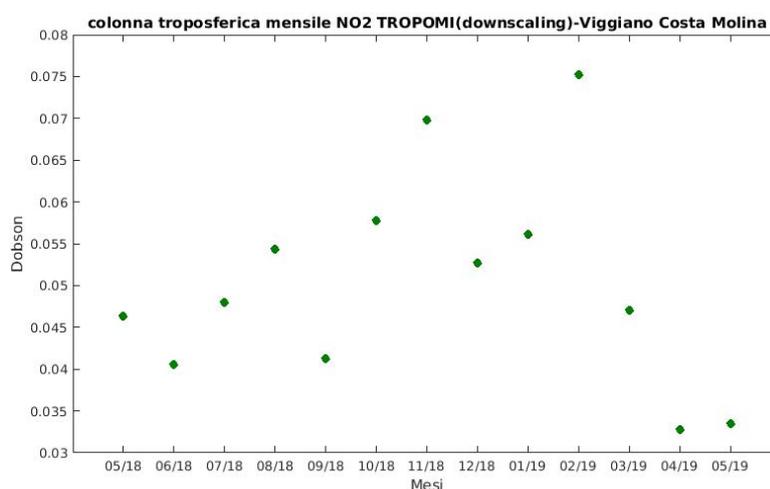
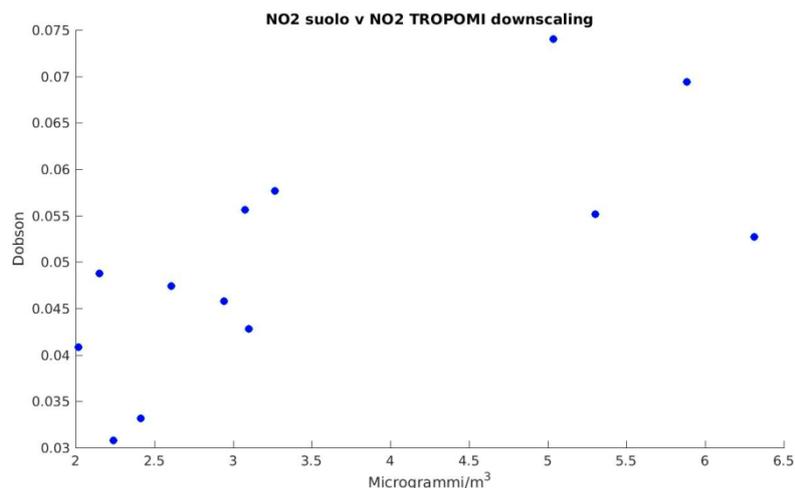


Figura 17. Serie temporale delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> osservate da TROPOMI.



**Figura 18.** Scatter plot per la stazione di Avellino. Sull'asse x sono riportate le concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate dalla stazione a terra. Sull'asse delle y le concentrazioni osservate da satellite.

Per evidenziare la correlazione tra le due serie temporali esse sono rappresentate sotto forma di scatter plot nella Figura 18, dove sull'asse delle x sono riportate le concentrazioni rilevate a terra e sull'asse y i contenuti colonna rilevati da satellite. Le due serie hanno un coefficiente di determinazione  $r^2=0.71$ . Coefficiente di determinazione che cresce per le stazioni che osservano concentrazioni maggiori di NO<sub>2</sub>.

## Conclusioni per la parte scientifica

E' stata potenziata la piattaforma osservativa satellitare per analisi di qualità dell'aria sulla Basilicata e distretti limitrofi anche in relazione a possibili origini dovute a trasporto atmosferico e non solo a sorgenti endogene. Sono stati collezionati dati

- ECMWF
- SEVIRI
- IASI
- OMI
- TROPOMI

E' stato sviluppato un processore di livello 3 per i dati di TROPOMI che permette restituire i dati su una griglia spaziale omogenea.

Compatibilmente con le necessarie risorse umane e di infrastrutture informatiche, si sta estendendo la regione di interesse a tutto il mediterraneo.

Dall'analisi di questi dati emerge che:

- Sull'Area lucana non si evidenziano livelli di emissioni pericolose continue nel tempo di NO<sub>2</sub> ed SO<sub>2</sub> (almeno per il 2017, in tale periodo il COVA è rimasto prevalentemente fermo).
- L'analisi dei risultati di TROPOMI, non evidenzia per il 2018 e inizio 2019 livelli di emissioni pericolose continue nel tempo di NO<sub>2</sub> ed SO<sub>2</sub>.
- Questo non significa che non vi sia inquinamento. E' necessario un catasto delle emissioni che consenta di verificare più in dettaglio la presenza di sorgenti nocive.

- Anche se il satellite non può sostituire, almeno per adesso, le reti locali, esso può permettere una migliore dislocazione delle centraline perché è in grado di fornire una caratterizzazione di insieme dell'inquinamento.
- Inoltre nel caso del NO<sub>2</sub> è stato mostrato che i contenuti colonnari stimati a partire dai dati satellitari hanno una alta correlazione con le concentrazioni misurate a terra.

E' utile evidenziare che nel corso dei prossimi anni, con l'avvento delle nuove tecnologie da satellite geostazionario sarà possibile monitorare la qualità dell'aria con una frequenza temporale di circa 1 ora ed una risoluzione spaziale prossima ad un 1 km. Infine, è importante enfatizzare come grazie alla nuova missione Copernicus, Sentinel-5P con a bordo lo strumento TROPOMI sia stato possibile ottenere informazioni più dettagliate di importanti gas serra ed inquinanti. Basti pensare che per le stime di NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> si sia passati dalla risoluzione spaziale di 13 km x 24 km al nadir tramite le osservazioni OMI alla risoluzione spaziale di 7 km x 3.5 km al nadir con l'avvento del TROPOMI.

### Disseminazione risultati del progetto

I risultati della presente ricerca verranno mostrati e discussi nel Secondo Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia (AISAM, <http://congresso.aisam.eu/>), che si terrà a Napoli, tra 24 e il 26 Settembre 2019. Nel dettaglio nei due interventi orali qui elencati:

1. Nella Sessione 1: "[Sistemi di osservazione dell'atmosfera per la meteorologia, l'ambiente e il clima](#)" il 24 Settembre alle 16:15, Titolo: *Kriging technique applied to TROPOMI data*, Angela Cersosimo, Carmine Serio, Guido Masiello, Sara Venafra.
2. Nella Sessione 8: "[Clima](#)" il 26 Settembre alle 12:00, Titolo: *An application to Mediterranean Sea of the SEVIRI Level 2 Processor for Surface Parameters*, Guido Masiello, Carmine Serio, Sara Venafra, Angela Cersosimo, Giuliano Liuzzi

### Rendicontazione economica

- n. 1 Assegno di Ricerca, assegnata con procedura concorsuale alla Dott.ssa Sara VENAFRA sul tema: **Potenziamento piattaforma osservativa satellitare per analisi di qualità dell'aria sulla Basilicata e distretti limitrofi**", durata di **12 mesi**, per un importo lordo onnicomprensivo di Euro **25.000,00 € (Venticinquemila,00 euro)**



RAPPORTO DI RICERCA progetto INDICARE:  
accordo FARBAS-SIUNIBAS relativamente all'Art. 3, comma 2.c  
Responsabile Scientifico: Prof. Francesco Scorza

GRUPPO DI RICERCA LISUT:

Responsabile Scientifico: Prof. Francesco Scorza

Prof. Beniamino Murgante, Dott.ssa Maria Rosa Anna Piro

Ing. Angela Pilogallo, Ing. Lucia Saganeiti, Ing. Giuseppe La Greca,

Premessa	4
Consumo di suolo, dispersione insediativa e reti infrastrutturali, marginalizzazione degli sistemi	5
Crescita urbana e frammentazione	5
Policentrismo e rango dei centri di offerta di servizio con riferimento ai livelli di accessibilità territoriale della Basilicata e alla specializzazione territoriale nell'offerta di servizi e attrezzature pubbliche essenziali e nella dotazione di strutture produttive e clustering territoriali	12
Lo stock di servizi ed attrezzature	12
<b>Le categorie e la localizzazione</b>	12
<b>4.1.1 Localizzazione</b>	14
<b>4.2 Le specializzazioni territoriali nell'offerta di servizi ed attrezzature</b>	16
Gerarchia e sistemi urbani	18
PREMESSA	18
La teoria dei luoghi centrali	19
Rank-size rule	22
Il rango dei centri urbani nella Regione Basilicata	23
Due ipotesi di lavoro per una gerarchia funzionale dei sistemi urbani in Basilicata	28
L'analisi in componenti principali per la definizione di assetti territoriali	32
Descrizione del metodo	32
La scelta delle componenti principali	34
Caso studio	36
Risultati dell'analisi statistica	38
Accessibilità territoriale: l'approccio analitico e i risultati	42
Determinazione dei bacini di domanda e assetto policentrico	44
Identificazione dei servizi ecosistemici, della qualità degli habitat e dei fattori di degrado	47
Stoccaggio e immagazzinamento del carbonio	48
Capacità ricreativa e attrattività turistica	50
Consistenza del patrimonio attrattivo materiale e immateriale con riferimento alle principali componenti del sistema informativo territoriale	51
Struttura del SIT	55
Conclusioni per la parte scientifica	57
Bibliografia	57
Dissemination	62
Presentazioni a conferenze:	62
Pubblicazioni internazionali indicizzate:	62
Rendicontazione economica	63



## Premessa

Il report rappresenta la consegna finale degli elaborati di ricerca prodotti dal gruppo del LISUT nell'ambito della accordo FARBAS-SI UNIBAS relativamente all'Art. 3, comma 2.c (convenzione del 12 Dicembre 2017).

I contenuti riferiscono in merito alle attività di gestione del progetto da parte del gruppo di lavoro di cui è referente il Prof. Scorza e, nel merito, riportano i contenuti della ricerca e i risultati in merito a:

- a. Consumo di suolo, dispersione insediativa e reti infrastrutturali, marginalizzazione degli sistemi
- b. Policentrismo e rango dei centri di offerta di servizio con riferimento ai livelli di accessibilità territoriale della Basilicata e alla specializzazione territoriale nell'offerta di servizi e attrezzature pubbliche essenziali e nella dotazione di strutture produttive e clustering territoriali
- c. Identificazione dei servizi ecosistemici, della qualità degli habitat e dei fattori di degrado
- d. Grado di attrattività turistica e valutazione del carico (i.e. pressione) turistico locale per l'elaborazione di misure di valorizzazione sostenibile delle risorse ambientali-storico-culturali.
- e. Consistenza del patrimonio storico-culturale materiale e immateriale con riferimento alle principali componenti del sistema informativo territoriale

Segue una nota sulla rendicontazione delle risorse finanziarie assegnate al progetto e gestite dal gruppo di lavoro del LISUT.

# Consumo di suolo, dispersione insediativa e reti infrastrutturali, marginalizzazione degli sistemi

## Crescita urbana e frammentazione

Tra le fonti di dati utilizzate per l'analisi dell'evoluzione del sistema insediativo della Basilicata: la banca dati spaziale regionale (Regional Spatial Data Infrastructure (RSDI), Regione Basilicata, ortofoto del geo-portale nazionale del Ministero dell'Ambiente e la cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM). Queste fonti di dati che forniscono le tradizionali informazioni di base generalmente disponibili per tutte le regioni europee. Questo approccio consente la replicabilità dello studio in altri contesti territoriali. Per quanto riguarda la dimensione temporale dell'analisi, le fonti selezionate ci hanno permesso di identificare cinque fasi temporali: 1950–1989–1998–2006–2013. Questo specifico intervallo temporale è stato scelto in base alla disponibilità delle banche dati cartografiche per l'area oggetto di studio. L'analisi è stata sviluppata a partire dagli anni 50: periodo di maggiore crescita economica e demografica per il territorio italiano.

La cartografia regionale (scala 1:5000) della Basilicata, aggiornata nel 2013, è stata utilizzata come base di partenza per l'analisi spaziale. Questo database spaziale rappresenta la fonte di dati più aggiornata e accurata dell'ambiente edificato della Basilicata.

Partendo da questa rappresentazione, si è proceduto a ritroso, confrontando queste informazioni con la cartografia e le ortofoto precedenti. Tale confronto con le ortofoto, disponibili come Web Map Service (wms) sul Geo-portale Nazionale del Ministero dell'ambiente, ci ha permesso di costruire un'analisi di serie temporali spaziali basate sui seguenti rilievi aereo-fotogrammetrici: 2006, 1998/2000, e 1988/1989. Per analizzare la crescita urbana avvenuta dopo la seconda guerra mondiale, periodo corrispondente al trend di crescita più alto in Italia, abbiamo confrontato i nostri dati spaziali con le cartografie in scala 1:25.000 prodotte dall'IGM negli anni Cinquanta. Il confronto di diverse cartografie ha fornito informazioni sulla distribuzione degli edifici nel tempo rappresentante, appunto un metodo per quantificare l'aumento dell'ambiente costruito nel tempo. Pur non avendo lo stesso livello di dettaglio che si ritrova nella cartografia regionale, queste carte forniscono la più antica e affidabile rappresentazione tecnica degli edifici e degli spazi urbani della Basilicata.

Le analisi statistiche demografiche si basano sulle banche dati dell'Istituto nazionale di statistica (ISTAT). Questi dati sono stati successivamente confrontati con la distribuzione degli edifici in diverse date in modo da identificare la correlazione tra l'andamento della popolazione residente e la crescita urbana.

Per valutare la consistenza dell'edificato in aree a rischio idrogeologico e zone protette, sono stati utilizzati i seguenti datasets (disponibili presso RSDI): (1) Piano dell'Autorità di Bacino (PAI) 2016: perimetri delle aree soggette a rischio frana sulla base del Piano Strutturale Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata; (2) siti della rete NATURA2000 e lista ufficiale delle aree protette (EUAP): il perimetro dei siti di importanza comunitaria (SIC), delle zone speciali di conservazione (ZSC) e delle zone di protezione speciale (ZPS), che sono aree naturali protette inserite nell'elenco ufficiale del Ministero dell'ambiente.

La carta tecnica regionale, fornita da RSDI, rappresenta l'ambiente edificato al 2013 per l'intera regione. Partendo da questo livello, abbiamo ottenuto la stima dell'area (superficie coperta) e del volume di ogni edificio. Il confronto tra la rappresentazione delle geometrie degli edifici, le ortofoto del geoportale nazionale e le carte IGM ha permesso di creare cinque set di dati che rappresentano l'ambiente costruito in date diverse:

1. Unità volumetriche al 2013 ricavate dalla carta tecnica regionale della Basilicata.

2. Unità volumetriche al 2006 ricavate dalle ortofoto digitali a colori del territorio italiano con risoluzione 1:10,000 e visualizzabili solo a scale superiori a 1: 100,000 in servizio wms.
3. Unità volumetriche al 2000 ricavate dalle ortofoto digitali a colori del territorio italiano con risoluzione 1:10,000 in servizio wms. I voli fotogrammetrici sono stati effettuati dal 1998 al 2000 in base all'area.
4. Unità volumetriche al 1989 ricavate da ortofoto in bianco e nero del territorio italiano con risoluzione 1:10,000 e visualizzabile solo in scala superiore a 1:100,000 in servizio wms. Voli fotogrammetrici avvenuti tra il 1988 e il 2000 a seconda dell'area.
5. Unità volumetriche al 1950 ricavate dalla carta topografica dell'Italia in scala di 1:25,000 (IGM).

L'analisi dell'evoluzione storica insediativa è stata effettuata sull'intero territorio regionale, ottenendo risultati per tutti i 131 comuni. Tra i limiti di un dataset ottenuto secondo le modalità appena descritte si possono annoverare: la perdita di dati riguardanti aumenti di volumetrie, l'errore dovuto alla differenza di basi cartografiche, della loro differenza di scala, epoca di riproduzione e quindi tecnica di rilievo differente.

Nonostante questi limiti è stato scelto di procedere alla comparazione visiva dei riferimenti cartografici selezionati e non utilizzando tecniche di telerilevamento che avrebbe comportato errori rispetto alla scarsa accuratezza nell'identificazione di piccoli edifici sparsi nel paesaggio rurale lucano.

La classificazione degli edifici in base all'uso ci ha permesso di considerare solamente quelli ad uso residenziale per i quali si è calcolata la densità edilizia e si sono quantificati gli edifici in aree a rischio e in zone protette. Per ogni comune della regione sono stati calcolati due indici: densità di popolazione  $D_p$  (Equazione (1)) e il numero di edifici residenziali per ettaro (Densità residenziale)  $D_b$ , (Equazione (2)). Gli indici sono stati calcolati per le cinque fasi temporali, mentre la loro variazione è stata calcolata tra il 1950 e il 2013.

$$D_p = \frac{\text{Abitanti}}{\text{Area}} \left[ \frac{\text{numero}}{\text{ettari}} \right] \quad (1)$$

$$D_b = \frac{\text{Edifici Residenziali}}{\text{Area}} \left[ \frac{\text{numero}}{\text{ettari}} \right] \quad (2)$$

Uno schema della metodologia utilizzata nel presente documento è mostrato in Figura seguente. L'evoluzione storica dell'edificato e i trend demografici sono stati analizzati parallelamente e la comparazione dei rispettivi risultati ha consentito di identificare il fenomeno dell'urban sprinkling distinguendolo da quello dello sprawl, non oggetto della presente trattazione.

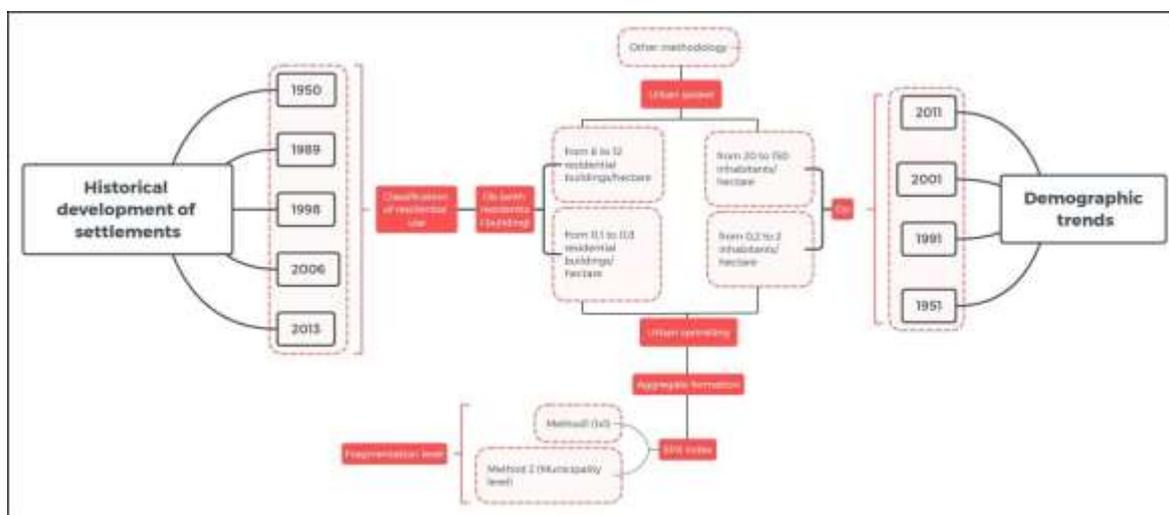


Figura 1. Schema della metodologia.

I due fenomeni sono descritti da specifici indicatori presenti in letteratura: densità di popolazione ( $D_p$ ) e densità residenziale ( $D_b$ ). L'urban sprawl è caratterizzato da valori di  $D_p$  compresi tra 6 e 12 edifici residenziali per ettaro e valori di  $D_b$  compresi tra 20 e 150 abitanti per ettaro. L'urban sprinkling invece presenta densità molto minori rispetto al precedente e nello specifico:  $D_p$  tra 0,1 e 0,8 edifici residenziali per ettaro e  $D_b$  tra 0,2 e 2 abitanti per ettaro.

Questi indici sono stati calcolati per ogni comune della regione per tutte le fasi storiche analizzate.

Essendo l'urban sprinkling caratteristico di tutti i comuni della Regione si è proceduto con l'aggregazione degli edifici e il calcolo del SPX index in modo da definire il grado di frammentazione del territorio. Di seguito viene specificata la metodologia utilizzata.

#### Costruzione degli Aggregati

Per comprendere meglio le dinamiche di evoluzione degli insediamenti urbani si è proceduto con l'aggregazione degli edifici. Abbiamo trasformato le forme di singoli edifici in poligoni più complessi, includendo più edifici in una fascia di distanza fissa. Questa fase ci ha aiutato a capire come si è verificata l'espansione urbana intorno ai nuclei pre-esistenti. È importante notare che un aumento del numero di edifici non sempre corrisponde ad un maggior numero di aggregati. Infatti, in un modello di crescita urbana razionale si prevede solo un aumento dell'area degli aggregati. Due o più edifici possono essere considerati un aggregato quando le distanze tra i poligoni degli edifici sono inferiori ad una soglia prestabilita. Tra i vari aggregati ottenuti con distanze fissate a 50, 100 e 200 metri è stata scelta l'aggregazione di 50 metri che ha permesso la perimetrazione degli aggregati urbani per ogni fase temporale.

La figura 2 rappresenta l'evoluzione dell'ambiente costruito considerando l'aggregazione degli edifici tra il 1950 e il 1989.

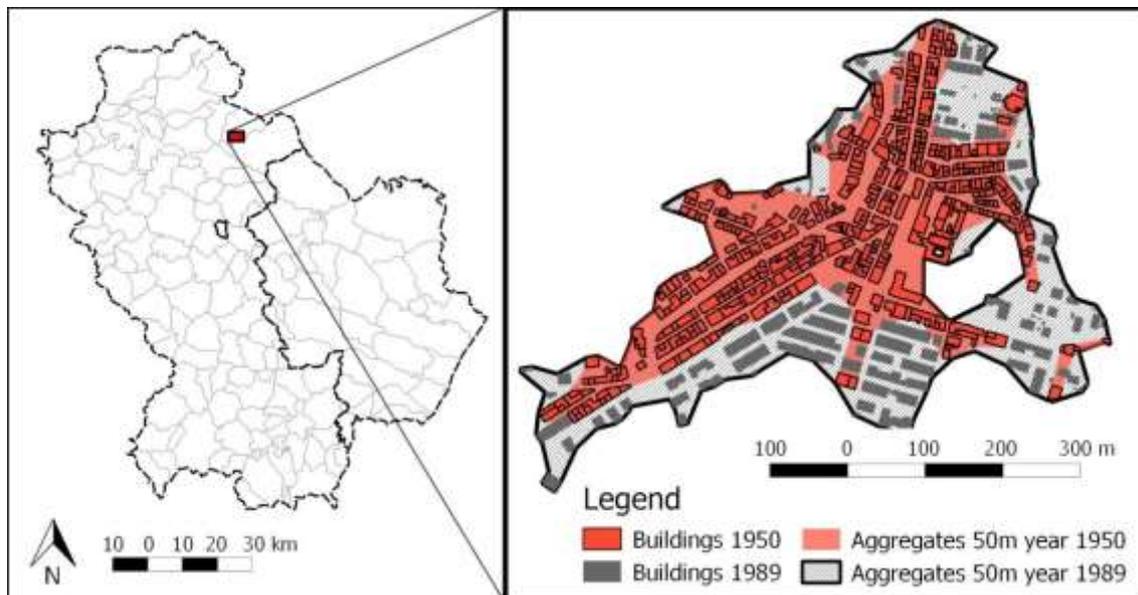


Figura 2. Aggregazione di edifici in due diverse fasi temporali:1950 and 1989.

Bisogna specificare che gli aggregati urbani, non coincidono con i perimetri dei centri edificati. Infatti, il centro edificato è delimitato, per ciascun nucleo abitato o centro abitato, dal perimetro continuo che comprende tutte le aree edificate con continuità ed i lotti interclusi. In questo contesto si fa semplicemente riferimento ad una nuova strategia rappresentativa di gruppi di edifici accorpatis all'interno di un'area urbanizzata.

Indice SPX e grado di frammentazione

Sono disponibili molti indici in letteratura per calcolare la frammentazione urbana: densità di patch, densità dei bordi, media della distanza euclidea del vicino più prossimo, indice di forma pesata per area e indice di aggregazione. Questa ricerca ha adottato l'indice di sprinkling (SPX) (media della distanza euclidea del vicino più prossimo), che analizza la frammentazione di un insediamento urbano attraverso una valutazione puramente geometrica.

L'indice SPX è stato applicato per la prima volta da Romano et al., dividendo il territorio della regione Umbria con una griglia regolare di 1 km per 1 km. (Metodo 1). In sperimentazioni successive, di altri autori, l'indice è stato applicato a scala comunale seguendo lo stesso principio della griglia regolare ma facendo riferimento all'estensione del territorio comunale (Metodo 2).

Assumendo la forma circolare come la più compatta possibile, l'indice si fonda, essenzialmente, sul calcolo delle distanze tra le diverse aree urbanizzate ed è espresso con la seguente formula:

$$SPX = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x^*)^2 + (y_i - y^*)^2}}{R} \quad (3)$$

dove  $x_i$  e  $y_i$  sono le coordinate dei centroidi di ciascun poligono delle aree urbanizzate presenti in ogni cella di 1 km<sup>2</sup> della griglia nel Metodo 1 e in ogni comune nel Metodo 2;  $x^*$  e  $y^*$  sono le coordinate del centroide del nucleo maggiore. Nel Metodo 1 viene considerato il nucleo maggiore presente in ciascuna cella ad ogni istante temporale; nel Metodo 2 viene considerato il nucleo maggiore presente in ciascun Comune al tempo  $t_0$ , ovvero al primo istante temporale considerato;  $R$  è il raggio dell'area circolare di dimensioni analoghe a quelle della somma delle aree urbanizzate presenti: per ogni cella (Metodo 1) e per ogni comune (Metodo 2).

In entrambi i metodi, SPX ha un range di valori ammissibili che spazia da 0 a  $+\infty$ . All'aumentare dell'indice aumenta il grado di frammentazione di un territorio. Il valore nullo rappresenta la situazione ottimale, difficilmente riscontrabile in realtà, ovvero un'urbanizzazione sviluppatasi secondo la forma della circonferenza.

L'indice SPX è stato calcolato considerando, quindi, come elementi frammentati le superfici occupate da costruzioni edilizie raggruppate sotto forma di aggregati.

Sebbene entrambi i modelli consentono di comprendere in che modo il consumo di suolo ha modificato e aggravato il territorio regionale, ciascuno di essi presenta vantaggi e svantaggi.

Il Metodo 1 consente di "misurare" il fenomeno ma allo stesso tempo la stessa quantificazione non può essere considerata in maniera univoca in quanto basterebbe traslare la griglia per ottenere risultati diversi.

Il Metodo 2, invece, permette di valutare il fenomeno ad una scala comunale, che è quella in cui risiedono i poteri decisionali in grado di segnare il destino dei suoli e non solo, ma non tiene conto di tutte le condizioni al contorno che vi possono essere (che spiegherebbero la lontananza di un insediamento rispetto al nucleo del proprio Comune) e della possibile dipendenza dall'estensione e dalla forma della superficie di un Comune (in quanto il valore dell'indice SPX è funzione della distanza tra gli aggregati urbani).

#### Metodo 1

L'indice di frammentazione SPX è stato applicato all'intero territorio regionale. A tal proposito, la Basilicata è stata suddivisa in celle di 1 km<sup>2</sup> mediante un reticolo posizionato, in maniera casuale, rispetto al perimetro del territorio regionale. Il calcolo dell'indice SPX con la formula (3) ha restituito un valore per ogni singola cella della griglia che attraverso la suddivisione in 6 categorie esposte in tabella 2, ha permesso di individuare il grado di frammentazione territoriale. I valori si attestano tra 0: (frammentazione nulla) e circa 300,000 (frammentazione alta).

**Tabella 1. Grado di frammentazione urbana in base al valore dell'indice Sprinkling (SPX) determinato utilizzando il Metodo 1.**

<b>Grado di frammentazione</b>	<b>SPX<sup>1</sup></b>
Non frammentato	SPX = 0
Bassa frammentazione	0 < SPX < 50
Frammentazione medio-bassa	50 ≤ SPX < 100
Frammentazione media	100 ≤ SPX < 150
Frammentazione medio alta	150 ≤ SPX < 200
Alta frammentazione	SPX ≥ 200

<sup>1</sup>Tutti i valori dell'indice SPX sono stati divisi per 1000.

## Metodo 2

Metodo 2 ha permesso di calcolare l'indice SPX per ogni comune della regione Basilicata. L'indice si attesta tra valori compresi tra 0 (bassa frammentazione) a circa 15.000 (alta frammentazione). Per garantire una visione d'insieme, per tutti i Comuni sono stati individuati dei valori soglia dell'indice (divisi per 1.000) che hanno permesso di classificare la frammentazione in cinque categorie (Tabella 3).

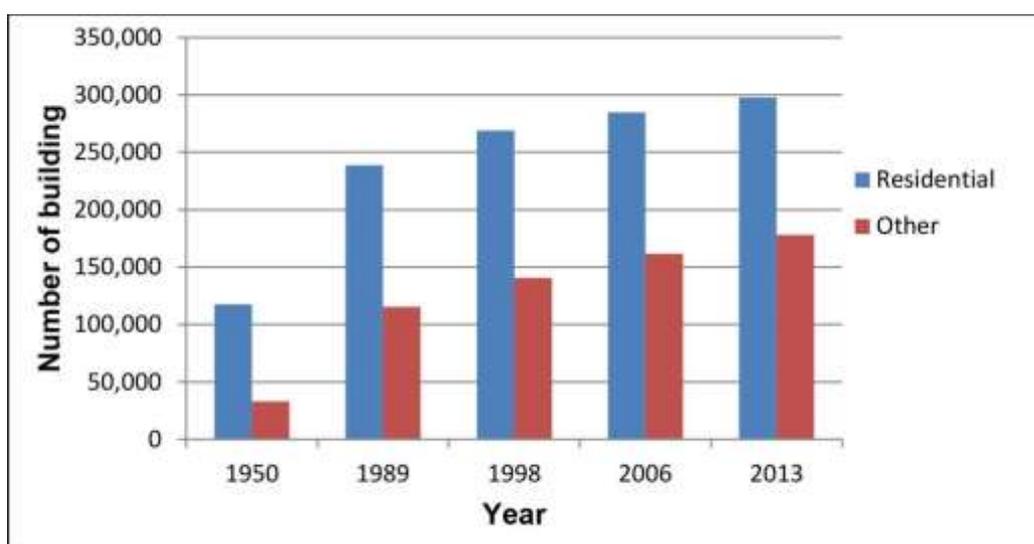
**Tabella 2. Grado di frammentazione urbana in base al valore dell'indice SPX calcolato utilizzando il Metodo 2.**

<b>Grado di frammentazione</b>	<b>SPX<sup>1</sup></b>
Bassa frammentazione	SPX < 1
Frammentazione medio-bassa	1 ≤ SPX < 3.5
Frammentazione media	3.5 ≤ SPX < 6
Frammentazione medio alta	6 ≤ SPX < 8.5
Alta frammentazione	SPX ≥ 8.5

<sup>1</sup>Tutti i valori dell'indice SPX sono stati divisi per 1000.

## Risultati

Nel grafico proposto in Figura 3 è rappresentato un confronto tra edifici residenziali e edifici adibiti ad altro uso per ciascuno degli anni analizzati. Emerge chiaramente come il trend di crescita della prima fase analizzata (1950) corrispondente al boom economico, sia maggiore rispetto a quello degli altri periodi.



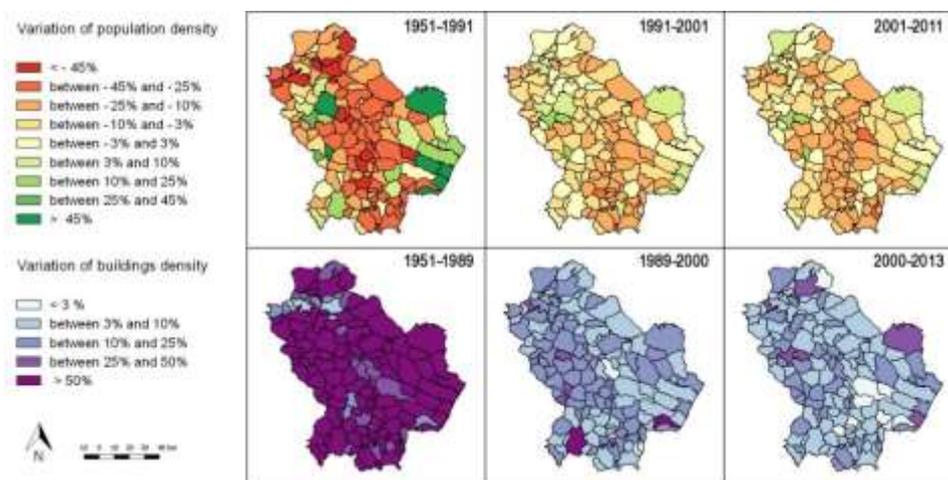
**Figura 3.** Confronto tra edifici residenziali e altri usi nelle cinque fasi temporali considerate.

Db e Dp sono stati calcolati per ogni fase temporale con le formule (1) espone nel paragraph 2.2. Per quanto riguarda Db l'analisi ha riguardato solamente gli edifici classificati come residenziali.

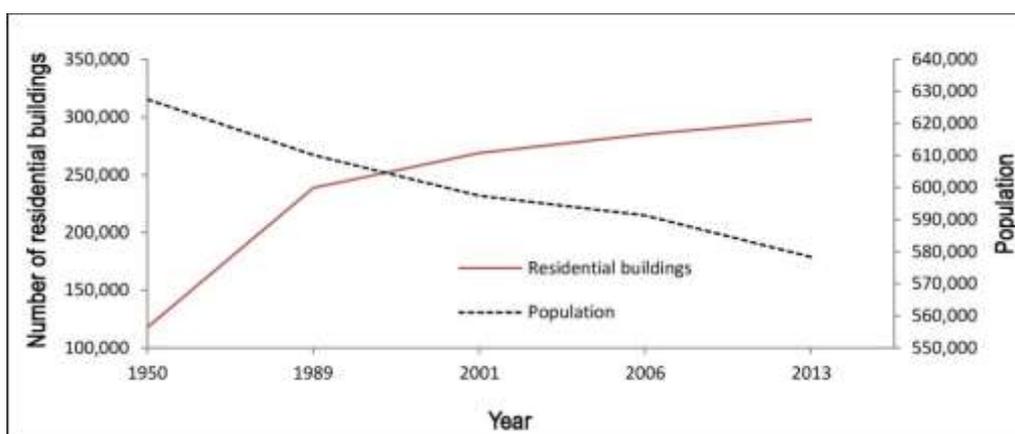
La tabella 4 mostra i risultati raggruppati per l'intera regione e per ciascuno dei periodi considerati. La figura 5 mostra un confronto grafico della variazione dei due indici: il primo basato su dati censiti nel 1951-1991-1991-2001-2001-2011, e il secondo considera le fasi dell'evoluzione storica degli insediamenti nel 1951-1989-2000-2013. I dati ottenuti mostrano che tra il 1950 e il 2013, in 108 dei 131 comuni, una variazione demografica negativa non è stata accompagnata da una riduzione dell'espansione urbana, che, al contrario, ha avuto un andamento positivo (Figura 5). Nella maggior parte dei comuni, l'espansione dell'edilizia abitativa è stata del tutto sproporzionata rispetto al cambiamento demografico, evidenziando che lo sviluppo degli insediamenti non è stato determinato da un reale bisogno abitativo.

**Tabella 3.** Variazione nel tempo della popolazione e degli edifici della Basilicata.

Anno	Popolazione (N.)	Edifici Residenziali [ $B_R$ ] (n)	$D_p$ (Abitanti/Ettaro)	$D_b$ ( $B_R$ /ha)
1950	627,586	117,687	0.63	0.12
1989	610,186	238,603	0.61	0.24
1998	597,468	269,019	0.60	0.27
2006	591,338	285,072	0.59	0.28
2013	578,391	297,810	0.58	0.30



**Figura 4.** Confronto tra la variazione della densità della popolazione e la densità dell'edificio per ciascun comune della Basilicata in tre periodi di tempo.



**Figura 5.** Confronto tra insediamento residenziale ed evoluzione della popolazione dal 1950 al 2013.

Abbiamo osservato come l'aumento degli edifici residenziali nella regione non sia stato in linea con le tendenze demografiche. In particolare, mentre la popolazione residente è diminuita dal 1950 al 2013, gli stock residenziali sono aumentati nel tempo. Tali evidenze ci hanno permesso di considerare un'ipotesi preliminare: la divergenza tra domanda e offerta di funzioni residenziali a livello regionale può dipendere

dalla mancanza di un sistema di regolazione urbana, ed essere correlata ad una domanda specifica di nuovi edifici residenziali caratterizzati da standard tecnologici e architettonici più elevati.

Le discrepanze tra l'evoluzione demografica e l'evoluzione degli insediamenti possono essere esaminate anche attraverso le mappe fornite in Figura 5. Viene rappresentato un confronto tra la variazione della densità di popolazione in tre diversi periodi, le date dei censimenti ISTAT e la variazione della densità edilizia nelle tre fasi corrispondenti.

Nel 2013, la densità abitativa e la densità edilizia avevano valori di circa 0,2-0,5 abitanti per ettaro e 0,1 edifici per ettaro, rispettivamente per 107 dei 131 comuni. Seguendo i parametri territoriali medi definiti da Romano et al. per l'identificazione dei fenomeni di espansione urbana e di aspersione urbana, una parte considerevole del territorio della Basilicata può essere considerata interessata dal fenomeno dell'aspersione urbana se si considera il modello esteso italiano. La restante parte (minima) è stata interessata dal fenomeno dell'aspersione urbana secondo il modello lineare italiano.

# Policentrismo e rango dei centri di offerta di servizio con riferimento ai livelli di accessibilità territoriale della Basilicata e alla specializzazione territoriale nell'offerta di servizi e attrezzature pubbliche essenziali e nella dotazione di strutture produttive e clustering territoriali

## Lo stock di servizi ed attrezzature

La dotazione di servizi e attrezzature è un parametro rispetto al quale valutare la qualità della vita in uno specifico territorio anche attraverso il confronto (benchmark) con realtà di riferimento. D'altra parte può essere inteso come valutazione di deficit, ovvero di assenza di requisiti minimi di offerta di servizi e attrezzature in riferimento alle funzioni urbane esercitate da ciascuna unità territoriale.

Nel nostro caso di studio lo stock di servizi e attrezzature rappresenta il layer di riferimento per l'elaborazione della struttura policentrica in Basilicata. Tale strato informativo è peculiare anche per le modalità attraverso le quali è stato elaborato.

## Le categorie e la localizzazione

Utilizzando dei dati open source e dei dati disponibili online, rielaborati attraverso sistemi di informazione geografica, è stato possibile definire una mappa dei servizi del territorio relativi all'intera regione.

Il lavoro si è concentrato sulla distribuzione di attività e servizi presenti sul territorio regionale ed è stato suddiviso in tre fasi: raccolta dei dati tramite Google My Maps; georeferenziazione dei dati ha impiegato il software QGIS; analisi dei dati.

I servizi urbani atti a garantire un livello elementare di prestazioni al centro base sono stati definiti nel modo seguente:

CATEGORIE:

**Tabella 4.** Definizione dei servizi e delle attrezzature.

L1 Code	L1	Codice di riferimento
CM	Commercio	a
CA	Cultura	b
IF	Istruzione	c
SM	Sanità	d
SR	Servizi generali	e
SF	Servizi finanziari	f
SP	Servizi pubblici	g
SC	Sicurezza	h
ST	Sport e tempo libero	i
TR	Turismo	l

Utilizzando Google my Maps, è stato possibile identificare e mappare le attività sopra elencate, ricercate consultando varie fonti: database di varie istituzioni consultabili online, siti web delle attività, elenchi disponibili di associazioni o autorità pubbliche.

Ogni categoria è stata suddivisa in sottocategorie identificate con il codice L2:

- Istruzione e formazione: IF01-Scuola Materna; IF02-Scuola Elementare; IF03-Scuola Media Inferiore; IF04-Scuola Superiore; IF05-Nido; IF06-Università; IF08-Conservatorio; IF09-Ente di

informazione privato; IF10-Centri di ricerca; IF11-Centro studi; IF12-Parco tecnologico; IF13-Autoscuola; IF14-Scuola di lingue.

- Commercio: CM01-Alimentari (piccola distribuzione); CM02-Supermercati (grande distribuzione organizzata); CM03-Macelleria, CM04-Abbigliamento e calzature; CM05-Elettronica, elettrodomestici e multimedia (piccola e grande distribuzione); CM07-Telefonia; CM08-Gioielleria; CM09-Arredamento; CM10-Ortofrutta; CM11-Edicola; CM12-Libreria; CM13-Cartoleria e minuteria; CM14-Auto, moto e altri veicoli; CM15-Vendite veicoli agricoli industriali.
- Servizi: SR01-Carrozzeria e officina meccanica; SR02-Distributori di carburante; SR03-Falegnameria, ferramenta e fabbro; SR04-Idraulico, installatore condizionatori; SR05-Elettricista; SR06-Vigilanza e sicurezza; SR07-Tipografia e stampa, grafica, comunicazione e design; SR09-Trasporto merci; SR10-Trasporto persone; SR11-Studio tecnico (ingegneria, architettura, geologia, geometra); SR12-Studio legale; SR13-Studio notarile; SR14-Consulenza Fiscale; SR15-Parrucchiere, barbiere, estetista; SR16-Noleggio veicoli industriali e commerciali, autonoleggio.
- Servizi pubblici: SP01-Municipio e altri uffici; SP02-Ufficio postale; SP03-Biblioteca; SP04-Giudice di Pace; SP05-INPS.
- Turismo: TR01-Hotel 5 stelle; TR02-Hotel 4 stelle; TR03-Hotel 3 stelle; TR04-Hotel 2 stelle; TR05-Hotel 1 stella; TR06-Agriturismo; TR07-B&B; TR08-Camping; TR09-Ristorante, pizzeria, trattoria, tavola calda; TR11-Apartmenti e case vacanze.
- Cultura, arte, editoria: CA01-Teatro; CA02-Cinema; CA03-Centro sociale, circolo creativo, centro culturale; CA04-Proloco; CA05-Editoria, carta stampata, edizione culturali; CA06-Sindacato; CA07-Parrocchia, oratorio, centro religioso; CA08-Associazione culturale.
- Sport e tempo libero: ST01-Stadio; ST02-Palestra; ST03-Piscina; ST04-Campo sportivo (calcetto, tennis, bocce e altre tipologie); ST05-Ludoteca e servizi di animazione per l'infanzia; ST06-Associazione sportiva dilettantistica; ST07-Bar; ST08-Locali notturni; ST09-Sala giochi, centro scommesse; ST10- Terme.
- Sanità medicina e salute: SM01-Azienda Sanitaria; SM02-Ambulatorio, Poliambulatorio, Centri analisi cliniche; SM03-Guardia Medica; SM04-Postazione 118; SM07-Farmacia; SM08-Studio medico medicina generale; SM09-Studio medico specialistico; SM10-Dentista, odontoiatra, odontotecnico; SM11-Centro estetico; SM12-Casa di cura per anziani; SM13-Centro cure riabilitative; SM14-Cooperative sociali; SM15- Parafarmacia.
- Sicurezza: SC01-Comando di Polizia Municipale; SC02-Polizia; SC03-Carabinieri; SC04-Guardia di Finanza; SC05-Corpo Forestale dello Stato; SC06-Associazione Protezione civile; SC07-Vigili del fuoco; SC08- Esercito; SC09-Carceri Giudiziarie.
- Servizi finanziari: SF01-Banca; SF02-Agenzie di assicurazioni e intermediari finanziari; SF03-ATM/Bancomat.

## Localizzazione

My Maps di Google è una piattaforma gratuita che ha permesso di creare mappe in modo interattivo e collaborativo e consentito di integrare le attività e i servizi già presenti sulle mappe con quelli identificati in questa fase.

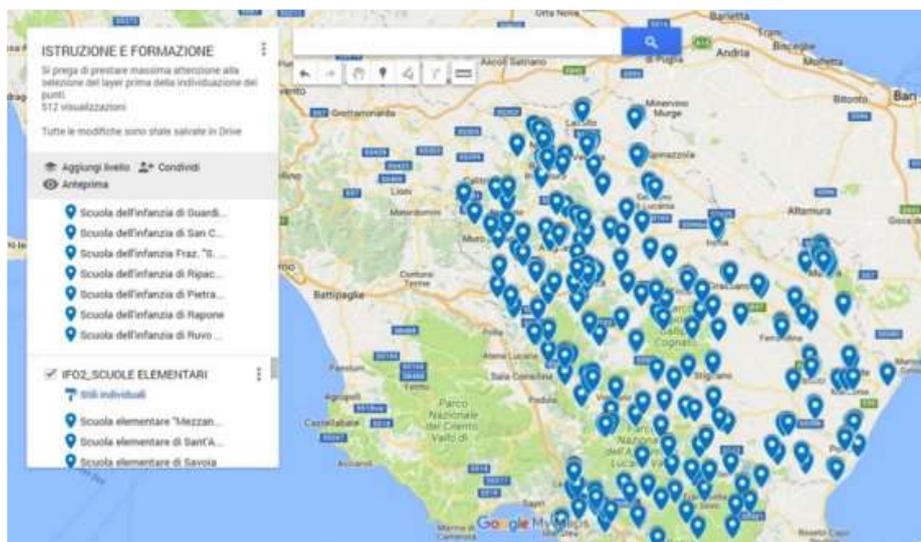


Fig. 6. Mappa della categoria "Istruzione e Formazione" realizzata su Google My Maps.

La fase di raccolta dati ha consentito l'individuazione di circa 17.000 attività e servizi in tutta la Basilicata, come di seguito riportato:

Tabella 5. Numero di attività presenti sul territorio.

Categorie	Numero di attività	Codice di riferimento
Commercio	3790	a
Cultura	1574	b
Istruzione	944	c
Sanità	1708	d
Servizi generali	3565	e
Servizi finanziari	738	f
Servizi pubblici	437	g
Sicurezza	540	h
Sport e tempo libero	1991	i
Turismo	1595	l

Sulla base della frequenza dei singoli servizi è possibile elaborare una valutazione aggregata del rango di ciascun centro urbano.

Google My Maps ci ha permesso di esportare le mappe create durante la fase di raccolta dei dati in formato kmz. Quindi, queste mappe sono state riportate nel software Q-GIS per ulteriori elaborazioni.

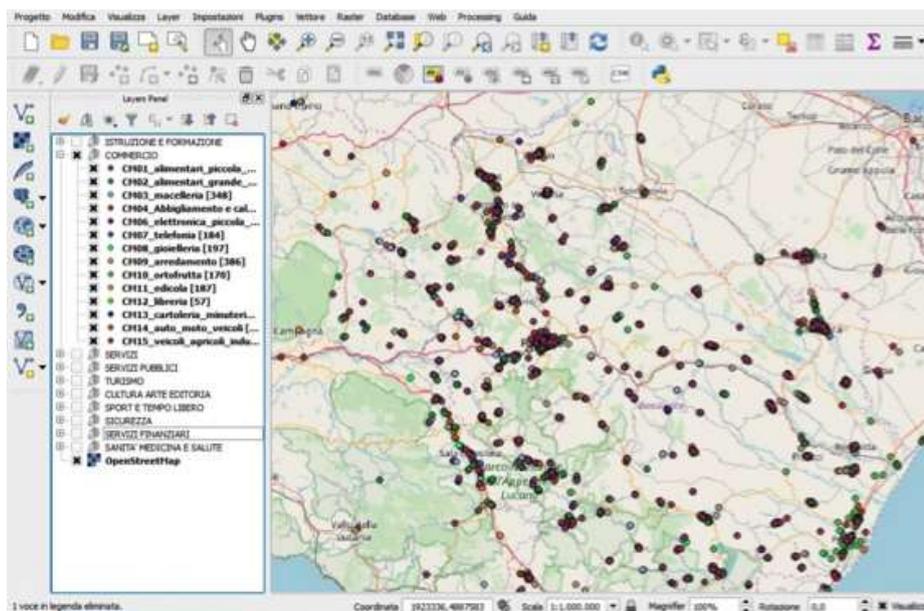


Fig. 7. Mappa della categoria “Commercio” importata su QGIS.

My Maps adotta un sistema di coordinate geografiche, quindi le mappe sono state esportate con il sistema di coordinate EPSG 4326. Per una corretta elaborazione nel software Q-GIS, è stato necessario riproiettare i dati in un sistema di coordinate piane, in particolare per la Basilicata è stato adottato il sistema di coordinate EPSG 32633. Pertanto, i file kmz sono stati importati in Q-GIS, riproiettati nel sistema corretto e salvati come shape file. Per ogni shape file, è stata creata una tabella degli attributi contenente i campi mostrati di seguito.

Tabella 6. Campi della Tabella attributi.

Nome Campo	Tipo	Lunghezza	Descrizione
Denominazione	String	254	Nome dell' attività/servizio
L1_CODE	String	10	Codice Macro-categoria
L1_CAT	String	254	Nome Macro-categoria
L2_CODE	Integer	4	Codice Sotto-categoria
L2_CAT	String	254	Nome Sotto-categoria
x_coord	Real	23	Latitudine
Y_coord	Real	23	Longitudine

Il rendere uniformi le tabelle degli attributi è stato necessario al fine di poter unire i vari vettori e ottenere uno shape file complessivo contenente tutte le categorie di servizi e attività della regione Basilicata.

Le mappe sono state esportate in ambiente Gis” per ulteriori analisi. Il risultato finale è stata la stesura della “**Carta dei servizi della regione Basilicata**”. L’elaborato è utile per valutare la distribuzione dei servizi sull’intero territorio, in modo da poter definire la dotazione di ogni comune lucano.

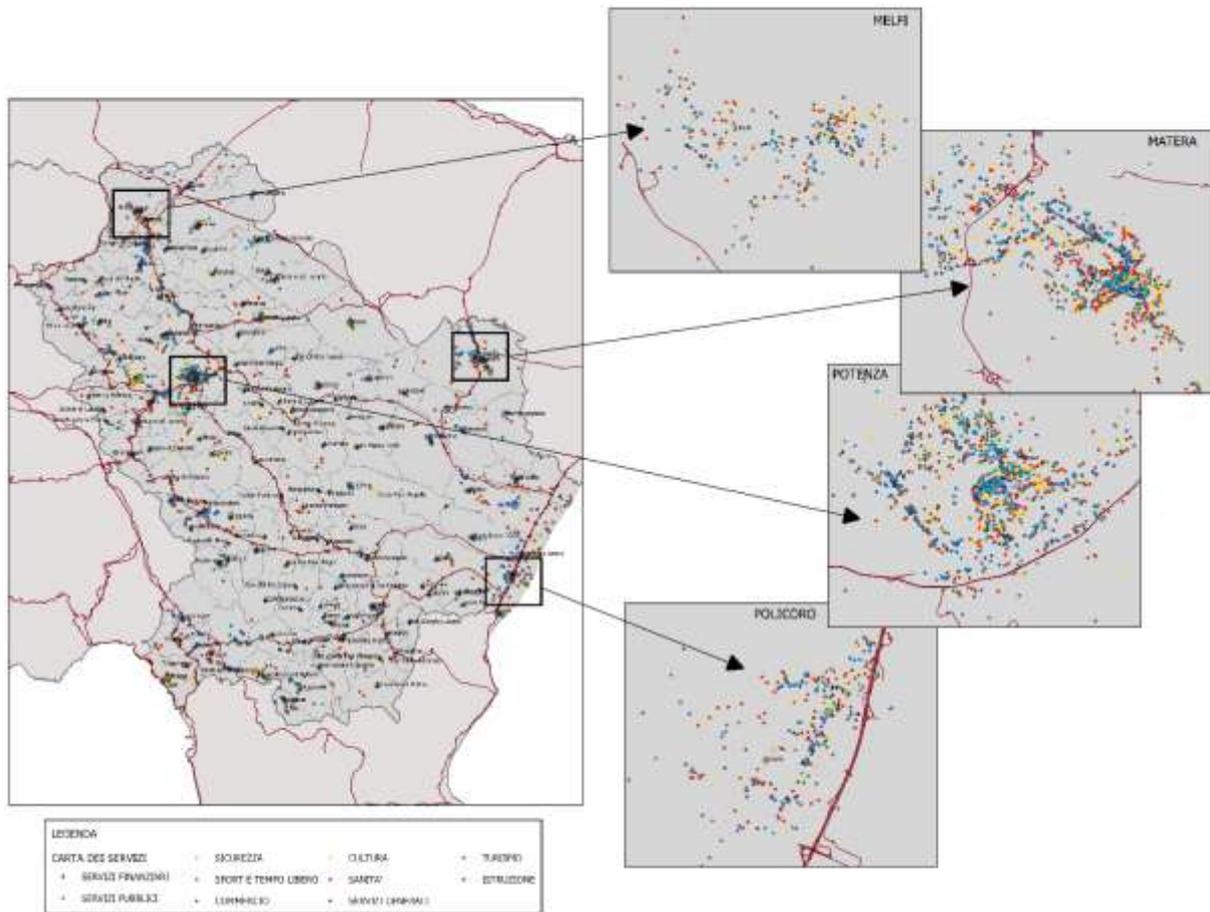


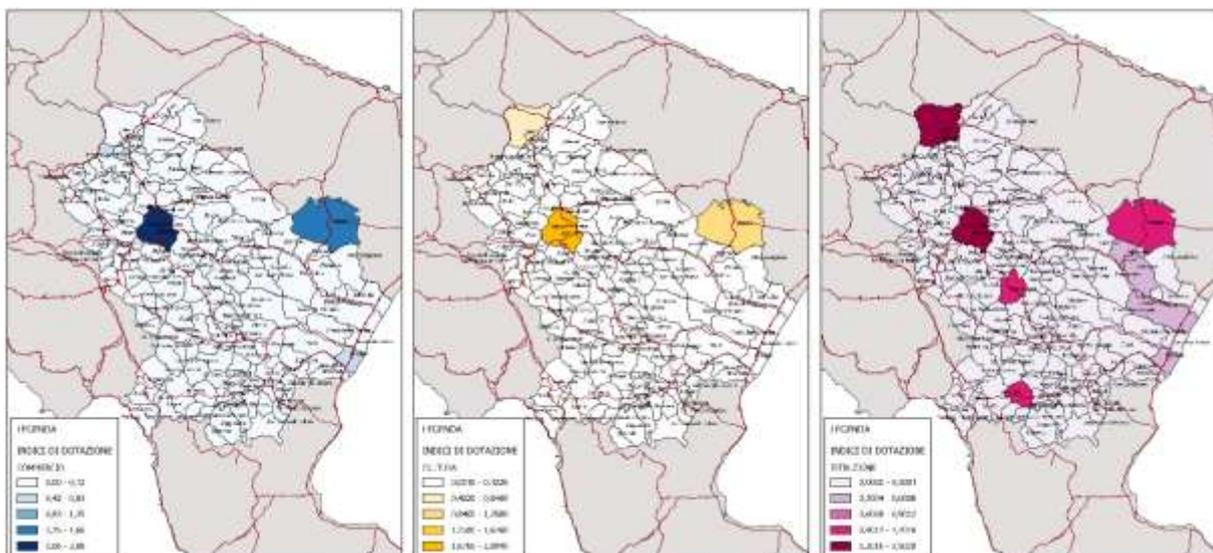
Figura 8. Carta dei servizi della Regione Basilicata.

### Le specializzazioni territoriali nell'offerta di servizi ed attrezzature

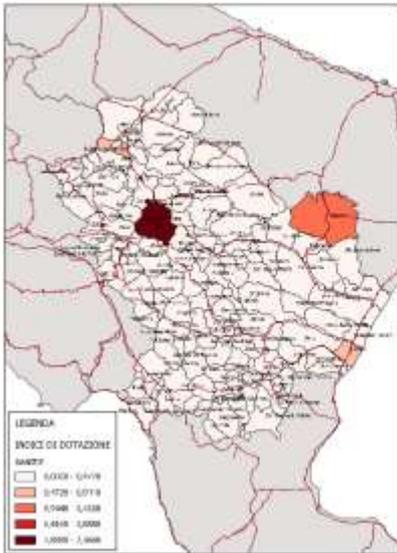
Per ogni categoria L2 si è calcolato l'indice di dotazione che è pari a:

$$\sum \frac{x_{ij}}{f_j}$$

I dati sono stati riportati nel software Q-gis, che ha restituito i seguenti elaborati:



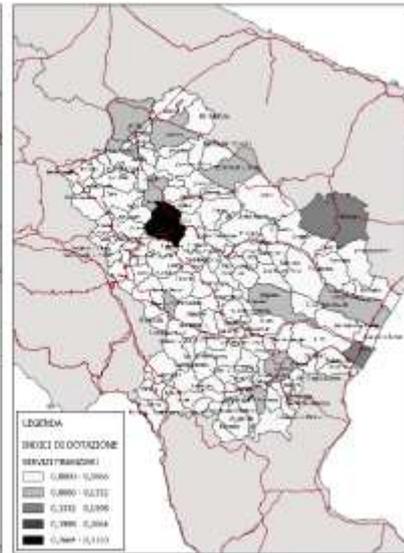
a) commercio



b) cultura



c) istruzione



d) sanità



e) servizi generali



f) servizi finanziari



g) servizi pubblici

h) sicurezza

i) sport e tempo libero



l) turismo

Figura 9. Indici di dotazione.

## Gerarchia e sistemi urbani

### PREMESSA

Si può osservare come, data una regione sufficientemente vasta, gli insediamenti residenziali e quelli produttivi non si distribuiscono nello spazio in maniera uniforme, ma tendono a raggrupparsi in centri di diverse dimensioni. Il fenomeno della concentrazione delle attività produttive e di conseguenza delle zone residenziali è dovuto a quello che gli economisti chiamano *“economie di agglomerazione”*.

Entro sistemi urbani apparentemente in equilibrio coesistono città di diverse dimensioni a cui corrispondono differenti funzioni economiche. In genere si rileva che:

- i **centri più piccoli** accolgono funzioni che trovano sbocco nella domanda locale a seguito delle limitate economie di scala e dimensioni di produzione.
- i **centri maggiori** accolgono invece anche funzioni più rare e specializzate in cui compaiono più rilevanti economie di scala.

Ogni centro tende a localizzarsi nel baricentro dell'area da lui servita al fine di minimizzare i costi di trasporto. Se questo centro produce beni e servizi molto rari, avrà un raggio di azione molto vasto e le persone saranno portate a percorrere anche molta strada per acquistare quel tipo di bene. Al contrario, per acquistare beni molto più comuni i consumatori non saranno più disposti a sopportare percorsi lunghi. In questo caso nasceranno dei centri più piccoli, produttori di beni meno rari. Questi centri, avendo un'area di influenza minore si localizzeranno più vicini l'uno all'altro.

Ciò spiega le ragioni dell'esistenza di centri di varie dimensioni e la loro distribuzione all'interno del territorio in funzione della dimensione e della reciproca distanza. Ne consegue una specializzazione delle funzioni che ogni centro svolge e una gerarchia dei centri stessi.

È possibile misurare il numero e il tipo di funzioni svolte da ciascuna città o area metropolitana. La gerarchia assume la forma di una piramide al cui vertice compaiono poche città grandi, mentre alla base si

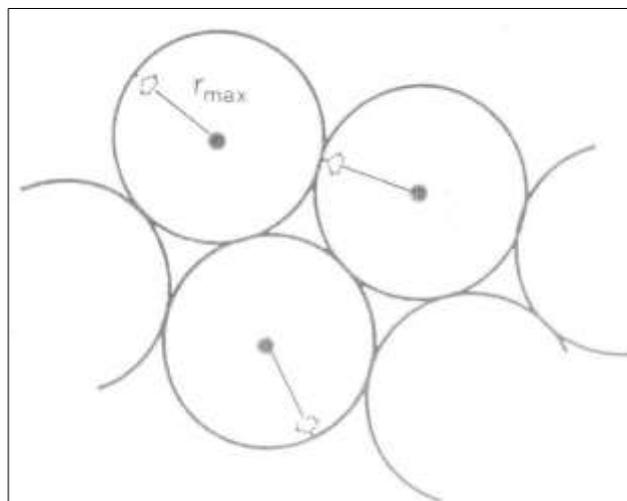
trovano molti centri piccoli. Le città di dimensioni minori sono sempre di numero maggiore rispetto a quelle grandi.

### La teoria dei luoghi centrali

*“In una stessa regione troviamo città grandi e piccole d’ogni genere, a volte ammassate, senza alcun apparente motivo logico, in una certa zona, mentre vi sono ampi spazi in cui non esiste alcuna località che porti il nome di città e nemmeno quello di mercato. Si tende sempre a sottolineare che la relazione esistente tra città e l’attività lavorativa dei suoi abitanti non è casuale, bensì motivata dalla loro stessa natura: ma allora perché la loro distribuzione è così irregolare? Noi cerchiamo di dare una risposta a tale interrogativo e cerchiamo anche il motivo per il quale una città è grande o piccola, perché riteniamo che la distribuzione debba essere regolata da un qualche principio ordinatore che ancora non abbiamo individuato”.* (Christaller, 1933)

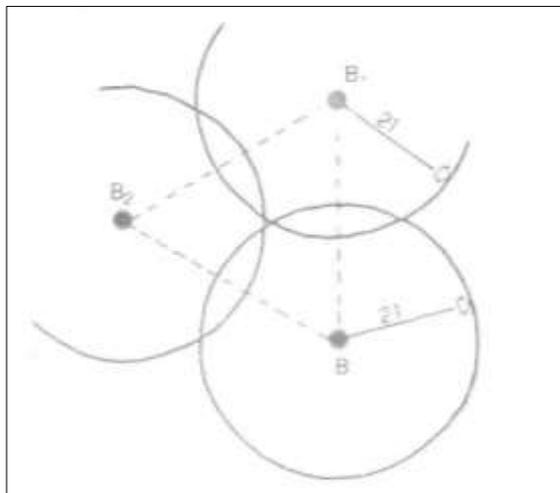
Il geografo Walter Christaller per primo osserva che i centri di un dato territorio non hanno dimensioni e posizioni casuali, ma tendono a localizzarsi a certe distanze l’uno dall’altro formando una gerarchia. **L’importanza o rango di una città si misura a partire dall’estensione del territorio soggetto alla sua influenza, cioè dal numero di abitanti che usufruiscono dei servizi prodotti dalla città.** Le aree si sovrappongono tra loro fino a costituire i **sistemi urbani**. Nasce così il concetto di gerarchia urbana. Se si definisce la città come il luogo nel quale vengono prodotti beni e servizi a differenti livelli di specializzazione allora ad ognuna di esse si può attribuire un territorio la cui ampiezza dipende dal livello e quindi dal rango del servizio o bene prodotto. Esiste anche una distanza massima o **soglia** al di là della quale un individuo non è disposto più a muoversi per procurarsi di un determinato bene o prodotto. Su questa teoria si determina la gerarchia dei centri in relazione ai livelli di servizi e si può capire perché in un territorio sufficientemente esteso gli insediamenti urbani non sono uniformemente distribuiti, ma si dispongono spazialmente secondo determinate regole e si sviluppano secondo dimensioni diverse.

Il modello di Christaller parte dal presupposto che il territorio sia isotropo ed isoformo in cui i centri urbani si dispongono a distanze regolari, infatti ogni città presenta un raggio massimo d’azione e, oltre questa distanza, nasceranno altre città che produrranno lo stesso bene in modo tale che tutto il territorio sia ugualmente servito.



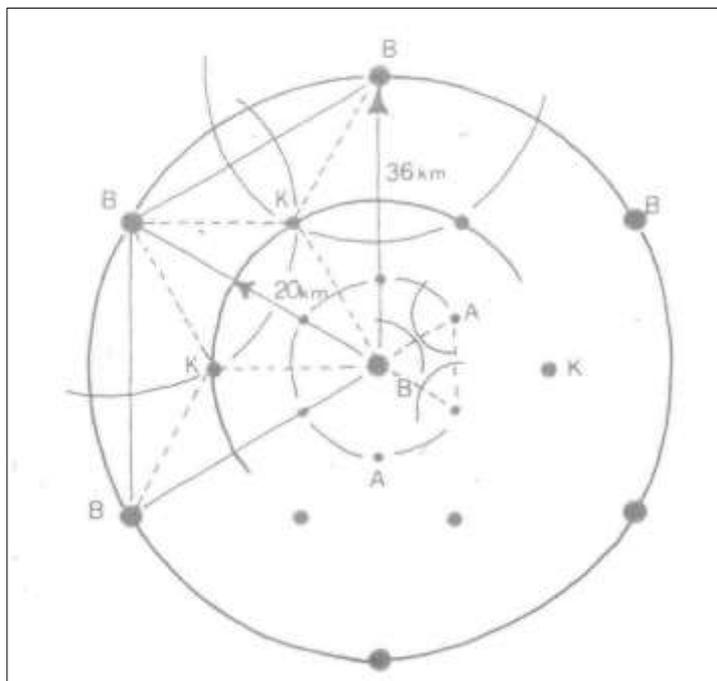
**Figura 10.** Raggi d'azione di un bene, Christaller.

Si consideri che un determinato bene abbia una soglia massima di 21 km e che sia prodotto nella “città B”. L’area di raggio di 21 km sarà interamente servita dalla città B, fuori da questo raggio sorgeranno altre località di classe B, B1, B2, B3, fino a ricoprire l’intero territorio. Esse si disporranno attorno alla città B lungo un anello.



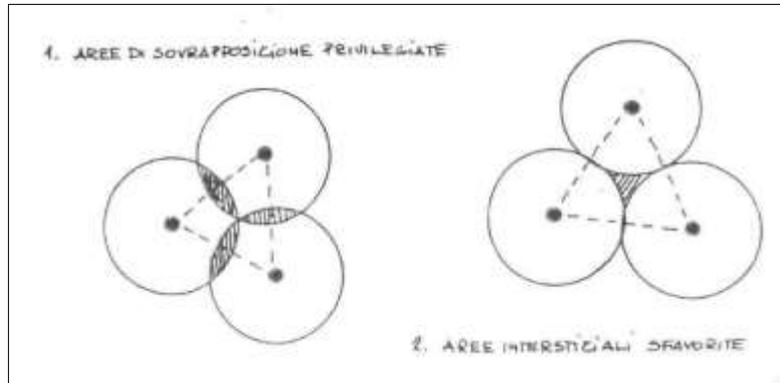
**Figura 11.** Raggio d'azione un bene della città b, Christaller.

Se consideriamo un bene di classe inferiore con soglia massima di 20 km per rifornire il territorio sarà necessario collocare altri centri di classe immediatamente inferiore, chiamate *località K*. Ripetendo il ragionamento con beni via via inferiori, nasceranno delle località di classe A. Da questa impostazione scaturisce infine un’organizzazione distributiva di centri gerarchizzati sul territorio.

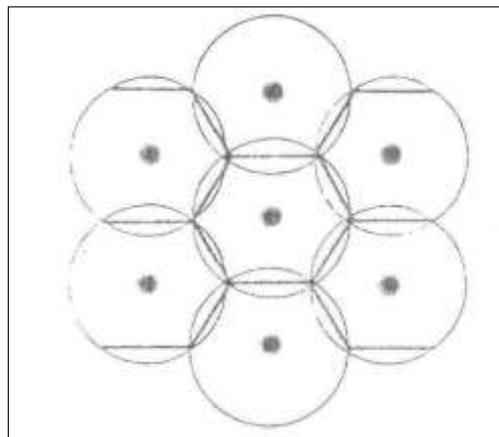


**Figura 12.** Formazione di nuove località, Christaller.

Le aree di influenza o *territori complementari* assumono la forma di circonferenze e per poter servire l'intero territorio è necessario che esse si intersechino. L'area risultante dall'intersezione costituisce un'area privilegiata perché ogni abitante di essa potrebbe indifferentemente andare da una località ad un'altra.



**Figura 13.** Aree di influenza, Christaller.



**Figura 14.** Aree di influenza esagonali, Christaller.

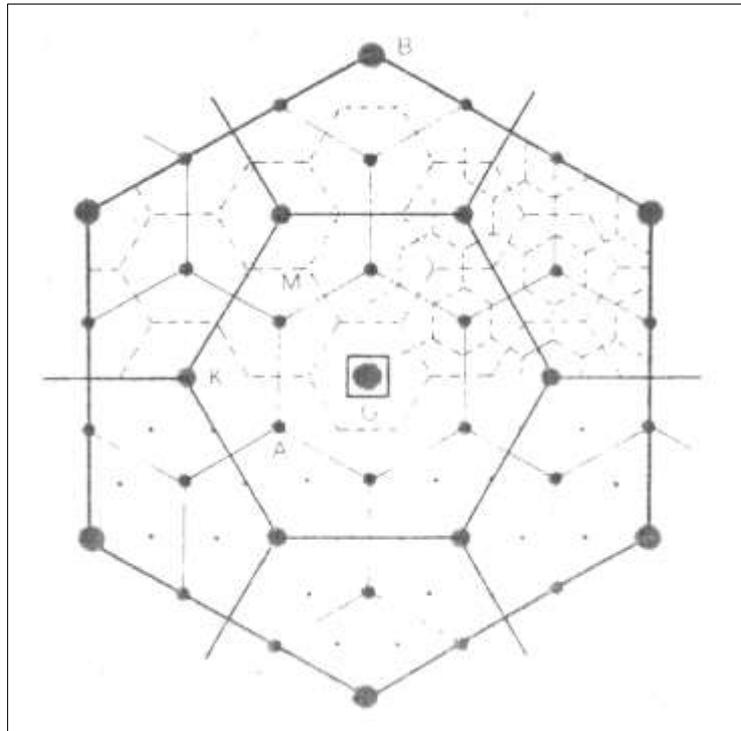


Figura 15. Modello geometrico di Christaller.

La gerarchia delle città dipende dal grado delle funzioni che queste esplicano e in particolare dal livello dei servizi che offrono. Non si tratta di una "graduatoria" delle città, ma della "dipendenza gerarchica", nel senso che quelle di rango più elevato abbracciano nella loro sfera di servizi superiori anche le aree gravitanti per i servizi comuni su città di rango inferiore: quanto più elevate sono le funzioni e quanto più "rari" sono i servizi, tanto più estesa sarà l'area d'influenza.

### Rank-size rule

Un particolare studio empirico è stato condotto da Zipf nel 1941 e codificato come **rank-size rule** o **legge rango-dimensione**.

In una rete urbana c'è corrispondenza tra la dimensione demografica (size) di una città e la posizione (rule) che essa occupa nella graduatoria per numero di abitanti fra tutte le città della rete. Per Zipf la legge rango-dimensione è il risultato dell'interazione tra le forze derivanti dalle economie di agglomerazione e la tendenza al minimo costo di trasporto. Questa legge permette di misurare il grado di gerarchizzazione della rete urbana, facilitando la comparazione tra diverse situazioni regionali.

Sperimentazioni empiriche condotte sulla distribuzione dei centri urbani di diverse nazioni, hanno dimostrato che esiste una relazione statistica tra la dimensione dei centri di un sistema urbano.

La legge rango-dimensione assume che il peso demografico può verosimilmente riflettere il rango funzionale dei centri urbani di un determinato contesto spaziale, affermando quindi che la dimensione demografica ( $P_i$ ) del centro urbano che occupa il rango  $n$  nell'ordinamento urbano, da quello principale al più piccolo, deve essere pari alla popolazione della conurbazione maggiore ( $P_1$ ) diviso il numero del rango ( $r$ ), ossia:

$$P_i = \frac{P_1}{r_i}$$

Il confronto tra la distribuzione reale della popolazione urbana e quella postulata dalla regola dovrebbe consentire di distinguere sistemi fortemente gerarchici (e quindi monocentrici) da sistemi tendenzialmente paritari (e pertanto policentrici).

Se si riportano i valori ottenuti dalla formula in un diagramma cartesiano avente come asse delle ascisse il rango e come asse delle ordinate la popolazione, si può osservare che i centri si dispongono secondo un'iperbole equilatera, questo vuol dire che i centri che compongono un territorio crescono in misura proporzionale tra loro e proporzionalmente alla città principale, detta *primate rule*.

Questa regola evidenzia una struttura gerarchica dei centri che formano un dato sistema urbano.

### Il rango dei centri urbani nella Regione Basilicata

In relazione all'obiettivo della ricerca, ovvero investigare forme e strutture di organizzazione territoriale per la regione Basilicata secondo un approccio policentrico orientato ad una efficienza distributiva di servizi, infrastrutture come base per la costruzione di più efficaci politiche di sviluppo territoriale, un primo livello di valutazione parte dalla costruzione del rango dei centri lucani. L'unità statistica di riferimento è il comune.

Le variabili considerate a questo livello sono: in primis la popolazione residente al 2011 confrontata con la dotazione di servizi (totale e per macro-categorie), e con le evidenze della regola rango-dimensione di Zipf.

Come prima analisi si è proceduto ad ordinare, in ordine decrescente, i comuni lucani in base alla popolazione residente facendo riferimento all'ultimo censimento del 2011. La posizione occupata da ciascun comune nella graduatoria costituisce, secondo la regola di Zipf, il rango del centro stesso. Applicando la regola rango-dimensione, che ricordiamo essere il rapporto tra la popolazione della città più grande, Potenza, e il rango di ciascun comune, otteniamo una popolazione teorica.

**Tabella 7.** il rango secondo la regola di Zipf.

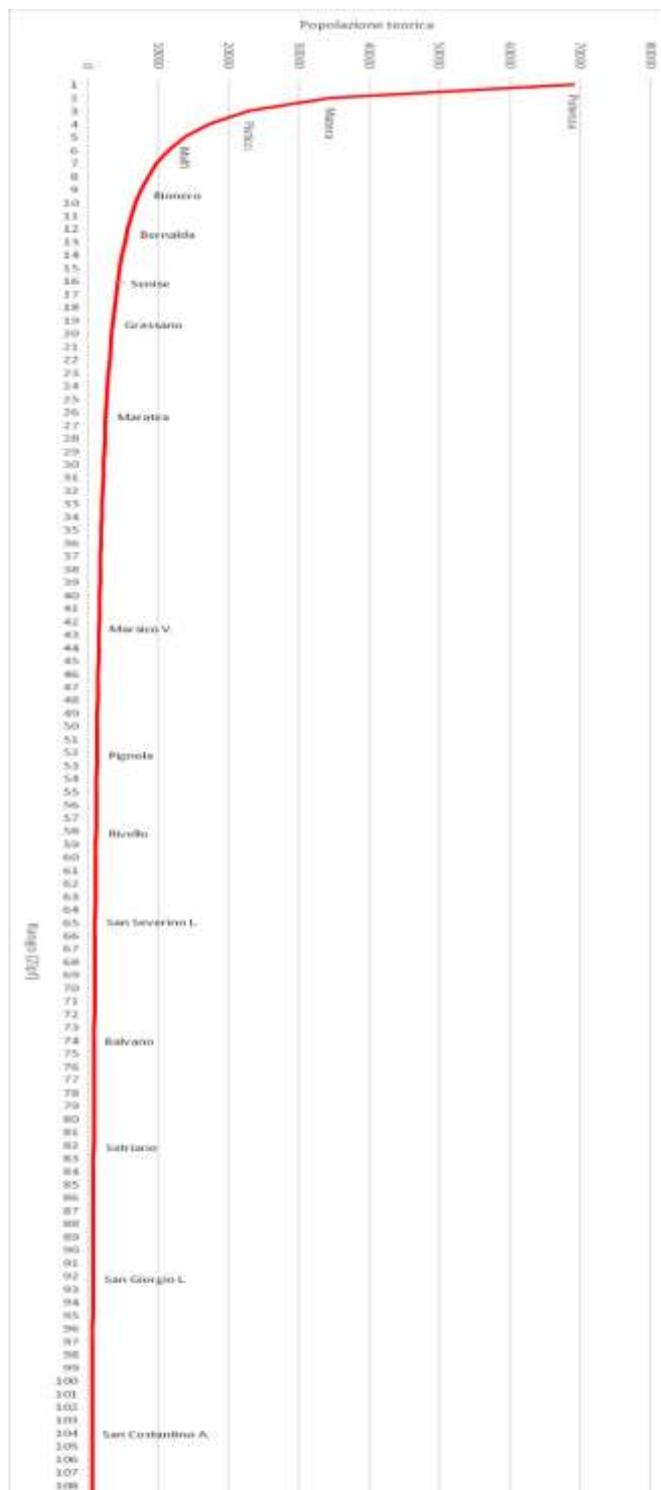
<b>Comune</b>	<b>R (Zipf)</b>	<b>Popolazione teorica</b>
Potenza	1	68986
Matera	2	34493
Pisticci	3	22995
Policoro	4	17247
Melfi	5	13797
Lauria	6	11498
Lavello	7	9855
Avigliano	8	8623
Rionero in Vulture	9	7665
Venosa	10	6899
Montescaglioso	11	6271
Bernalda	12	5749
Montalbano Jonico	13	5307
Ferrandina	14	4928
Sant'Arcangelo	15	4599
Senise	16	4312
Stigliano	17	4058
Irsina	18	3833
Grassano	19	3631
Tricarico	20	3449
Genzano di Lucania	21	3285
Lagonegro	22	3136
Picerno	23	2999

Tursi	24	2874
Palazzo San Gervasio	25	2759
Maratea	26	2653
Nova Siri	27	2555
Latronico	28	2464
Vietri di Potenza	29	2379
Tito	30	2300
Calvello	31	2225
Pomarico	32	2156
Rapolla	33	2090
Moliterno	34	2029
Muro Lucano	35	1971
Ripacandida	36	1916
Bella	37	1864
Brienza	38	1815
Pietragalla	39	1769
Marsico Nuovo	40	1725
San Fele	41	1683
Rotondella	42	1643
Marsicovetere	43	1604
Rotonda	44	1568
Abriola	45	1533
Viggianello	46	1500
Oppido Lucano	47	1468
Tolve	48	1437
Paterno	49	1408
Forenza	50	1380
Castelgrande	51	1353
Pignola	52	1327
Salandra	53	1302
Scanzano Jonico	54	1278
Grottole	55	1254
Corleto Perticara	56	1232
Barile	57	1210
Rivello	58	1189
Ruoti	59	1169
Atella	60	1150
San Mauro Forte	61	1131
FrancaVilla in Sinni	62	1113
Miglionico	63	1095
Trecchina	64	1078
San Severino Lucano	65	1061
Filiano	66	1045
Valsinni	67	1030
Castelluccio Inferiore	68	1015
Accettura	69	1000
Tramutola	70	986
Acerenza	71	972
Laurenzana	72	958
Viggiano	73	945
Balvano	74	932
Ruvo del Monte	75	920
Grumento Nova	76	908
Pescopagano	77	896

Baragiano	78	884
Banzi	79	873
Anzi	80	862
Montemilone	81	852
Satriano di Lucania	82	841
Sarconi	83	831
Vaglio Basilicata	84	821
Episcopia	85	812
Chiaromonte	86	802
Albano di Lucania	87	793
Maschito	88	784
San Martino d'Agri	89	775
Castelsaraceno	90	767
Rocanova	91	758
San Chirico Nuovo	92	750
San Giorgio Lucano	93	742
Spinoso	94	734
Colibraro	95	726
Cancellara	96	719
Terranova di Pollino	97	711
Castronuovo di Sant'Andrea	98	704
San Chirico Raparo	99	697
Sant'Angelo Le Fratte	100	690
Pietrapertosa	101	683
Aliano	102	676
Gorgoglione	103	670
Noepoli	105	657
San Costantino Albanese	104	663
Garaguso	106	651
Carbone	107	645
Brindisi Montagna	108	639
Ginestra	109	633
Castelluccio Superiore	110	627
Campomaggiore	111	621
Montemurro	112	616
Calciano	113	610
Gallicchio	114	605
Armento	115	600
Rapone	116	595
Teana	117	590
Castelmezzano	118	585
Sasso di Castalda	119	580
Savoia di Lucania	120	575
Craco	121	570
Nemoli	122	565
San Paolo Albanese	123	561
Cersosimo	124	556
Trivigno	125	552
Fardella	126	548
Guardia Perticara	127	543
Oliveto Lucano	128	539
Calvera	129	535
Missanello	130	531
Cirigliano	131	527

---

Se riportiamo su un diagramma cartesiano tali valori (asse delle ascisse il rango e asse delle ordinate la popolazione teorica), osserviamo che i centri si dispongono secondo un'iperbole. Questo vuol dire che i centri urbani che compongono il territorio organizzano la propria dimensione demografica in misura proporzionale tra loro e alla città principale in analogia a quanto empiricamente proposto da Zipf.



**Grafico 1.** Distribuzione dei centri lucani secondo la regola rango-dimensione.

Tradizionalmente, ai comuni facenti parte di un determinato contesto di studio, si attribuisce un “rango” sulla base della popolazione residente. Nel grafico seguente si rappresenta la cumulata della popolazione residente al 2011 nei 131 comuni lucani. Nel grafico sono indicate, in prima approssimazione, quattro soglie corrispondenti alla classificazione di comuni in quattro ranghi.

Si tratta di un processo di interpretazione qualitativa della distribuzione statistica che riportiamo per documentare l'intero processo valutativo che a partire da questa prima ipotesi di lavoro ci ha portato a sviluppare due successive classificazioni basate sul confronto di più variabili (non solo popolazione residente, ma anche popolazione teorica e differenza secondo la regola di Zipf, dotazione di servizi e attrezzature - totale e per macro-categorie). Tali valutazioni hanno anche considerato la dimensione spaziale, ovvero la distribuzione dei centri di rango 1 sul territorio regionale al fine di preconizzare aggregazioni e strutture policentriche.

## Due ipotesi di lavoro per una gerarchia funzionale dei sistemi urbani in Basilicata

Sulla base dei risultati ottenuti si evidenziano alcune debolezze interpretative:

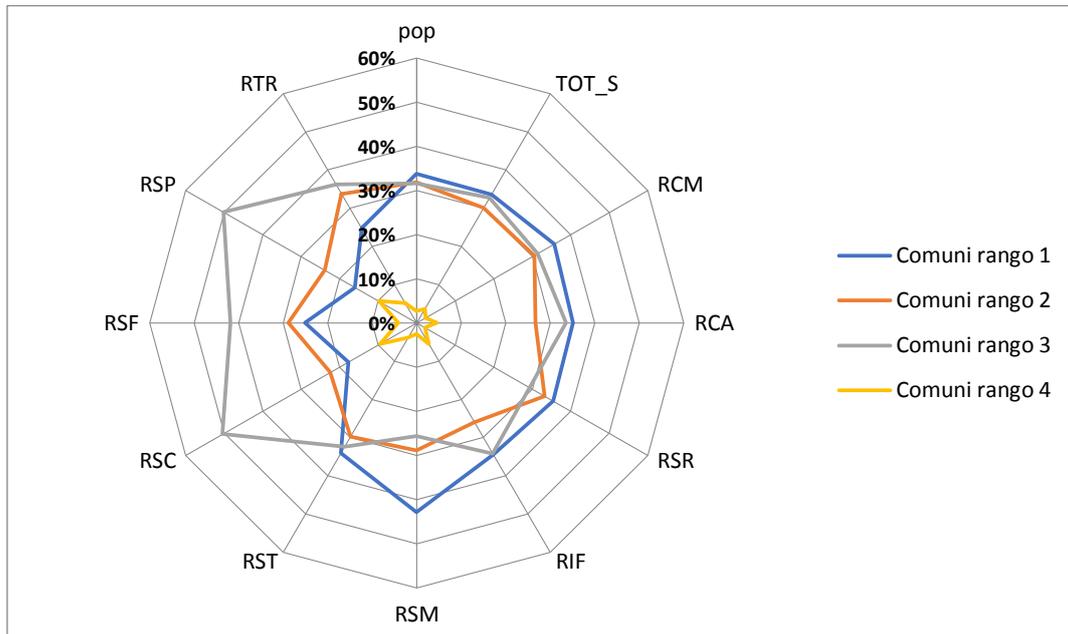
- nell'area nord della Basilicata si identificano due centri di primo livello adiacenti, ciò non rispetta a pieno un modello gerarchico piramidale che è invece alla base della struttura policentrica.
- Nell'area metapontina Policoro e Pisticci sono i centri a maggiore popolazione residente e in relazione alle soglie identificate entrambi ricadono nel rango1, ciò interpreta solo parzialmente la struttura insediativa dell'area e pone interrogativi sulle funzioni dei centri di livello inferiore.
- Nell'area centrale della regione per i piccoli comuni (classificati con rango 4) non facile identificare il sistema di relazioni che li organizza rispetto ai centri di livello superiore anche in considerazione delle principali reti infrastrutturali che determinano l'accessibilità.

È dunque opportuno integrare tale ipotesi di lavoro con il confronto tra più variabili. Pertanto si è proceduto a costruire due ipotesi di gerarchia tra i centri verificando la distribuzione dei comuni sia in base alla popolazione residente al 2011 e sia in base alla dotazione dei servizi di ogni centro, confrontando anche i risultati della legge di Zipf.

Sulla base di questi dati si sono formulate due ipotesi: la prima (rango hp1) consiste nel raggruppare i comuni secondo quattro classi di rango sulla base di soglie rappresentative non solo delle differenze di popolazione residente ma con una corrispondenza con la dotazione di servizi e attrezzature (soprattutto quelli che esprimono una funzione pubblica sul territorio).

La seconda ipotesi (rango hp2), invece, consiste nel raggruppare i comuni secondo tre classi, e di conseguenza nello stabilire tre ranghi. Tale semplificazione tiene conto della presenza di comuni con popolazione inferiore a 1000 ab. il cui ruolo nella gerarchia territoriale è sicuramente marginale e che nel precedente scenario sono stati classificati come 4° livello. In effetti a tale livello corrisponde una taglia specifica in termini di popolazione residente, ma non corrisponde una funzione in termini di offerta di servizi.

Il confronto tra tali scenari, che di seguito vengono descritti nel dettaglio della rappresentazione statistica e territoriale, ci ha portato a definire la gerarchia dei centri sulla base della quale abbiamo organizzato le successive fasi interpretative del territorio.



**Grafico 2.** Diagramma Kiviat ipotesi n°1.

Il primo diagramma di Kiviat, in cui sono rappresentati i comuni lucani divisi per rango prendendo in considerazione tutte le variabili precedentemente elencate, mostra come i comuni di primo livello si distinguono rispetto agli altri di rango inferiore per la dotazione di servizi ed attrezzature di tipo commerciale, culturale e sanitario.

	A) POPOLAZIONE 2011	RANGO	TOT_S	RCM	RCA	RSR	RIF	RSM	RST	RSC	RSF	RSP	RTR
Comuni rango 1	194053	1	5248	1196	500	1198	325	731	610	67	185	70	366
Comuni rango 2	182447	2	4694	1023	380	1122	245	493	531	85	212	104	499
Comuni rango 3	181336	3	5107	1050	477	988	322	437	579	191	308	219	536
Comuni rango 4	15590	4	565	79	64	71	52	43	69	36	31	43	77

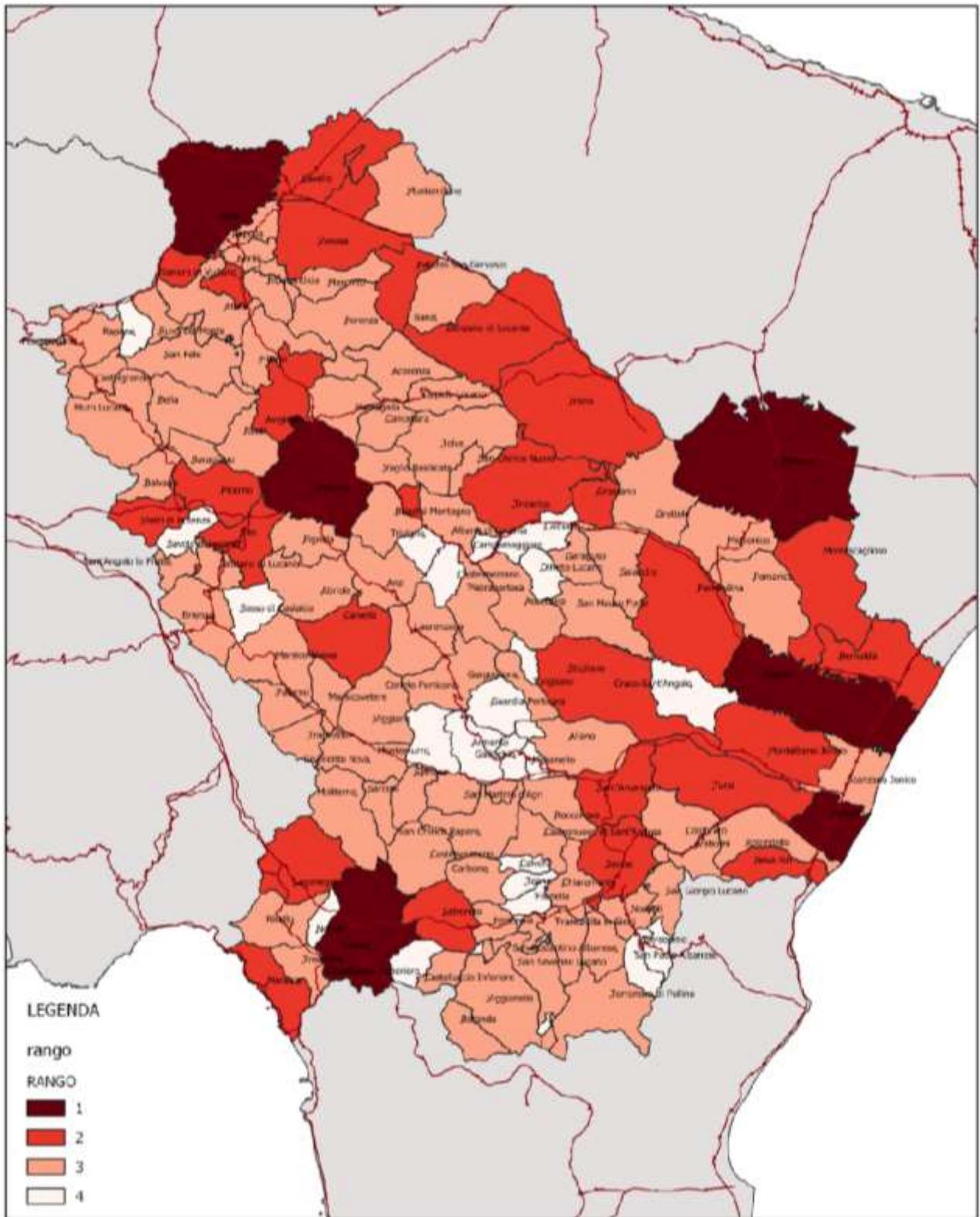


Figura 16. Hp1 Rango dei centri.

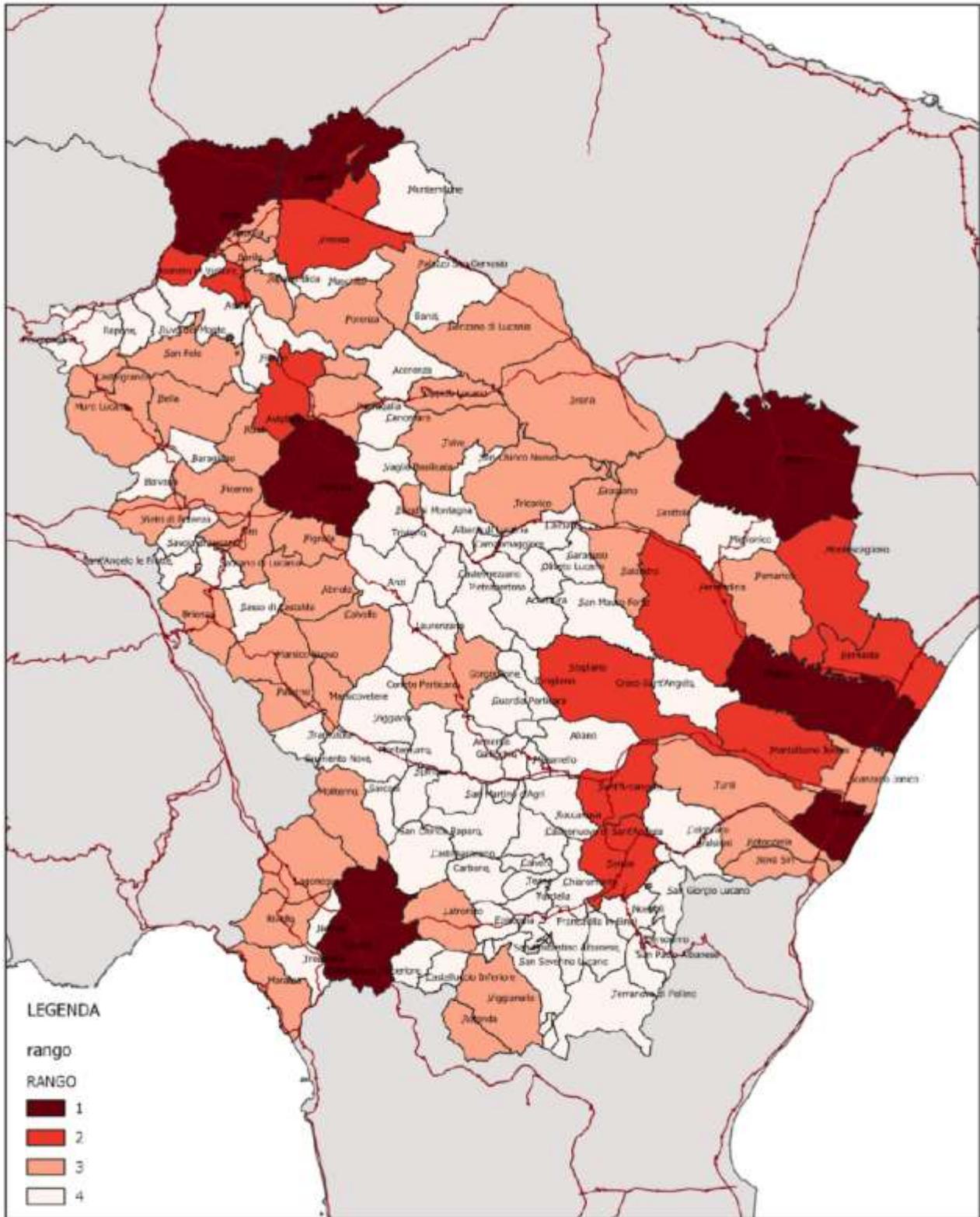


Figura 17. Hp2 Rango dei centri.

Queste elaborazioni sono rappresentative dell'approccio tradizionale alla valutazione della gerarchia dell'organizzazione territoriale. Non restituiscono una visione coerente con le attuali dotazioni di offerta di servizi e attrezzature, né con i livelli di domanda valutati secondo bacini di accessibilità territoriale opportuni.

Pertanto è necessario procedere alla valutazione di un più ampio sistema di variabili e strati informativi attraverso opportune tecniche analisi statistica.

Un primo riferimento operativo è l'applicazione dell'analisi in componenti principali, una tecnica per la semplificazione dei dati utilizzata nell'ambito della statistica multivariata.

Le variabili prese in considerazione sono legate alla struttura della popolazione e al sistema del lavoro e delle imprese che descrivono la struttura socio demografica, e alla presenza di servizi che descrivono la dotazione territoriale.

### L'analisi in componenti principali per la definizione di assetti territoriali

L'analisi delle componenti principali, detta pure PCA è una tecnica utilizzata nell'ambito della statistica multivariata per la semplificazione dei dati d'origine.

Lo scopo della tecnica è quello di ridurre il numero più o meno elevato di variabili che descrivono un insieme di dati ad un numero minore di variabili latenti, limitando il più possibile la perdita di informazioni. Ciò avviene tramite una trasformazione lineare delle variabili che proietta quelle originarie in un nuovo sistema cartesiano nel quale la nuova variabile con la maggiore varianza viene proiettata sul primo asse, la variabile nuova, seconda per dimensioni della varianza, sul secondo asse e così via. La riduzione della complessità avviene limitandosi ad analizzare le principali tra le nuove variabili.

Diversamente da altre trasformazioni lineari di variabili praticate nell'ambito della statistica, in questa tecnica sono gli stessi dati che determinano i vettori di trasformazione.

Un metodo per calcolare la componente  $w_i$  utilizza la matrice di correlazione o di covarianza. Innanzitutto si devono trovare gli autovalori della matrice. Si ottengono tanti auto valori quante sono le variabili  $x$ . L'autovalore con il maggior valore corrisponde alla dimensione  $w$  che ha la maggiore varianza, esso sarà dunque la varianza della componente principale 1. In ordine crescente, il secondo auto valore sarà la varianza della componente principale 2 e così via per gli  $n$  auto valori.

Per ciascun autovalore viene calcolato il corrispondente autovettore, cioè la matrice riga vettore dei coefficienti che moltiplicano le "vecchie" variabili  $x$  nella combinazione lineare per l'ottenimento delle nuove variabili  $w_i$ . Questi coefficienti sono chiamati anche loadings.

La matrice degli auto vettori è la cosiddetta matrice di rotazione  $V$ . Eseguendo l'operazione matriciale  $W=V*X$ , dove  $W$  è il vettore colonna avente come elementi le nuove variabili  $w_1, w_2, \dots, w_n$  e  $X$  è il vettore colonna avente come elementi le "vecchie" variabili  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , si possono trovare le coordinate di ciascun punto nel nuovo spazio vettoriale.

Infine basterà prendere le coordinate per ciascun punto relative alle componenti principali per ottenere il grafico denominato score plot. Mediante questo grafico è possibile verificare quali dati sono simili tra loro, cioè si può dedurre quali campioni presentano la medesima composizione.

### Descrizione del metodo

L'analisi delle componenti principali con riferimento a  $p$  variabili,  $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_p$  con  $i = 1, 2, \dots, p$  (vettore casuale multivariato), consente di individuare altrettante  $p$  variabili (diverse dalle prime) ,  $Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_p$  con  $i = 1, 2, \dots, p$  , (vettore multivariato), ognuna combinazione lineare delle  $p$  variabili di partenza.

L'obiettivo della PCA consiste nell'individuare opportune trasformazioni lineari  $Y_i$  delle variabili osservate facilmente interpretabili e capaci di evidenziare e sintetizzare l'informazione insita nella matrice iniziale  $X$ .

Tale strumento risulta utile soprattutto allorquando si ha a che fare con un numero di variabili considerevole da cui si vogliono estrarre le maggiori informazioni possibili pur lavorando con un set più ristretto di variabili.

I dati di partenza vengono organizzati in una matrice, indicata con  $X$ :

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{p1} & X_{p2} & \dots & X_{pp} \end{pmatrix} \quad \text{con } i=1,2,\dots,p \quad e \quad j=1,2,\dots,p$$

dove:

- le colonne rappresentano le  $p$  osservazioni effettuate;
- le righe sono le  $p$  variabili considerate per il fenomeno in analisi.

Data la matrice  $X$ , che contiene  $p$  variabili correlate tra loro, si vuole ottenere una matrice di nuovi dati  $Y$ , composta da  $p$  variabili non correlate tra loro, che risultano essere combinazione lineare delle prime. E quindi si ha:

$$\vec{Y} = \vec{L} \vec{X}$$

$$(p \times p) = (p \times p) (p \times p)$$

In forma estesa è:

$$\vec{Y} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1p} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{p1} & Y_{p2} & \dots & Y_{pp} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1p} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{p1} & l_{p2} & \dots & l_{pp} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{p1} & X_{p2} & \dots & X_{pp} \end{pmatrix}$$

Una generica componente di  $Y$ , ad esempio la prima, si esprimerà come:

$$Y_1 = (Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1p}) = \left( \sum_{i=1}^p l_{1i} X_{i1}, \sum_{i=1}^p l_{1i} X_{i2}, \dots, \sum_{i=1}^p l_{1i} X_{ip} \right) = l_1^T \vec{X}$$

In sintesi si ha che l' $i$ -esima componente di  $Y$  è data da:

$$Y_i = \vec{l}_i^T \vec{X}$$

A cui corrisponde una varianza pari a:

$$\text{Var}(Y_i) = \vec{l}_i^T \Sigma \vec{l}_i$$

ed una covarianza di:

$$\text{Cov}(Y_i, Y_j) = \vec{l}_i^T \Sigma \vec{l}_j$$

$L$  è la matrice caratteristica della trasformazione lineare, mentre le  $Y_i$  sono dette **componenti principali**.

Il vettore multivariato  $Y = (Y_1; Y_2; \dots; Y_p)^t$  è tale che il primo elemento  $Y_1$  comprenda la maggiore variabilità possibile (e quindi maggiori informazioni) delle variabili originarie, e che  $Y_2$  rappresenti la maggiore variabilità delle  $X_i$  dopo la prima componente, e così fino a  $Y_p$  che tiene conto della più piccola frazione dell'originaria varianza. Perciò le componenti principali sono quelle combinazioni lineari delle variabili aleatorie  $X_i$  a norma unitaria che ne rendono massima la varianza e che non sono correlate.

### La scelta delle componenti principali

Si è partiti da  $p$  variabili ( $X_1; X_2; \dots; X_p$ ) con l'obiettivo di sintetizzarle in un numero inferiore di variabili "artificiali". A seconda del rango della matrice  $\Sigma$ , si potranno trovare fino a  $p$  componenti principali. Il compito della PCA è quello di analizzare un numero di dati inferiore a quello di partenza, a tale scopo vengono elencati, di seguito, i criteri adoperati per ridurre il numero delle componenti principali da  $p$  a  $k$ , con  $p \geq k$ .

I criteri adoperati per la scelta del numero di componenti sono tre (*Criteri Euristici*), e sono:

- Prendere solo quelle componenti che rappresentano l'80-90% della variabilità complessiva, ovvero:

dove il numeratore rappresenta la varianza delle prime  $k$  componenti principali, mentre il denominatore rappresenta la varianza di tutte le componenti principali.

$$\frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} \approx 80 - 90\%$$

- Seguire la “Regola di Kaiser”: prendere solo quelle componenti che hanno un autovalore maggiore o uguale ad uno, oppure, equivalentemente, le componenti che hanno varianza maggiore di quella media (ottenuta come media delle  $\lambda_i$ );
- La scelta del numero di componenti (sufficienti a riprodurre con una buona approssimazione i dati di partenza) può essere fatta attraverso il grafico degli autovalori o “Scree Plot”. All’interno del grafico si sceglie il numero di componenti corrispondente al punto di “gomito” della spezzata.

Lo Scree Plot è costruito ponendo sull’asse delle ascisse i numeri d’ordine degli autovalori (1,2, ..., k ) e in ordinata gli autovalori ad essi corrispondenti ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ ). I punti di coordinate ( j,  $\lambda_j$  ), con  $j=1,2, \dots, k$  , vengono uniti con segmenti. Il numero di componenti principali da utilizzare sarà dato dal più piccolo  $k$  tale che a sinistra di  $k$  l’andamento dei  $\lambda_j$  sia fortemente decrescente, mentre a destra l’andamento deve essere pressoché costante, o comunque debolmente decrescente.

Dal punto di vista geometrico, la matrice dei dati  $X$  è rappresentabile come  $p$  punti nello spazio dimensionale  $\mathbf{R}^p$ . Si è ampiamente detto che la PCA mira a ridurre il numero di variabili da analizzare, ciò si traduce, da un punto di vista geometrico, nel proiettare i  $p$  punti in un sottospazio  $\mathbf{R}^k$ , individuato in modo tale che la nuvola dei punti  $p$  in  $\mathbf{R}^p$  sia deformata il meno possibile.

Le componenti principali individuano un nuovo sistema di coordinate che è tale da avere sul primo asse ( $Y_1$ ) la massima variabilità del sistema, sul secondo si ha una varianza inferiore alla prima ma massima rispetto alle altre, e così via. Pertanto, si avrà che:

- $Y_1$  spiega la massima varianza su riduzione uni-dimensionale;
- $\{Y_1, Y_2\}$  spiegano la massima varianza su riduzione bi-dimensionale;
- $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_p\}$  spiegano la varianza totale.

Il software utilizzato per sviluppare l’ACP è  $\mathbf{R}^1$ . È un programma open source per la statistica e la grafica, che trova larga applicazione negli ambiti scientifici e statistici, in particolar modo quando è necessario analizzare grandi moli di dati. Esso consiste principalmente di un linguaggio e di un insieme di librerie che consentono di svolgere la maggior parte delle analisi statistiche necessarie per la descrizione di un fenomeno.

---

<sup>1</sup> <https://www.r-project.org/>

## Caso studio

I 131 comuni lucani sono stati valutati prendendo in considerazione 192 variabili legate ad informazioni relative alla struttura della popolazione, al sistema del lavoro e delle imprese e alla dotazione di servizi e attrezzature. Tale base informativa descrive la struttura socio demografica a cui ci riferiamo per la proposta di modelli organizzativi territoriali orientati a bilanciare la domanda di servizi. Le variabili legate alla presenza di servizi, organizzate su due livelli di classificazione molto dettagliata, descrivono il lato dell'offerta di servizi e dunque la dotazione territoriale. **Il legame tra domanda e offerta di servizi, sebbene alla base di ogni riflessione di organizzazione policentrica del territorio, è particolarmente labile nella determinazione analitica soprattutto in contesti a bassa densità insediativa. Le regole formalizzate per le grandi aggregazioni urbane non hanno validità in contesti frammentati in cui la presenza di popolazione è debole e va declinando (domanda debole) e dove servizi generici come esercizi di commercio al dettaglio o piccoli artigiani hanno un valore al di là della semplice offerta di funzioni e opportunità. Piuttosto essi rappresentano una forma di presidio del territorio e al tempo stesso un elemento imprescindibile per garantire livelli minimi di qualità della vita ai residenti.**

Le variabili considerate:

- dati demografici, comprendenti la popolazione residente, quella iscritta all'estero o in altre regioni d'Italia (fonte Istat);
- saldo migratorio (fonte Istat);
- dotazione di unità locali e di imprese suddivise per classi di addetti (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- dotazione di istituti sanitari, pronto soccorso e di ambulanze (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- numero di posti letto per ricoveri day hospital o per lunghe degenze (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- numero di personale sanitario (forse Atlante statistico dei comuni, Istat);
- totale delle abitazioni (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- numero delle abitazioni rimaste vuote (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- numero di aziende agricole (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- parco veicolare (fonte Atlante statistico dei comuni, Istat);
- dotazione dei servizi ed attrezzature (nostra elaborazione su dati Lisut);
- rango della popolazione (nostra elaborazione su dati Istat);
- rango dei servizi (nostra elaborazione su dati Lisut).

Le tre ipotesi di lavoro:

HP1	HP2	HP3
Confronto tra il rango e la popolazione con la dotazione dei servizi per categorie al primo livello di disaggregazione <sup>2</sup>	Confronto tra la popolazione con la dotazione di servizi per categorie al primo livello di disaggregazione, la popolazione straniera, il numero di unità locali e di imprese presenti sul territorio, le aziende agricole e la dotazione di strutture sanitarie.	Confronto tra la popolazione con la dotazione di servizi per categorie al primo livello di disaggregazione, la popolazione straniera, i dati riguardanti l'occupazione ed il pendolarismo, il totale delle abitazione e quelle vuote, il parco veicolare e la dotazione di strutture sanitarie
Tot variabili incluse nell'analisi: 3	Tot variabili incluse nell'analisi: 45	Tot variabili incluse nell'analisi: 30

---

<sup>2</sup> vedi paragrafo che descrive le categorie di servizi e attrezzature

Risultati dell'analisi statistica

Di seguito le tavole rappresentative dei risultati dell'analisi in componenti principali sui set di variabili selezionate

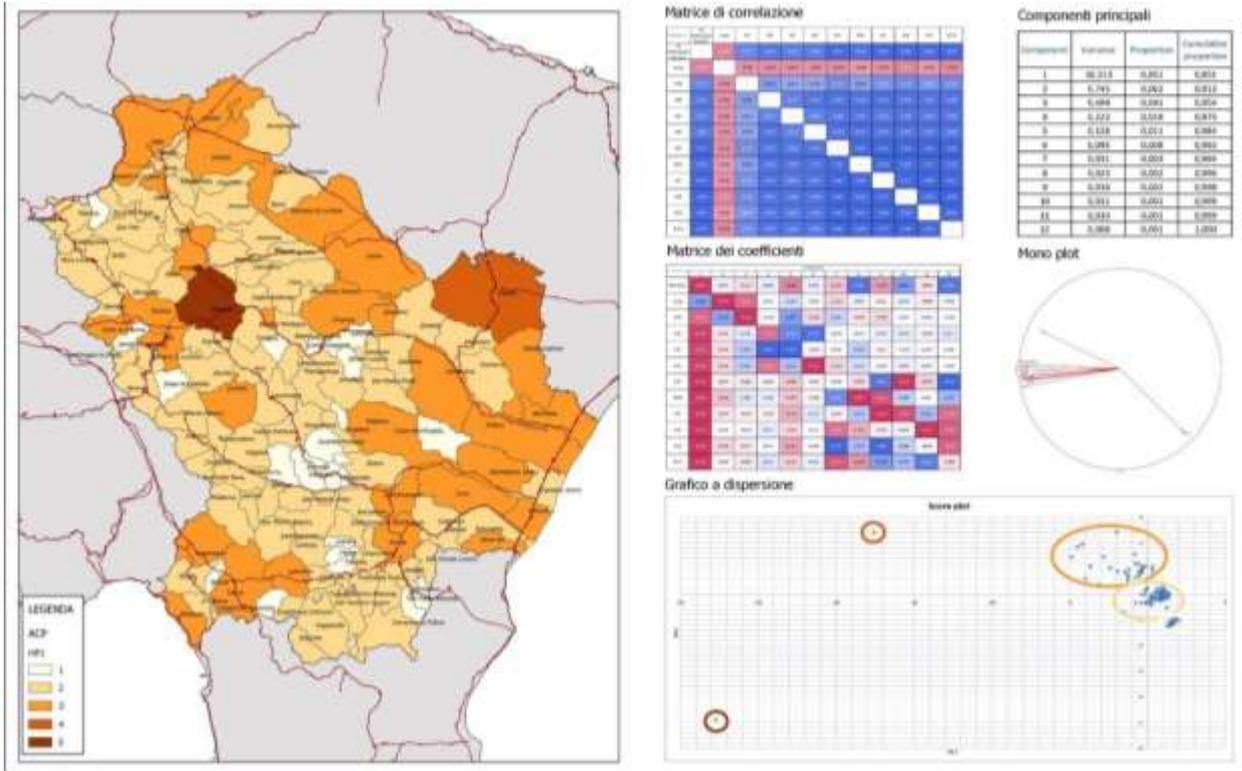


Figura 18. Hp1 ACP.

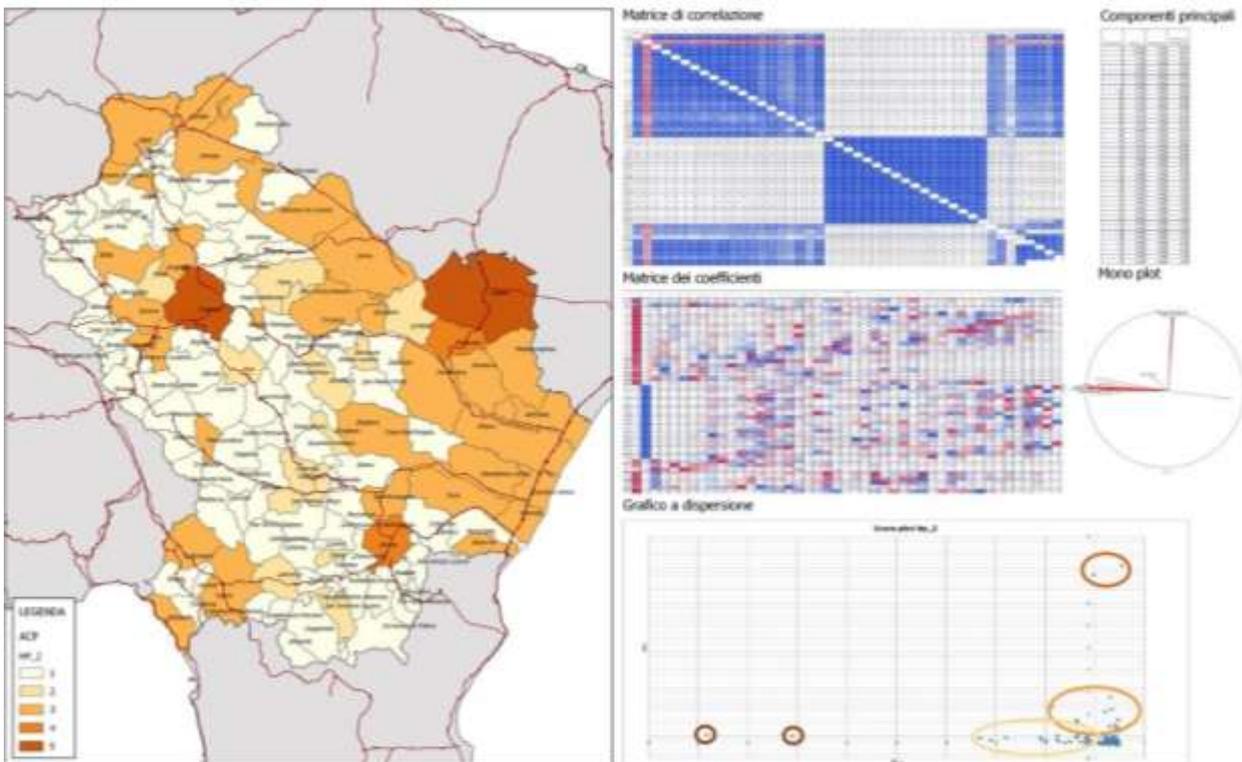


Figura 18. Hp2 ACP.

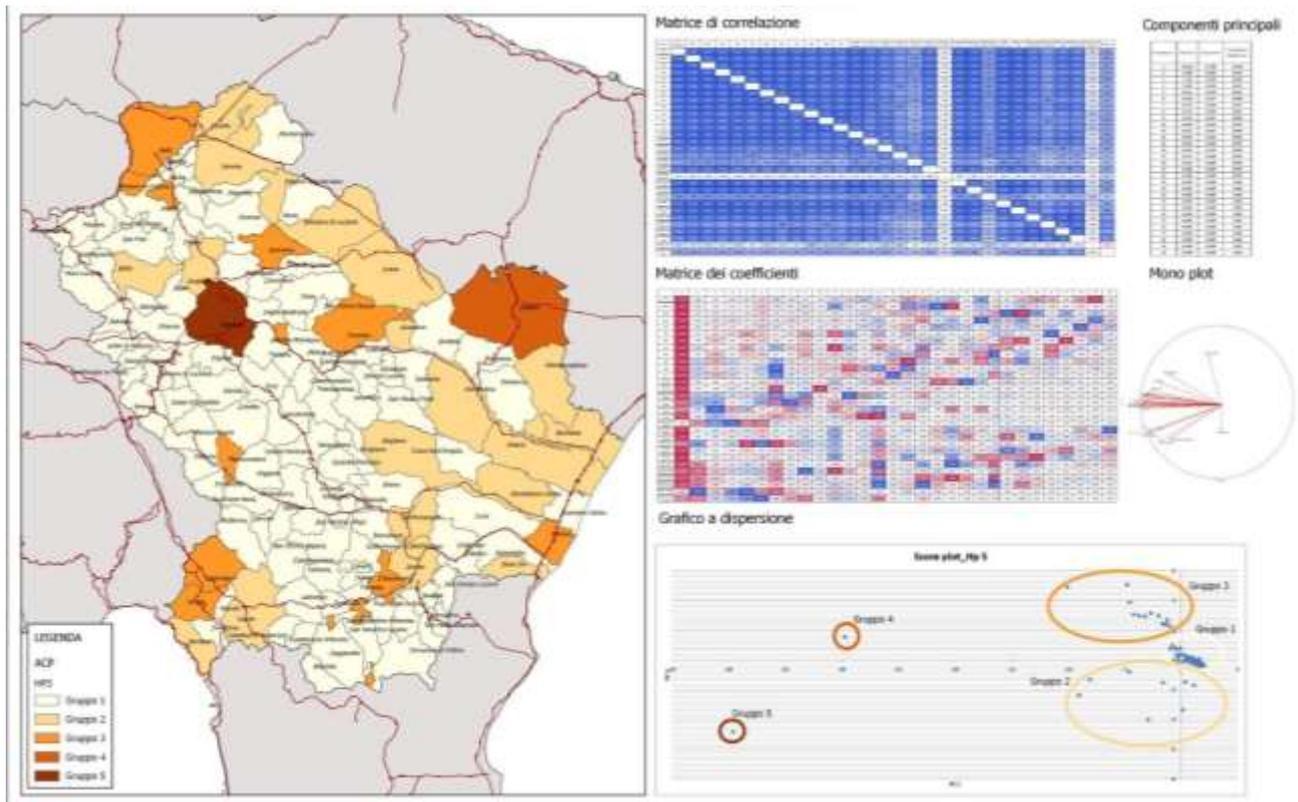


Figura 19. Hp3 ACP.

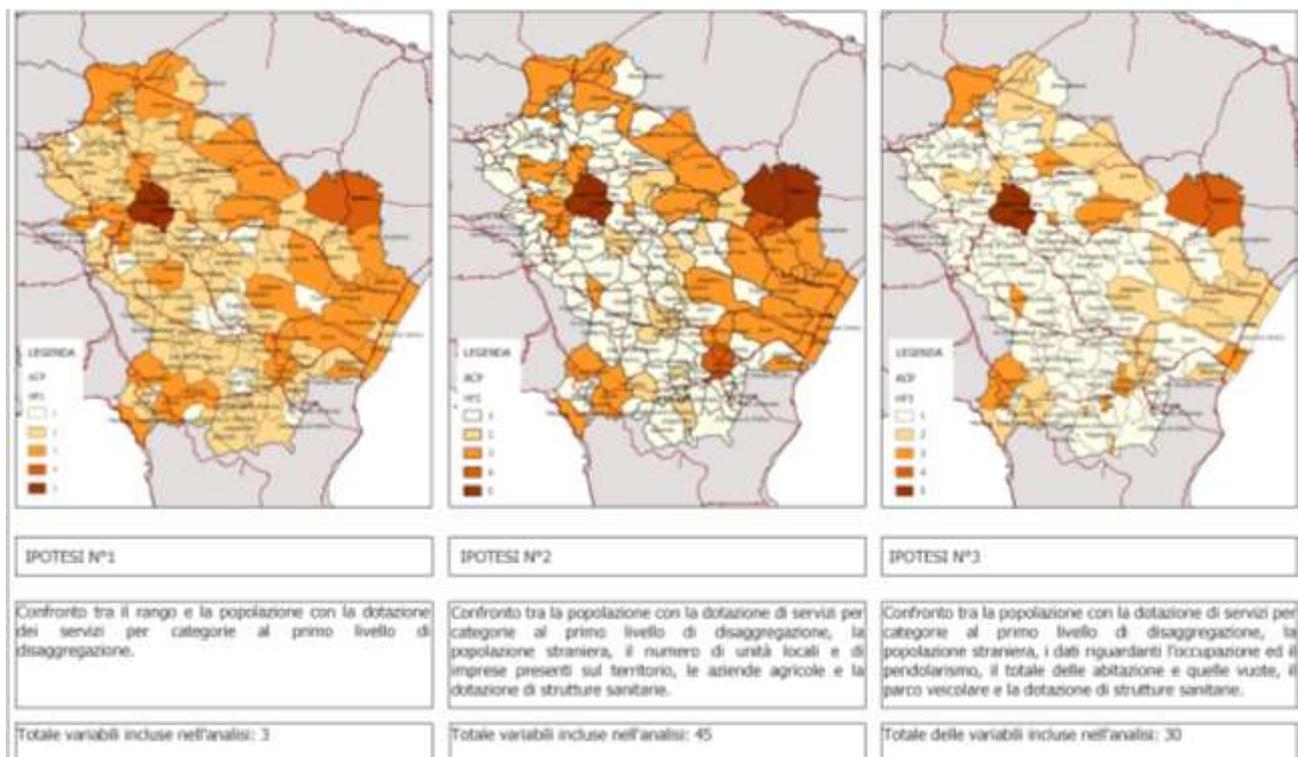


Figura 20. Confronto dei risultati.

Dal confronto tra le tre ipotesi possiamo sostenere che Potenza e Matera hanno un ruolo indipendente rispetto a tutti gli altri comuni della Regione.

Nell'area Nord della regione, Vulture Melfese, il peso dei comuni di Melfi e Rionero è significativo per tutte le ipotesi di lavoro. Ad essi si aggiunge il ruolo dei comuni di Lavello e di Venosa che essendo centri rilevanti in termini di dotazione di servizi fanno ipotizzare un sistema territoriale policentrico di secondo livello che esprime una polarità rilevante per le finalità di questo lavoro.

Per quanto riguarda la fascia ionica, mentre le prime due ipotesi di lavoro non permettono una chiara identificazione di specializzazioni territoriali tra i comuni dell'area, la terza ipotesi fa emergere Policoro come nodo primario della struttura territoriale che in quell'area va identificata.

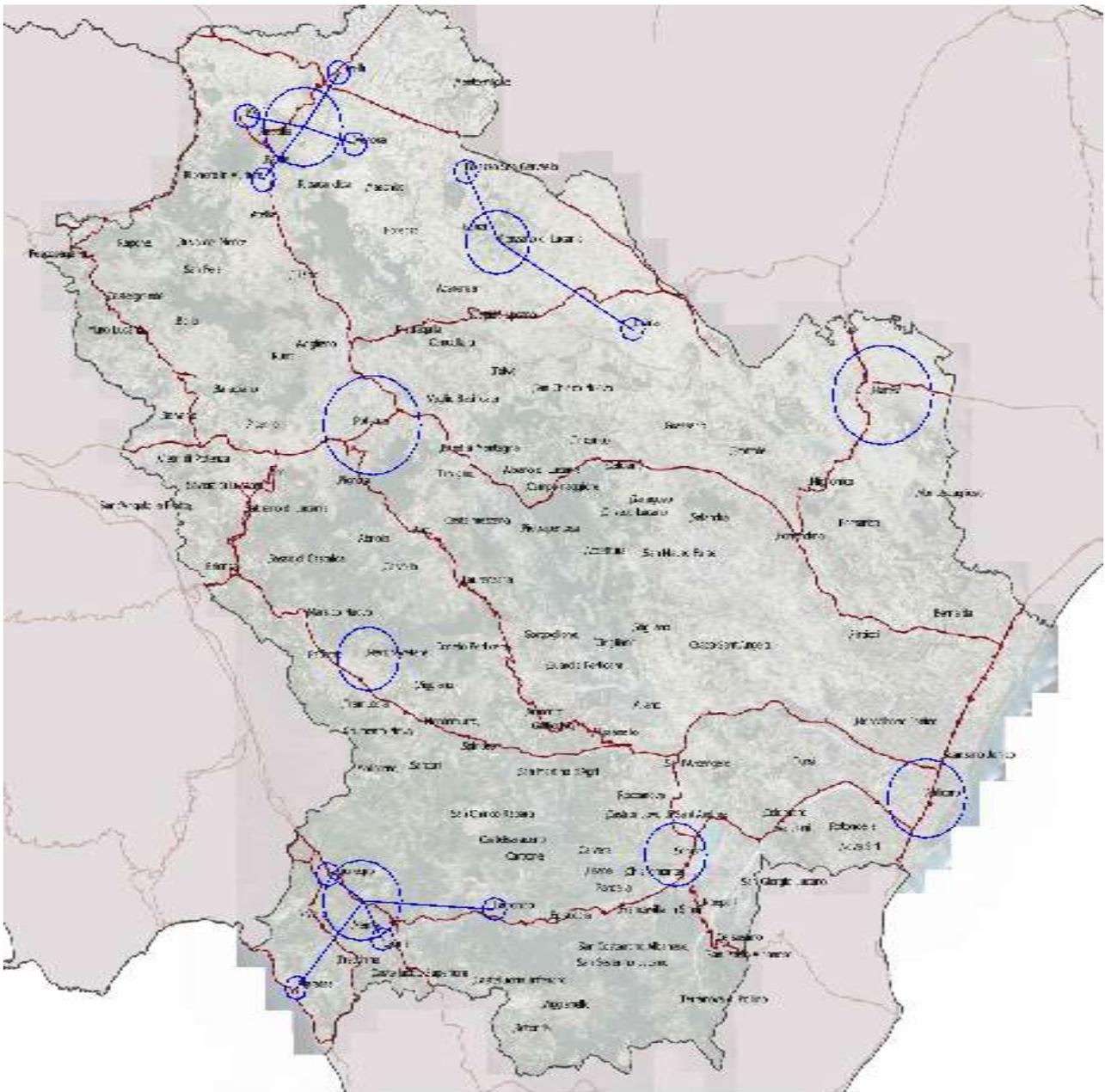
Lungo la direttrice "Sinnica" e dunque in un'area a cerniera tra il Pollino, la val D'Agri e il Metapontino, il comune di Senise ha un ruolo primario chiaramente identificato nelle tre ipotesi di lavoro.

Nel Lagonegrese/Pollino, Lagonegro e Lauria esprimono un ruolo trainante che emerge nel confronto degli scenari proposti, immediatamente seguiti da Latronico e Maratea. Anche in questo caso si riconosce non una singola centralità di livello superiore, ma piuttosto un sistema policentrico di cui si terrà conto nella costruzione delle ipotesi di assetto.

La Val d'Agri esprime in Marsicovetere (ovvero Villa d'Agri) la polarità principale che, sebbene non confrontabile per dimensioni della domanda e offerta di servizi con le altre precedentemente indicate, va considerata ad un livello gerarchico opportuno nella struttura territoriale ad identificare funzioni di presidio territoriale per il bacino di gravitazione di quell'area.

L'area Bradanica lucana presenta centri tra loro difficilmente organizzabili in modo gerarchico. Ci riferiamo a Palazzo S. Gervasio, Genzano di Lucania ed Irsina e in forma più estesa includiamo anche Grassano, Tricarico. Centri che abbiamo classificato come di terzo livello in termini di rango e rispetto ai quali è necessario sviluppare una specifica valutazione dei rispettivi bacini di domanda anche in relazione all'analisi di accessibilità territoriale.

Il Marmo Platano Meladro, risente fortemente della presenza del Capoluogo di regione e dunque è utile alla descrizione della struttura territoriale in cui Potenza è centralità di erogazione per servizi e opportunità e il bacino di riferimento gode di un sistema infrastrutturale che consente le relazioni più efficienti che altrove.



**Figura 20.** Le centralità del sistema territoriale lucano.

La mappa mostrata in figura rappresenta il rango dei centri di primo, secondo e terzo livello, identificati attraverso le elaborazioni fin qui condotte. Essa definisce la base per il completamento della valutazione territoriale alla base della proposta di un modello di assetto policentrico per la Basilicata.

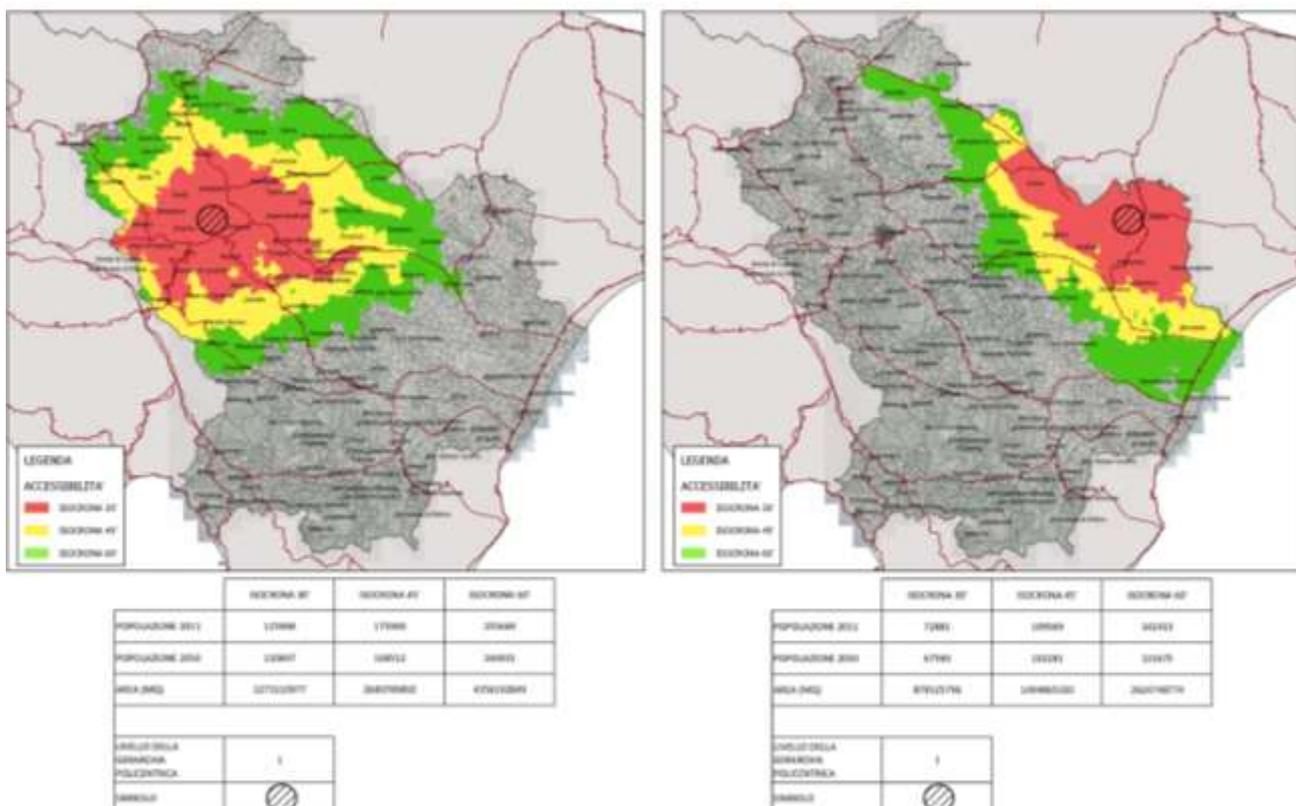
Nei capitoli che seguono si discuteranno valutazioni di accessibilità territoriale come base per la valutazione della domanda attuale e programmatica di servizi ed attrezzature. Valutazioni sulle quali si fonda il modello di assetto proposto.

## Accessibilità territoriale: l'approccio analitico e i risultati

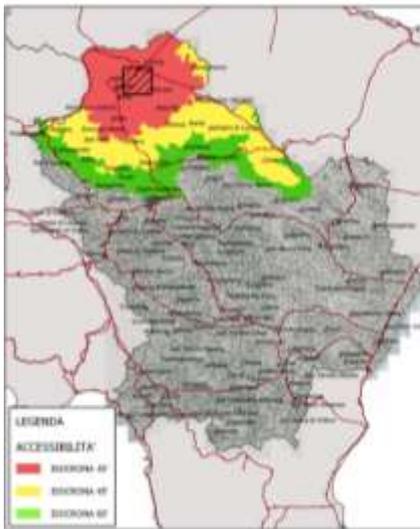
L'analisi sull'accessibilità territoriale, una volta identificata la gerarchia dei centri, si basa principalmente sulla stima delle distanze spaziali e sui tempi di percorrenza che un cittadino residente deve effettuare per la fruizione di servizi presenti sul territorio. Ciò è stato possibile utilizzando il sito "openroute service"<sup>3</sup>, che offre servizi di navigazione usando dati geografici liberi, e che permette di tracciare le isocrone. Si parte dall'identificazione del punto d'origine dell'isocrone per poi scegliere gli intervalli temporali.

Per il nostro lavoro di tesi i punti di origine delle isocrone sono rappresentati dai centri di primo, secondo e terzo livello, e come range temporale di percorrenza si è scelto 30, 45 e 60 minuti; spostamenti effettuati sia con mezzo pubblico che con mezzo privato. In questo modo si è realizzata una mappa isocrona.

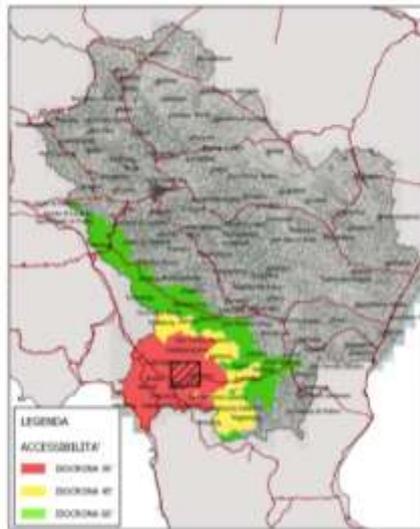
Una mappa isocrona in geografia e pianificazione urbana è una mappa che mostra le aree relative alle isocrone tra diversi punti. Un'isocrona (dal greco uguale tempo) è definito come una linea tracciata su una mappa che collega punti in cui qualcosa accade o arriva allo stesso tempo.



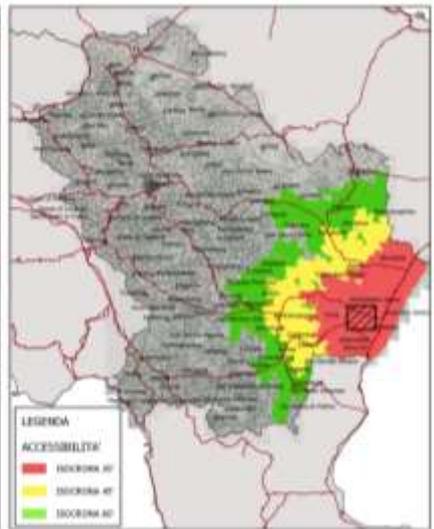
<sup>3</sup> <https://openrouteservice.org/>



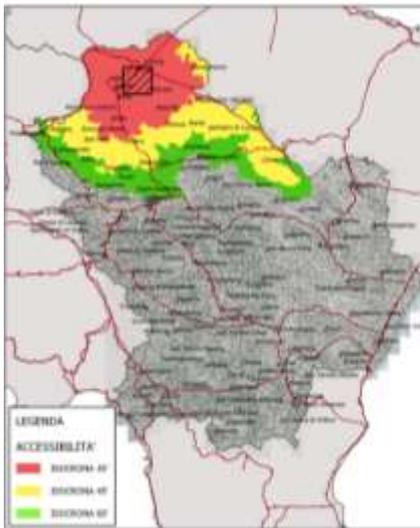
	SEZIONE 01'	SEZIONE 02'	SEZIONE 03'
POPOLAZIONE 2011	7376	8693	12648
POPOLAZIONE 2030	6764	8070	12191
AREA (M2)	879800	1069719	2069260
SIVILLO DELLA SERRAVALLE PULICENNA			
SARNO	[Hatched Box]		



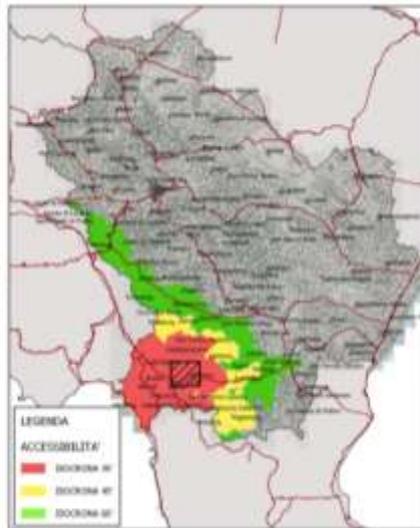
	SEZIONE 01'	SEZIONE 02'	SEZIONE 03'
POPOLAZIONE 2011	8438	5411	8401
POPOLAZIONE 2030	7847	4923	7930
AREA (M2)	1067400	1007180	1049312
SIVILLO DELLA SERRAVALLE PULICENNA			
SARNO	[Hatched Box]		



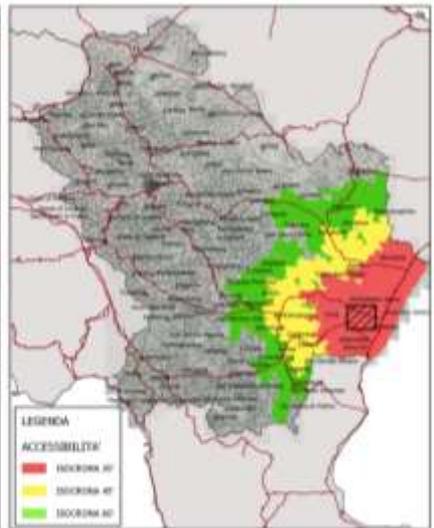
	SEZIONE 01'	SEZIONE 02'	SEZIONE 03'
POPOLAZIONE 2011	8818	7686	12704
POPOLAZIONE 2030	8127	7198	12198
AREA (M2)	1011000	1140751	2007270
SIVILLO DELLA SERRAVALLE PULICENNA			
SARNO	[Hatched Box]		



	SEZIONE 01'	SEZIONE 02'	SEZIONE 03'
POPOLAZIONE 2011	7376	8693	12648
POPOLAZIONE 2030	6764	8070	12191
AREA (M2)	879800	1069719	2069260
SIVILLO DELLA SERRAVALLE PULICENNA			
SARNO	[Hatched Box]		



	SEZIONE 01'	SEZIONE 02'	SEZIONE 03'
POPOLAZIONE 2011	8438	5411	8401
POPOLAZIONE 2030	7847	4923	7930
AREA (M2)	1067400	1007180	1049312
SIVILLO DELLA SERRAVALLE PULICENNA			
SARNO	[Hatched Box]		



	SEZIONE 01'	SEZIONE 02'	SEZIONE 03'
POPOLAZIONE 2011	8818	7686	12704
POPOLAZIONE 2030	8127	7198	12198
AREA (M2)	1011000	1140751	2007270
SIVILLO DELLA SERRAVALLE PULICENNA			
SARNO	[Hatched Box]		

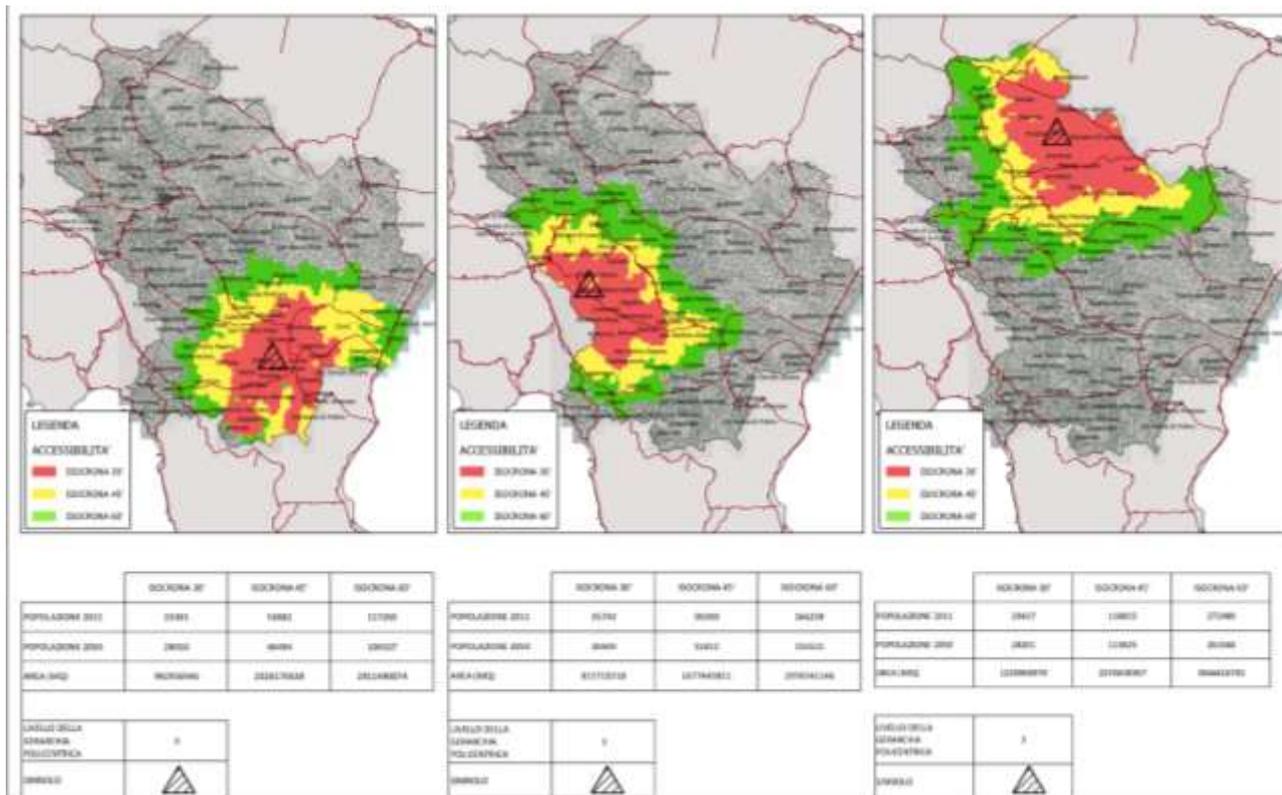


Figura 21. Mappe delle isocrone.

## Determinazione dei bacini di domanda e assetto policentrico

Il calcolo delle isocrone è la base per il computo della popolazione effettivamente ricadente dentro i poligoni definiti dalle curve. Risulta perciò di fondamentale importanza al fine di una puntuale identificazione dell'utenza che gravita all'interno dei bacini definiti, prendere in considerazione le sezioni censuarie e la popolazione corrispondente, riferita all'ultimo censimento.

Alla stima della domanda attuale (ultimo censimento) aggiungiamo una analisi della domanda programmatica tenendo conto dei tassi di incremento della popolazione (spesso "decrescita" rispetto al caso studio della regione Basilicata) forniti dall'ISTAT. L'orizzonte temporale considerato è il 2050.

I tassi di incremento sono diversi a seconda delle leggi che regolano la crescita della popolazione e sono sostanzialmente tre:

- Tasso di incremento aritmetico,
- Tasso di incremento geometrico,
- Tasso di incremento continuo.

Per questo lavoro si è scelto di utilizzare il tasso di incremento aritmetico che si applica quando si vuole conoscere il contributo medio annuo all'incremento demografico concernente ciascuno degli individui della popolazione iniziale. Quindi la popolazione dopo  $k$  anni è:

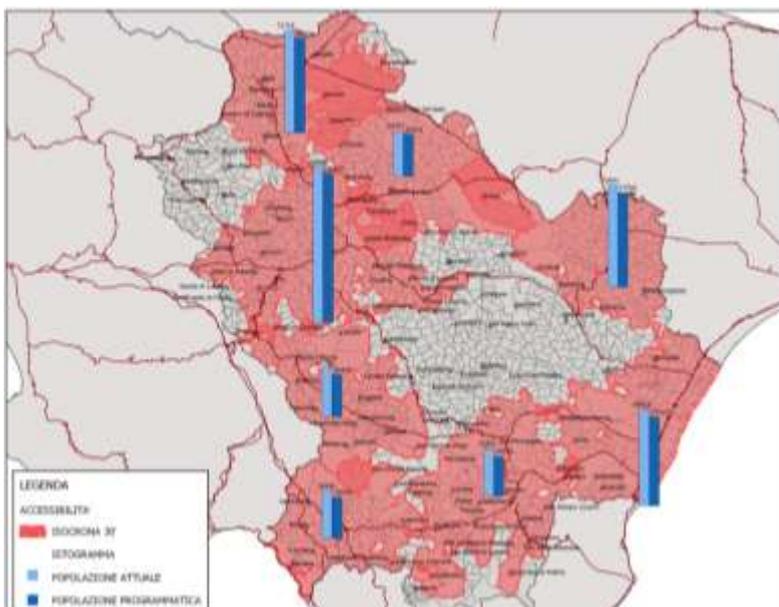
$$P_k = P_0 + P_0 r * k$$

dove  $P_0$  è la popolazione all'inizio dell'intervallo,  $r$  è il tasso di incremento e  $P_k$  è la popolazione dopo  $k$  anni.

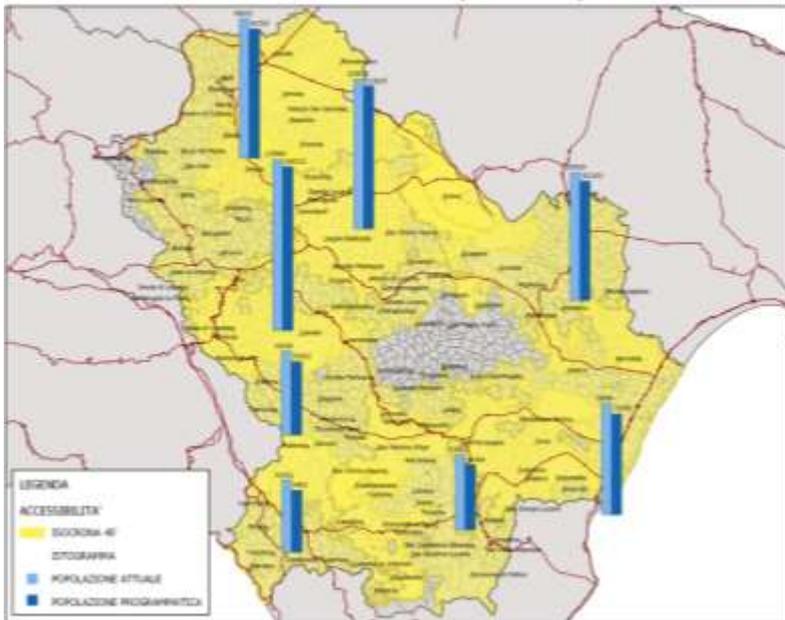
L'importanza di disporre di dati demografici relativi al futuro è legata alla stima della domanda potenziale di servizi.

In questo modo si è potuto calcolare la popolazione interessata dalle isocrone a 30, 45 e a 60 minuti ( $P_{30}$ ,  $P_{45}$ , e  $P_{60}$ ).

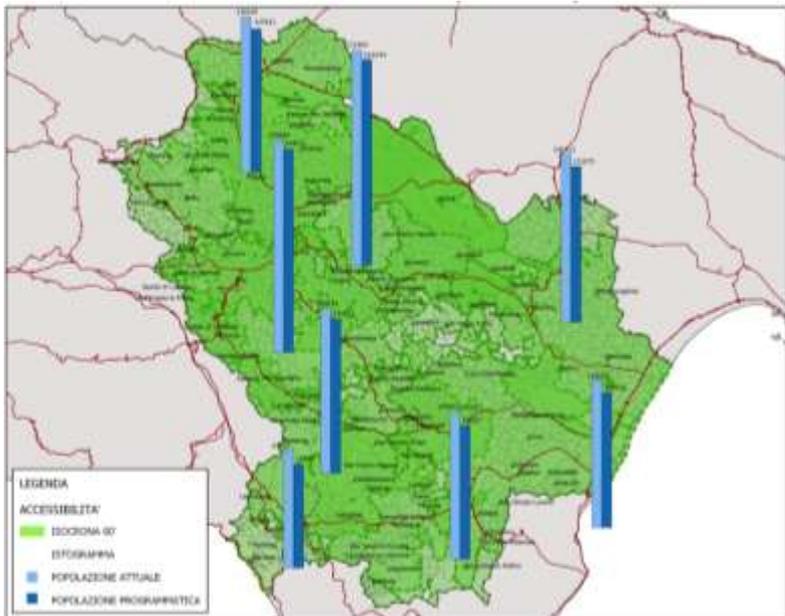
Centri di rango 1,2, 3	Popolazione 2011			Popolazione 2050			Livello di gerarchia policentrica
	P_30	P_45	P_60	P_30	P_45	P_60	
Potenza	125988	175900	255669	120697	168512	244931	1
Matera	72881	109569	142413	67590	102181	131675	1
Vulture	72765	98093	136649	67474	90705	125911	2
Policoro	68418	78986	129654	63127	71598	118916	2
Pollino	34438	51411	84057	29147	44023	73319	2
Senise	33301	53882	117265	28010	46494	106527	3
Val D'agri	35740	59200	166259	30449	51812	155521	3
Bradanaica:							
Genzano	29437	118815	272489	28201	113825	261044	3
Palazzo S. Gervasio	44242	99961	147711	42384	95763	141507	3
Irsina	17110	98959	217537	16391	94803	208400	3



SISTEMA TERRITORIALE	POPOLAZIONE 2011			POPOLAZIONE 2050			LIVELLO DELLA GERARCHIA POLICENTRICA
	P_30	P_45	P_60	P_30	P_45	P_60	
POTENZA	125988	175900	255669	120697	168512	244931	1
MATERA	72881	109569	142413	67590	102181	131675	1
VALD'AGRI	35740	59200	166259	30449	51812	155521	3
POLICORO	68418	78986	129654	63127	71598	118916	2
POLLINO	34438	51411	84057	29147	44023	73319	2
SENISE	33301	53882	117265	28010	46494	106527	3
VAL D'AGRI	35740	59200	166259	30449	51812	155521	3
BRADANICA:							
GENZANO	29437	118815	272489	28201	113825	261044	3
PALAZZO S. GERVASIO	44242	99961	147711	42384	95763	141507	3
IRSINA	17110	98959	217537	16391	94803	208400	3



	POPOLAZIONE 2011			POPOLAZIONE 2015			GRADO DELLA GERARCHIA POPOLAZIONALE
	P_30	P_40	P_50	P_30	P_40	P_50	
<b>ISTITUTO TERRITORIALE</b>							
PIZZANO	12369	17369	23649	12907	16912	20916	1
MATERA	7280	10769	14912	4736	10230	12175	1
VIA FINE	1279	1683	2049	474	979	1291	1
PIZZANO	6614	7946	10674	4127	7198	10016	2
POLLICCI	3448	5102	6407	2547	4023	5019	2
SENO	6992	1009	12791	3903	6494	10017	3
VIA D'AGRI	2176	3000	3629	849	1302	1702	3
<b>IRAGLIANA</b>							
SENO	2407	3382	4248	1821	3182	3944	1
PIZZANO	4442	6061	7771	4204	6176	7897	1
SENO	1712	2409	3101	1491	2000	2600	1



	POPOLAZIONE 2011			POPOLAZIONE 2015			GRADO DELLA GERARCHIA POPOLAZIONALE
	P_30	P_40	P_50	P_30	P_40	P_50	
<b>ISTITUTO TERRITORIALE</b>							
PIZZANO	12369	17369	23649	12907	16912	20916	1
MATERA	5181	10340	14141	4736	10230	13175	1
VIA FINE	1279	1683	2049	474	979	1291	1
PIZZANO	6614	7946	10674	4127	7198	10016	2
POLLICCI	3448	5101	6407	2547	4023	5019	2
SENO	1101	1382	1720	2000	2499	3002	2
VIA D'AGRI	2176	3000	3629	849	1302	1702	3
<b>IRAGLIANA</b>							
SENO	2407	3382	4248	1821	3182	3944	1
PIZZANO	4442	6061	7771	4204	6176	7897	1
SENO	1712	2409	3101	1491	2000	2600	1

Figura 21. Mappe di accessibilità.

## Identificazione dei servizi ecosistemici, della qualità degli habitat e dei fattori di degrado

I SE costituiscono l'insieme di funzioni e processi svolti dagli ecosistemi che genera benefici multipli indispensabili per la sopravvivenza e il benessere dell'uomo (Strategia Nazionale per la Biodiversità 2010-2020).

La cornice metodologica dei SE nasce per sviluppare una valutazione ambientale a livello globale che amplii quello di conservazione, potenziandone sia i contenuti, sia la rilevanza, anche in senso territoriale. I concetti di tutela e conservazione vengono saldamente ancorati ai servizi diretti e indiretti di cui l'uomo beneficia e ai quali viene riconosciuta una connotazione fortemente dinamica che considera adeguatamente l'evoluzione di queste relazioni in termini di conoscenza, valutazione e gestione.

Il Millennium Ecosystem Assessment (spesso indicato tramite l'acronimo MEA, o anche MA) è un progetto di ricerca internazionale promosso dalle Nazioni Unite e sviluppato con l'obiettivo di valutare lo stato degli ecosistemi globali e le conseguenze dei cambiamenti sul benessere umano, fornendo una valida base scientifica per la formulazione di azioni necessarie alla conservazione e all'uso sostenibile degli ecosistemi.

L'approccio dei SE ha aperto una vasta gamma di domande di ricerca, legate alla richiesta dei decisori di tenere nuovi strumenti di valutazione per poter condurre analisi di scenario adeguatamente accurate ed efficaci ("policy improvement" cfr. Sanderson, 2002; Owens, 2005).

La distinzione proposta dal MA individua quattro categorie di SE:

- Approvvigionamento ovvero tutti quei servizi di fornitura di risorse che gli ecosistemi naturali e semi-naturali producono (ossigeno, acqua, cibo, ecc.);
- Regolazione che include le funzioni regolative come la stabilizzazione del clima, la depurazione, il riciclo dei rifiuti;
- Supporto alla vita, ovvero le funzioni necessarie all'erogazione di tutti gli altri SE e che contribuiscono alla conservazione della diversità biologica e genetica;
- Culturali, ovvero i servizi connessi alla "funzione di consultazione" e che contribuiscono al mantenimento della salute umana attraverso la fornitura di esperienze ricreative ed estetiche, sviluppo cognitivo, arricchimento spirituale, opportunità di riflessione, etc.

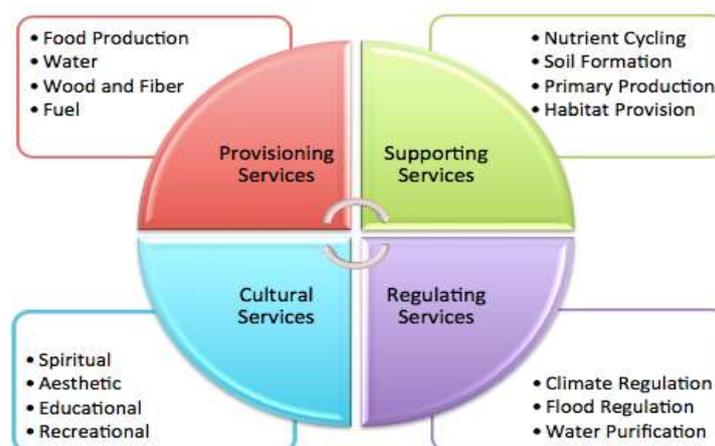


Figura 22. Classificazione dei servizi ecosistemici [MA, 2005].

Il modello analitico utilizzato è incorporato nella suite InVEST (Valutazione integrata di servizi ecosistemici e trade-off) formulata nell'ambito del Natural Capital Project dall'Università di Stanford. La suite consiste di un insieme di modelli che richiedono dati di input specifici a seconda del SE analizzato ma partendo da un dato di partenza comune rappresentato dalla mappa di uso e copertura del suolo. Si tratta di un modello spazialmente esplicito la cui applicazione trova impiego nell'ambito delle valutazioni di tipo biofisico (Hoyer and Chang, 2014), della monetizzazione (Ninan and Inoue, 2013; Berg et al., 2016), dell'analisi di scenario rispetto all'uso del suolo (Nelson, 2009; Polasky et al., 2011) magari finalizzata alla formulazione di policy per la conservazione della biodiversità (Keller et al., 2015).

### Stoccaggio e immagazzinamento del carbonio

La stima del carbonio stoccato all'interno dell'area di studio è stata effettuata mediante il tool "Carbon Storage and Sequestration" che restituisce una mappa raster del territorio in esame a cui, pixel per pixel, è associato il valore del carbonio immagazzinato espresso in Mg/ha.

Tale valore è il risultato dell'aggregazione del carbonio stoccato in quattro grandi serbatoi, definiti "pool":

- Biomassa superficiale (aboveground biomass), che include il carbonio stoccato all'interno di fogliame e legname. La copertura erbacea non viene considerata quale sorgente di carbonio a lungo termine.
- Biomassa sotterranea (belowground biomass), riconducibile essenzialmente al carbonio presente all'interno degli apparati radicali;
- Suolo (soil), inteso come carbonio organico (SOC) immagazzinato dal solo strato minerale del suolo;
- Necromassa (dead organic matter), costituita dal carbonio presente all'interno della lettiera e della biomassa secca presente in superficie.

Il software utilizzato richiede quali dati di input una mappa di uso o di copertura del suolo ed una tabella con i valori di ciascun pool di carbonio per ogni classe d'uso.

Il raster che ne risulta mantiene la stessa risoluzione della mappa di copertura in ingresso. Le elaborazioni relative al presente studio sono state effettuate considerando la dimensione del pixel pari a 25x25 m.

In assenza di dati a scala regionale, i valori afferenti ai quattro serbatoi di carbonio sono stati ottenuti considerando quale riferimento le Linee guida per gli inventari nazionali dei gas-serra pubblicate dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nel 2006.

Si riporta di seguito la tabella dei valori utilizzati per ciascuna delle classi di copertura del suolo.

**Tabella 8.** Tabella di sintesi dei valori utilizzati per la Regione Basilicata.

Lucode	Descrizione	C_above	C_Below	C_Soil	C_Dead
111	Zona residenziale a tessuto continuo	0.00	0.00	0.00	0.00
112	Zona residenziale a tessuto discontinuo	0.00	0.00	0.00	0.00
121	Aree industriali	0.00	0.00	0.00	0.00
122	Infrastrutture	0.00	0.00	0.00	0.00
124	Aeroporti	0.00	0.00	0.00	0.00
131	Aree estrattive	0.00	0.00	0.00	0.00
132	Discariche	0.00	0.00	0.00	0.00

133	Cantieri	0.00	0.00	0.00	0.00
141	Aree verdi urbane	0.00	0.00	0.00	0.00
142	Aree ricreative sportive	0.00	0.00	0.00	0.00
211	Seminativi in aree non irrigue	0.00	4.7	62.57	0.00
212	Seminativi in aree irrigue	0.00	4.7	62.57	0.00
221	Vigneti	63.00	7.85	1.00	0.00
222	Frutteti	63.00	7.85	1.00	0.00
223	Oliveti	63.00	7.85	1.00	0.00
231	Prati stabili	0.00	4.7	64.50	0.00
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	0.00	7.85	62.57	0.00
242	Sistemi colturali complessi	0.00	7.85	62.57	0.00
243	Aree occupate da colture e verde naturale	0.00	7.85	62.57	0.00
31	Zone boscate	160.00	58.00	64.50	20.50
311	Latifoglie	160.00	59.80	64.50	20.50
312	Conifere	160.00	52.00	64.50	20.50
313	Boschi misti	160.00	58.00	64.50	20.50
321	Aree a pascolo naturale e praterie	0.00	4.5	64.50	0.00
323	Vegetazione sclerofila	120.00	24.00	64.50	13.00
324	Vegetazione bosco, arbusti	160.00	58.00	64.50	20.50
331	Spiagge, dune, sabbie	0.00	0.00	45.00	0.00
332	Rocce, rupi, affioramenti	0.00	0.00	0.00	0.00
333	Aree a vegetazione rada	0.00	0.00	64.50	0.00
411	Paludi interne	0.00	0.00	87.00	0.00
511	Canali, idrovie, corsi d'acqua	0.00	0.00	0.00	0.00
512	Bacini d'acqua	0.00	0.00	0.00	0.00

Sulla base dei parametri sopra riportati si ottiene la stima dello stock di carbonio per la Regione Basilicata. La figura che segue rappresenta la distribuzione territoriale dello stock di carbonio che varia tra 0 tonn/ha (suoli urbanizzati etc.) a 20 tonn/ha (aree boscate, etc.).

Dalle elaborazioni risulta che al 2013 il carbonio complessivamente stoccato ammonta a circa 479 Mln di tonnellate. Tale risultato, e quelli di maggior dettaglio che saranno presentati nel paragrafo seguente, è fortemente condizionato dai dati relativi ai pool di carbonio per ciascuna classe di uso del suolo.

L'accuratezza di tali informazioni dipende prevalentemente da campagne di rilevazione in campo e studi di dettaglio che riportino l'effettiva stima dei pool di carbonio rispetto a condizioni bio-climatiche e vegetative locali.

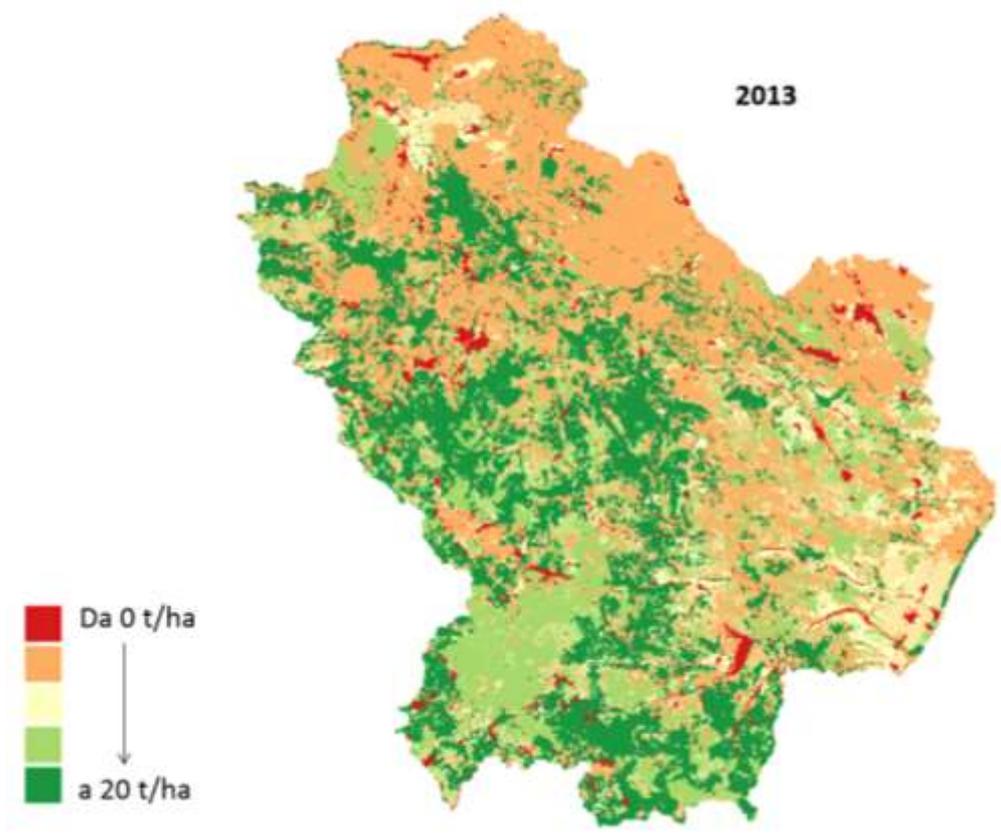


Figura 22. Mappa del carbonio stoccato nella regione Basilicata (anno di riferimento 2013).

Non essendo disponibili per la Basilicata tali informazioni, la stima è stata condotta con valori standard pertanto questo approccio ci porta alla definizione di una base-line di riferimento rispetto alla quale sarà necessario sviluppare approfondimenti specialistici attraverso opportune campagne di valutazione.

Dall'osservazione della mappa è possibile apprezzare il contributo notevole delle numerose ed estese aree boscate presenti nella regione Basilicata soprattutto lungo la dorsale appenninica. Altrettanto chiaramente si apprezza la distribuzione dei suoli antropizzati che, così come corsi d'acqua e invasi, non contribuiscono allo stoccaggio del carbonio.

### Capacità ricreativa e attrattività turistica

La capacità ricreativa e l'attrattività turistica costituiscono un servizio i cui effetti possono pesantemente ripercuotersi sulle economie locali e sull'identità culturale delle popolazioni residenti nell'area. Per quantificare questo SE, il modello InVEST stima la dispersione dei visitatori sulla base dell'analisi regressiva tra le componenti territoriali e le fotografie georiferite disponibili online sulla piattaforma Flickr. Si ottiene così un indice di attrattività per ciascuna delle celle in cui l'area di studio viene discretizzata. Le fotografie disponibili sul sito Flickr vengono assunte come proxy delle visite nell'area, per le quali si ipotizza quindi una correlazione positiva con le presenze turistiche. E' evidente che l'approssimare l'attrattività di un luogo con il numero di foto scattate nel luogo stesso, ha una valenza duplice dalla rilevanza diametralmente opposta. Se da un lato, infatti, ciò consente di misurare il fenomeno dell'attrattività mediante il ricorso a dati diretti, privi delle incertezze relative a campionamenti e/o elaborazioni statistiche, dall'altro non è in grado di

filtrare il risultato rispetto a dimensioni dell'utilizzo dei social media poco attinenti con l'attrattività dei luoghi.

I fattori predittori da correlare alle fotografie, e quindi alle presenze, possono essere forniti dall'utente o selezionati da una lista di predictors globali. Il modello lavora su una griglia customizzabile dall'utente per forma e dimensione e restituisce quale risultato il coefficiente di correlazione per ciascun predittore con l'attrattività riscontrata e misurata tramite il numero di foto georiferite nella medesima cella.

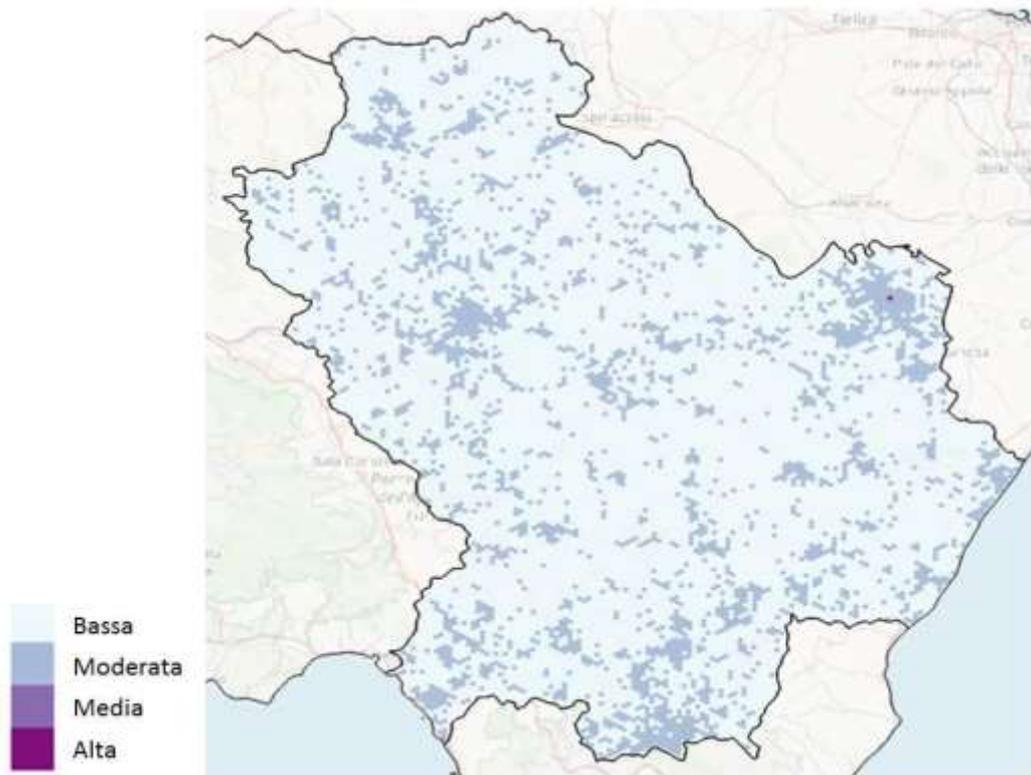


Figura 23. Mappa dell'attrattività turistica della regione Basilicata.

La rappresentazione del grado di attrattività ottenuto mediante l'implementazione del modello InVEST restituisce un risultato aderente a quanto ci si aspettava. Emerge infatti il ruolo dominante della città di Matera, la cui attrattività turistica risulta particolarmente marcata nell'area del centro storico. Emerge inoltre il ruolo delle coste e quindi del turismo balneare sia lungo la costa ionica ed in particolare in corrispondenza delle zone litorali di Bernalda, Pisticci e Policoro, sia lungo le coste tirreniche di Maratea. La mappa rileva inoltre la presenza di un turismo naturalistico con l'evidenza del Parco Nazionale del Pollino e dei Parchi delle Dolomiti Lucane e del Vulture. Altrettanto chiaramente emerge il ruolo del capoluogo di regione in quanto importante centro di servizi culturali.

## Consistenza del patrimonio attrattivo materiale e immateriale con riferimento alle principali componenti del sistema informativo territoriale

Al fine di valutare la caratterizzazione del territorio della regione Basilicata secondo una prospettiva di attrattività che supporti la programmazione di interventi e risorse finalizzati al potenziamento di "specializzazioni locali", si è cercato un indicatore del grado di specializzazione turistica della regione Basilicata, ottenuto mediante l'ausilio di strumenti e tecniche di analisi spaziale a partire da un significativo lavoro di raccolta e organizzazione di dati territoriali.

Le variabili prese in considerazione per la valutazione del grado di specializzazione sono state raggruppate nei seguenti domini di interesse:

- beni naturali e paesaggistici al cui interno sono inclusi le zone protette (SIC, ZPS, ZSC, ZONE EUAP), la linea di costa, i principali itinerari escursionistici disponibili, il reticolo ed i bacini idrografici;

Le zone naturali protette occupano complessivamente circa il 30% dell'intera superficie regionale, collocandola al secondo posto in Italia per percentuale di superficie protetta, con due parchi nazionali Pollino e Val d'Agri, due parchi regionali e sei riserve naturali regionali. Esse comprendono riserve, oasi, parchi e siti appartenenti alla Rete Natura 2000.

Diversi sono gli itinerari escursionistici che la Basilicata offre: dal territorio della Murgia materana, con le gravine e gli insediamenti rupestri, alle degradanti colline della valle del Bradano, le praterie in quota del Parco Nazionale del Pollino e del Parco Nazionale dell'Appennino Lucano, fino alle sculture di pietra del Parco di Gallipoli Cognato e delle Piccole Dolomiti Lucane; la costa tirrenica e il territorio del Lagonegrese e le dune sabbiose della costa ionica; i sentieri che articolano nei pressi del Vulture, antico vulcano. Tutti questi percorsi sono assunti quale base per avere un quadro generale, ma non esaustivo, della rete sentieristica regionale.

Risultano inoltre inclusi in questo dominio la complessa rete idrografica, con fiumi e torrenti che percorrono tutto il territorio regionale, e le aree costiere, poli attrattori soprattutto in riferimento al turismo balneare.

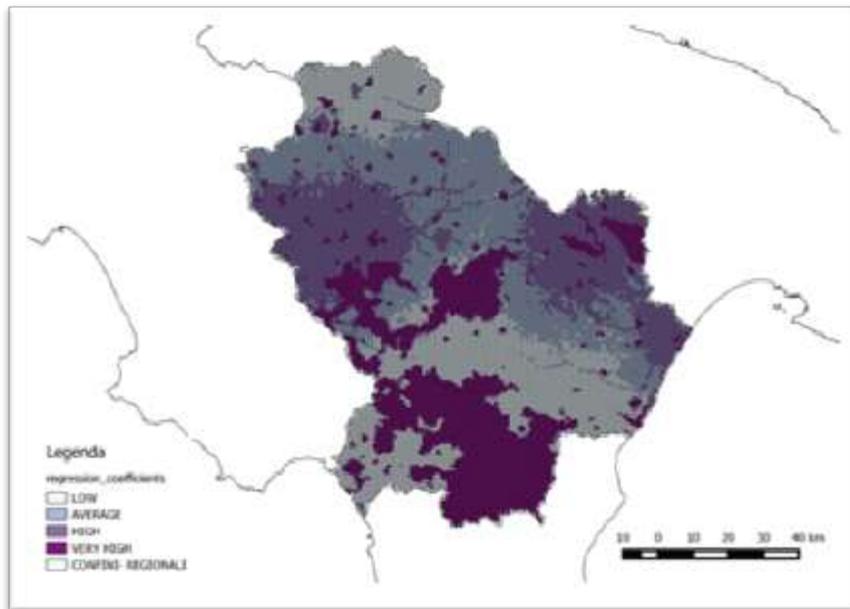
- beni culturali in cui sono stati considerati, oltre ai beni di interesse artistico-culturale, i centri storici, i musei, i teatri ed i principali siti archeologici, anche le Associazioni e le Pro Loco che supportano le attività legate alla ricettività e/o allo sviluppo di attrattività;
- struttura dell'offerta ricettiva e dei servizi turistici, considerando tale dominio costituito dai principali servizi di alloggio, i servizi di ristorazione, i lidi ed i flussi turistici (arrivi-presenze).

Tale dominio può consistere nella fornitura del solo servizio di alloggio o può comprendere altri servizi complementari, quali ad esempio ristorazione, sale per congressi, centri benessere, impianti sportivi, etc... L'offerta del servizio di alloggio o anche degli altri servizi può dipendere dall'ubicazione dell'impresa: montagna, mare, centro della città, periferia; dalla tipologia di clientela (affari, vacanza salute). Dagli spazi a disposizione necessari a svolgere queste attività le imprese ricettive si dividono in esercizi alberghieri ed esercizi complementari. Fanno parte del primo gruppo gli alberghi, i motel, i villaggi-albergo e le residenze turistico alberghiere. Fanno parte del secondo gruppo: i campeggi, i villaggi turistici, gli affittacamere, le case vacanza, gli ostelli e i rifugi montani.

Fanno parte inoltre di questa categoria i dati relativi al numero di arrivi e presenze nella regione lucana, messi a disposizione dall'APT. Per arrivi turistici si intende il numero di clienti, italiani e stranieri, ospitati negli esercizi ricettivi (alberghieri o complementari) nel periodo considerato; per presenze

turistiche invece si fa riferimento, al numero delle notti trascorse dai clienti negli esercizi ricettivi (alberghieri o complementari).

- accessibilità, intesa come l'insieme di stazioni e strade principali.



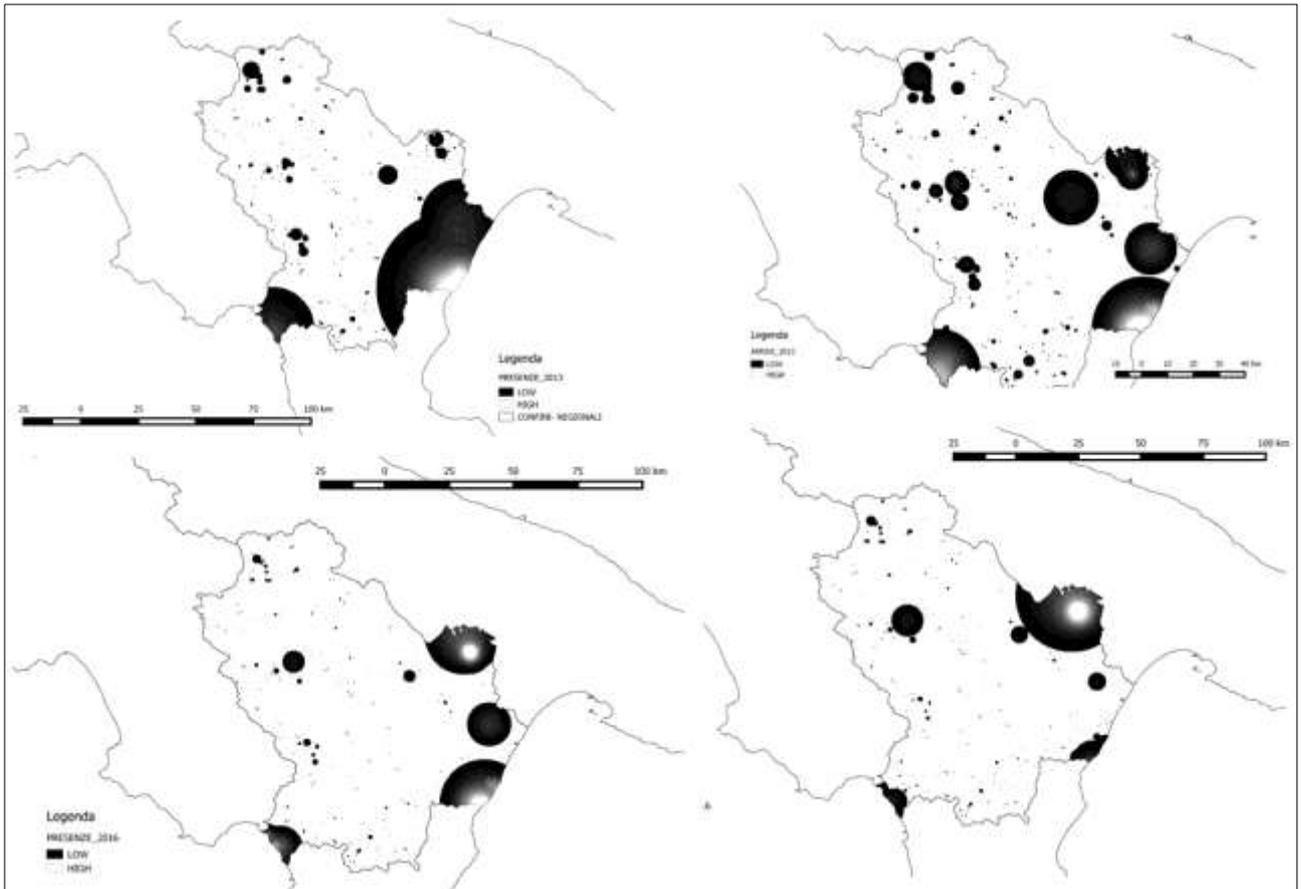
**Figura 24.** Mappa dell'attrattività della Regione Basilicata considerando tutti e 4 i domini sopra descritti.

L'interpretazione degli indicatori costruiti sulla base di un database spaziale così dettagliato, ha consentito di evidenziare diversi aspetti dell'attrattività del sistema Basilicata.

In primo luogo, infatti, si rende evidente come i beni naturali (zone protette, linea di costa, itinerari escursionistici, infrastruttura blu) incidano sull'immagine turistica della regione, confermando quanto riportato nel Piano Turistico Regionale, in cui si ribadisce l'importanza delle bellezze paesaggistiche tra cui spiccano gli itinerari all'interno del Parco Nazionale del Pollino (maggior attrattore dal punto di vista naturalistico), della Murgia materana e delle Piccole Dolomiti Lucane.

Per quanto riguarda invece le mete prevalentemente culturali, un ruolo di spicco è da assegnare ai due capoluoghi di provincia, Potenza e Matera, da considerarsi veri e propri hotspot culturali del sistema attrattivo lucano.

Valutando il peso dei flussi turistici (arrivi e presenze) e delle diverse strutture ricettive mediante il numero di posti letto a disposizione, è possibile ottenere un'ulteriore chiave di interpretazione dell'attrattività lucana.



**Figura 25.** Densità di Kernel ottenuta considerando presenze e arrivi rispettivamente nel 2013 e nel 2016.

La rielaborazione mediante regressione lineare multipla della densità misurata con il metodo di Kernel dei flussi turistici e dei posti letto misurati dal 2013 al 2016 mostra infatti un incremento della intensità dei flussi turistici: confermato il ruolo per le località costiere, si rimarca la capacità attrattiva di Matera e degli altri centri erogatori di servizi culturali.

Alla luce dei risultati ottenuti, emerge la necessità di arricchire il database relativo alle informazioni sulla struttura dell'offerta turistica territoriale che, allo stato attuale, presenta numerose incompletezze informative.

## Struttura del SIT

La consistenza del patrimonio attrattivo della regione Basilicata è stata analizzata per domini di appartenenza, così come dettagliato nella tabella che segue. I file, di diversi tipo e origine, sono stati considerati quali componenti del sistema turistico-attrattivo-ricettivo della regione Basilicata.

<b>DOMINIO</b>	<b>DENOMINAZIONE</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE</b>
BENI NATURALI E PAESAGGISTICI	Linee di costa	Vettoriale di tipo lineare	Geoportale nazionale
BENI NATURALI E PAESAGGISTICI	Siti Natura2000	Vettoriale di tipo poligonale	Geoportale nazionale
BENI NATURALI E PAESAGGISTICI	EUAP	Vettoriale di tipo poligonale	Geoportale nazionale
BENI NATURALI E PAESAGGISTICI	Rete sentieristica	Vettoriale di tipo lineare	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili su Google Earth (*.kml)
BENI NATURALI E PAESAGGISTICI	Geositi	Vettoriale di tipo puntuale	ISPRA
BENI NATURALI E PAESAGGISTICI	Reticolo idrografico	Vettoriale di tipo lineare	Geoportale nazionale
BENI CULTURALI	Teatri e musei	Vettoriale di tipo puntuale	Sito web 'Geofabrik'
BENI CULTURALI	Associazioni e Pro Loco	Vettoriale di tipo puntuale	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili dall'APT Basilicata (*.xls)
BENI CULTURALI	Località tipo 1	Vettoriale di tipo poligonale	Basi territoriali ISTAT
BENI CULTURALI	Attrazioni	Vettoriale di tipo puntuale	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili da Open Street Map
BENI CULTURALI	Siti archeologici	Vettoriale di tipo poligonale	RSDI Basilicata

BENI CULTURALI	Beni culturali	Vettoriale di tipo puntuale	Sito web 'Geofabrik'
OFFERTA RICETTIVA	Alloggi	Vettoriale di tipo puntuale	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili dall'APT Basilicata (*.xls)
OFFERTA RICETTIVA	Lidi	Vettoriale di tipo puntuale	RSDI Basilicata
OFFERTA RICETTIVA	Ristoranti	Vettoriale di tipo puntuale	RSDI Basilicata
OFFERTA RICETTIVA	Agenzie di viaggio	Vettoriale di tipo puntuale	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili dall'APT Basilicata (*.xls)
OFFERTA RICETTIVA	Villaggi turistici	Vettoriale di tipo puntuale	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili da Open Street Map
OFFERTA RICETTIVA	Presenze e arrivi	Vettoriale di tipo puntuale	Nostra elaborazione sulla base dei dati resi disponibili dall'APT Basilicata (*.xls) relativamente agli anni 2014 e 2017
ACCESSIBILITA'	Rete stradale	Vettoriale di tipo lineare	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Open Data
ACCESSIBILITA'	Stazioni	Vettoriale di tipo puntuale	ISTAT

I suddetti file sono archiviati con la medesima classificazione all'interno del Geo-database in allegato.

Agli strati informativi descritti, sono stati aggiunti i risultati delle elaborazioni relative alla stima del carbonio stoccato a livello regionale, dell'attrattività e della frammentazione territoriale dovuta all'evoluzione dell'edificato.

Il sistema di riferimento utilizzato per tutti i layer è UTM WGS 84/33N (EPSG 32633).

## Conclusioni per la parte scientifica

E' stato organizzato un database territoriale di dati di base ed elaborazioni di primo livello utili alla descrizione e valutazione del sistema insediativo e della struttura organizzativa e funzionale dei centri urbani per tutta la Regione Basilicata. Approfondimenti informativi dovranno essere sviluppati in termini di dotazioni infrastrutturali del territorio.

Mentre il focus su "crescita urbana e frammentazione" ha raggiunto una fase di elaborazione avanzata, con risultati maturi già validati all'interno della comunità scientifica, i focus su "rango e struttura policentrica del sistema insediativo" e "accessibilità e specializzazioni territoriali" necessitano dei tempi di finalizzazione delle analisi già avviate e tutti insieme andranno a produrre un risultato di sintesi che potrà essere disponibile nei primi mesi del 2019.

Il quadro descritto completa i temi di approfondimento definiti in convenzione e orienta verso un quadro analitico integrato funzionale alla valutazione di scenari e politiche territoriali alla scala regionale.

## Bibliografia

K. C. C. Martin Herold, Helen Couclelis, "The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change," *Comput. Environ. Urban Syst.*, vol. 29, no. 4, pp. 369–399, Jul. 2005.

G. Galster, R. Hanson, M. R. Ratcliffe, H. Wolman, S. Coleman, and J. Freihage, "Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept," *Hous. Policy Debate*, vol. 12, no. 4, pp. 681–717, Jan. 2001.

J. E. Hasse and R. G. Lathrop, "Land resource impact indicators of urban sprawl," *Appl. Geogr.*, vol. 23, no. 2–3, pp. 159–175, Apr. 2003.

J. A. G. Jaeger, "Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation," *Landsc. Ecol.*, vol. 15, no. 2, pp. 115–130, 2000.

"Urban Sprawl | Definition of Urban Sprawl by Merriam-Webster." [Online]. Available: [https://www.merriam-webster.com/dictionary/urban sprawl](https://www.merriam-webster.com/dictionary/urban%20sprawl). [Accessed: 04-Jul-2018].

B. Romano and F. Zullo, "The urban transformation of Italy's Adriatic coastal strip: Fifty years of unsustainability," *Land use policy*, vol. 38, pp. 26–36, May 2014.

B. Romano, F. Zullo, S. Ciabò, L. Fiorini, and A. Marucci, "Geografie e modelli di 50 anni di consumo di suolo in Italia," vol. 5, pp. 17–28, 2015.

B. Romano, F. Zullo, L. Fiorini, S. Ciabò, and A. Marucci, "Sprinkling: An Approach to Describe Urbanization Dynamics in Italy," *Sustainability*, vol. 9, no. 1, p. 97, Jan. 2017.

B. Romano, F. Zullo, L. Fiorini, A. Marucci, and S. Ciabò, "Land transformation of Italy due to half a century of urbanization," *Land use policy*, vol. 67, pp. 387–400, Sep. 2017.

A. De Montis, B. Martín, E. Ortega, A. Ledda, and V. Serra, "Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach," *Land use policy*, vol. 64, pp. 83–94, 2017.

H. You, You, and Heyuan, "Quantifying Urban Fragmentation under Economic Transition in Shanghai City, China," *Sustainability*, vol. 8, no. 1, p. 21, Dec. 2015.

"Istat.it." [Online]. Available: <https://www.istat.it/>. [Accessed: 05-Apr-2018].

ISTAT, *Forme, livelli e dinamiche dell'urbanizzazione in Italia*. 2011.

ISPRA, "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2018," 2018.

B. Romano and F. Zullo, "Valutazione della pressione insediativa - Indicatori e sperimentazioni di soglie," in *Biodiversità, disturbi, minacce*, Universita., no. December, U. Udinese, Ed. Udine, 2015, pp. 170–177.

G. Corridore and B. Romano, "L'interferenza ecosistemica dell'insediamento. tecniche di analisi e valutazione," no. December, pp. 1–20, 2004.

D. A. Garcia, D. Bruschi, F. Cinquepalmi, and F. Cumo, "An Estimation of Urban Fragmentation of Natural Habitats: Case Studies of the 24 Italian National Parks," Icheap-11 11th Int. Conf. Chem. Process Eng. Pts 1-4, vol. 32, no. February 2014, pp. 49–54, 2013.

A. De Montis, A. Ledda, E. Ortega, B. Martín, and V. Serra, "Landscape planning and defragmentation measures: an assessment of costs and critical issues," Land use policy, vol. 72, no. November 2017, pp. 313–324, 2018.

B. Romano, L. Fiorini, F. Zullo, and A. Marucci, "Urban Growth Control DSS Techniques for De-Sprinkling Process in Italy," Sustainability, vol. 9, no. 10, p. 1852, Oct. 2017.

G. MESSINA and M. SOTTILE, "Analisi spaziali e valutazioni economiche dei fenomeni di sprawl e sprinkling sulla base della frammentazione urbana nella Provincia di Lodi."

Amato, F., Maimone, B. A., Martellozzo, F., Nolè, G., & Murgante, B. (2016). The effects of urban policies on the development of urban areas. *Sustainability*, 8(4), 297, 1–22 (2016). doi:10.3390/su8040297.

Amato, F., Nolè, G., Martellozzo, F., & Murgante, B. (2017). Preserving cultural heritage by supporting landscape planning with quantitative predictions of soil consumption. *Journal Cultural Heritage*, 23, 44–54 (2017). doi: 10.1016/j.culher.2015.12.009

Amato, F., Pontrandolfi, P., & Murgante, B. (2015). Supporting planning activities with the assessment and the prediction of urban sprawl using spatio-temporal analysis. *Ecological Informatics*, 30, 365–378 (2015). doi: [10.1016/j.ecoinf.2015.07.004](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.07.004).

Andrén, H. Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. *Oikos* 1994, 71, 355.

Astiaso, D.; Bruschi, D.; Cinquepalmi, F. An Estimation of Urban Fragmentation of Natural Habitats: Case Studies of the 24 Italian National Parks. *CET* 2015, 32, 49–54.

Bagstad, K. J., Darius, J., Semmens, D.J., Waage, S., Winthrop, R. (2013). A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27–39 (2013). doi: 10.1016/j.ecoser.2013.07.004.

Barca, F. (2009). An agenda for a reformed cohesion policy: A place-based approach to meeting European Union challenges and expectations. Barca

Brueckner, J.K. Urban Sprawl: Diagnosis and Remedies. *Int. Reg. Sci. Rev.* 2000, 23, 160–171.

Bulkeley, H., & Jordan, A. (2012). Transnational environmental governance: new findings and emerging research agendas. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 30(4), 556–570.

Camagni, R.; Gibelli, M.C.; Rigamonti, P. Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecol. Econ.* 2002, 40, 199–216. Romano, B.; Fiorini, L.; Zullo, F.; Marucci, A. Urban Growth Control DSS Techniques for De-Sprinkling Process in Italy. *Sustainability* 2017, 9, 1852.

Cannas, I., & Zoppi, C. (2017). Ecosystem services and the Natura 2000 network: A study concerning a green infrastructure based on ecological corridors in the metropolitan city of Cagliari. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. M. Torre, A.M.A.C. Rocha, D. Taniar, B.O. Apduhan, E. Stankova, & A. Cuzzocrea (Eds.), *Computational science and its applications* (pp. 379–400). Cham: Springer International Publishing.

Cosentino, C.; Amato, F.; Murgante, B. Population-Based Simulation of Urban Growth: The Italian Case Study. *Sustainability* 2018, 10, 4838.

Cowell R., & Lennon, M. (2014). The utilisation of environmental knowledge in land-use planning: drawing lessons for an ecosystem services approach. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 32(2), 263–282 (2014). <https://doi.org/10.1068/c12289j>.

De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., et al. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <http://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>.

De Montis, A.; Martín, B.; Ortega, E.; Ledda, A.; Serra, V. Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy* 2017, 64, 83–94.

DG Regio (2014) The Programming Period 2014–2020 / Guidance Document on Monitoring and Evaluation / European Cohesion Fund - European Regional Development Fund / Concepts and Recommendations, Directorate-General for Regional Policy, European Commission, March 2014, Brussels, ISBN: 978-92-79-45496-7. doi: 10.2776/969657.

Dvarioniene, J., Grecu, V., Lai, S., & Scorza, F. (2017). Four perspectives of applied sustainability: Research implications and possible integrations. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. M. Torre, A.M.A.C. Rocha, D. Taniar, B.O. Apduhan, E. Stankova, & A. Cuzzocrea (Eds.), *Computational science and its applications* (pp. 554–563), Cham: Springer International Publishing.

EC (2008). Green Paper on Territorial Cohesion - Turning territorial diversity into strength. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Committee of the Regions and the European Economic and Social Committee, European Commission COM (2008) 616 final. Brussels, 6.10.2008.

EC (2010). Investing in Europe's future: Fifth report on economic, social and territorial cohesion. Report from the Commission. Directorate General for Regional Policy, Brussels

EC (2010a) EUROPE 2020 - a strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Communication from the Commission. Brussels, COM(2010)2020 final,

European Union (2011). The EU biodiversity strategy to 2020. Luxembourg, ISBN 978-92-79-20762-4. doi: 10.2779/39229.

Floris, M., & Ruggeri, D. (2017). Planning with ecosystem services in the Natura 2000 network of the metropolitan city of Cagliari. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. M. Torre, A.M.A.C. Rocha, D. Taniar, B.O. Apduhan, E. Stankova, & A. Cuzzocrea (Eds.), *Computational science and its applications* (pp. 401–415). Cham: Springer International Publishing.

Galster, G.; Hanson, R.; Ratcliffe, M.R.; Wolman, H.; Coleman, S.; Freihage, J. Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept. *Hous. Policy Debate* 2001, 12, 681–717.

Gibelli, M.C.; Salzano, E. *No Sprawl*; Alinea: Firenze, Italy, 2006; ISBN 8860550637.

Hasse, J.E.; Lathrop, R.G. Land resource impact indicators of urban sprawl. *Appl. Geogr.* 2003, 23, 159–175.

Hennig, E.I.; Schwick, C.; Soukup, T.; Orlitová, E.; Kienast, F.; Jaeger, J.A.G. Multi-scale analysis of urban sprawl in Europe: Towards a European de-sprawling strategy. *Land Use Policy* 2015, 49, 483–498.

Herold, M.; Couclelis, H.; Clarke, K.C. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Comput. Environ. Urban Syst.* 2005, 29, 369–399.

ISPRA. *Consumo di Suolo, Dinamiche Territoriali e Servizi Ecosistemici*; ISPRA, Rapporti: Roma, Italia, 2018; ISBN 978-988-448-0902-7.

ISPRA. *Dissesto Idrogeologico in Italia: Pericolosità e Indicatori di Rischio*; ISPRA Rapporti: Roma, Italia, 2018.

Jaeger, J.A.G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landsc. Ecol.* 2000, 15, 115–130.

Jordan, A., & Russel, D. (2014). Embedding the concept of ecosystem services? The utilisation of ecological knowledge in different policy venues. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 32(2), 192–207 (2014). doi: 10.1068/c3202ed.

Kew, B.; Lee, B. Measuring Sprawl across the Urban Rural Continuum Using an Amalgamated Sprawl Index. *Sustainability* 2013, 5, 1806–1828.

Kumar P. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations (TEEB)*. London and Washington: Earthscan. <http://www.teebweb.org/publication/the-economics-of-ecosystems-and-biodiversity-teeb-ecological-and-economic-foundations/>. Accessed 26 September 2017.

Las Casas, G., & Scorza, F. (2009). Un approccio “context based” e “valutazione integrata” per il futuro della programmazione operativa regionale in Europa. In A. Bramanti & C. Salone (Eds.), *Lo sviluppo territoriale nell'economia della conoscenza: Teorie, attori strategie* (Vol. 42, pp. 253–274). FrancoAngeli Editore.

Las Casas, G., & Scorza, F. (2016). Sustainable planning: A methodological toolkit. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. M. Torre, A.M.A.C. Rocha, D. Taniar, B.O. Apduhan, E. Stankova, & A. Cuzzocrea (Eds.), *Computational science and its applications (Part I - pp. 627–635)*. Cham: Springer International Publishing.

Leemans R, De Groot RS (2003). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Millennium Ecosystem Assessment, Washington, Covelo, London: Island Press (Millennium assessment contribution), ISBN: 9781559634038, [https://islandpress.org/book/ecosystems-and-human-well-being-0?prod\\_id=474](https://islandpress.org/book/ecosystems-and-human-well-being-0?prod_id=474). Accessed 30 August 2017.

Martellozzo, F.; Amato, F.; Murgante, B.; Clarke, K.C. Modelling the impact of urban growth on agriculture and natural land in Italy to 2030. *Appl. Geogr.* 2018, 91, 156–167.

McCann, P., & Ortega-Argilés, R. (2015). Smart Specialization, Regional Growth and Applications to European Union Cohesion Policy. *Regional Studies*, 49(8), 1291–1302. doi: 10.1080/00343404.2013.799769.

McKenzie, E., Posner, S., Tillmann P., Bernhardt, J. R., Howard, K., & Rosenthal, A. (2014). Understanding the use of ecosystem service knowledge in decision making: lessons from international experiences of spatial planning. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 32(2), 320–340.

Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press, ISBN: 9781597260404.

Nagendra, H.; Munroe, D.K.; Southworth, J. From pattern to process: Landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2004, 101, 111–115.

Natural Capital Project (NCP) (2015). *INVEST User Guide*. <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>. Accessed 30 August 2017.

Owens, S. (2005). Making a difference? Some perspectives on environmental research and policy. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 30(3), 287–292 (2005). doi: 10.1111/j.1475-5661.2005.00171.x.

Report. [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/archive/policy/future/barca\\_en.htm](http://ec.europa.eu/regional_policy/archive/policy/future/barca_en.htm). Accessed 28 August 2017.

Romano, B.; Zullo, F. The urban transformation of Italy’s Adriatic coastal strip: Fifty years of unsustainability. *Land Use Policy* 2014, 38, 26–36.

Romano, B.; Zullo, F. Valutazione della pressione insediativa—Indicatori e sperimentazioni di soglie. In *Biodiversità, Disturbi, Minacce*; Editrice Universitaria: Udinese, Udine, 2013; pp. 170–177.

Romano, B.; Zullo, F.; Ciabò, S.; Fiorini, L.; Marucci, A. Geografie e modelli di 50 anni di consumo di suolo in Italia. *Sci. Ric.* 2015, 5, 17–28.

Romano, B.; Zullo, F.; Fiorini, L.; Ciabò, S.; Marucci, A. Sprinkling: An Approach to Describe Urbanization Dynamics in Italy. *Sustainability* 2017, 9, 97.

Romano, B.; Zullo, F.; Fiorini, L.; Marucci, A.; Ciabò, S. Land transformation of Italy due to half a century of urbanization. *Land Use Policy* 2017, 67, 387–400.

RSDI—Geoportale Basilicata. Available online: <https://rsdi.regione.basilicata.it/> (accessed on 6 March 2018).

Saganeiti, L.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Mussuto, G.; Murgante, B. Spatial Indicators to Evaluate Urban Fragmentation in Basilicata Region; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 100–112. Foley, J.A.; DeFries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K.; et al. Global Consequences of Land Use. *Science* 2005, 309, 570–574.

Scorza F., Fortino Y., Giuzio B., Murgante B., & Las Casas, G. (2017). Measuring territorial specialization in tourism sector: The Basilicata region case study. In: O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, G. Borruso, C. M. Torre, A.-M. A.C. Rocha, D. Taniar, B. O. Apduhan, E. Stankova, A. Cuzzocrea (Eds.) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017*. ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10409 (pp. 540–553). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-62407-5\_38.

Scorza, F., & Grecu, V. (2016). Assessing sustainability: Research directions and relevant issues. In: O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, A.-M. A.C. Rocha, C. M. Torre, D. Taniar, B. O. Apduhan, E. Stankova, & S. Wang (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2016*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9786 (Part I, pp. 642–647). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-42085-1\_55.

Song, W.; Liu, M. Assessment of decoupling between rural settlement area and rural population in China. *Land Use Policy* 2014, 39, 331–341.

Urban Sprawl. Definition of Urban Sprawl by Merriam-Webster. Available online: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/urban%20sprawl> (accessed on 4 July 2018).

Wang, C.; Liu, Y.; Kong, X.; Li, J. Spatiotemporal decoupling between population and construction land in urban and rural Hubei province. *Sustainability* 2017, 9, 1258.

You, H. Quantifying Urban Fragmentation under Economic Transition in Shanghai City, China. *Sustainability* 2015, 8, 21.

Zanganeh Shahraki, S.; Sauri, D.; Serra, P.; Modugno, S.; Seifoddini, F.; Pourahmad, A. Urban sprawl pattern and land-use change detection in Yazd, Iran. *Habitat Int.* 2011, 35, 521–528.

## Dissemination

### Presentazioni a conferenze:

European Geosciences Union (EGU) 2019, svoltasi dal 08/04/2019 al 12/04/2019 presso Austria Center Vienna (ACV)

UrbIng PhD 2019, svoltosi in data 24/05/2019 presso l'Università Sapienza

International Conference on Innovation in Urban and Regional Planning (INPUT) Academy 2019, svoltasi dal 24/06/2019 al 26/06/2019 presso l'Università degli Studi di Cagliari

International Conference on Computational Science and its Applications (ICCSA) 2019, svoltasi dal 01/07/2019 al 04/07/2019 presso la Saint Petersburg University – San Pietroburgo (Russia)

REAL CORP 2019 International Conference on Urban Planning and Regional Development in the Information Society, KARLSRUHE (GERMANIA) svoltasi dal 1 al 4 Aprile 2019

CeNSU International Annual Symposium - 2019 "Densità e sostenibilità" svoltosi il 3 Maggio 2019 a Napoli.

XXIV International Conference "Living and Walking in Cities" svoltasi in data 12 Settembre 2019 a Brescia

### Pubblificazioni internazionali indicizzate:

Pilogallo, A., Saganeiti, L., Scorza, F., & Murgante, B. (2019). Ecosystem Services' Based Impact Assessment for Low Carbon Transition Processes. *TeMA-Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 12(2), 127-138 DOI: <https://doi.org/10.6092/1970-9870/6117>;

Pilogallo A., Saganeiti L., Scorza F., Murgante B. (2019) Ecosystem Services Approach to Evaluate Renewable Energy Plants Effects. In: Misra S. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11624. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1_20);

Pilogallo, A., Saganeiti, L., Scorza, F., & Murgante, B. (2019). Investigating Urban Growth Dynamic–Land Surface Temperature Relationship. In: Misra S. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11624. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24302-9\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24302-9_51);

Pilogallo, A., Nolè, G., Amato, F., Saganeiti, L., Bentivenga, M., Palladino, G., Las Casas, G. (2019). Geotourism as a Specialization in the Territorial Context of the Basilicata Region (Southern Italy). *Geoheritage*, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00396-9>, **I.F. 2,597**;

Saganeiti, L., Pilogallo, A., Izzo, C., Piro, R., Scorza, F., & Murgante, B. (2019). Development Strategies of Agro-Food Sector in Basilicata Region (Italy): Evidence from INNOVAGRO Project. In: Misra S. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11624. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1_25);

Saganeiti, L., Pilogallo, A., Faruolo, G., Scorza, F., & Murgante, B. (2019). Energy Landscape Fragmentation: Basilicata Region (Italy) Study Case. In: Misra S. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019. ICCSA 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11624. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24302-9\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24302-9_50);

Saganeiti, L., Bentivenga, M., Pilogallo, A., Scorza, F., Nolè, G., Tucci, B., ... & Murgante, B. (2019). The Shape of Settlement Fabric and Geomorphology: the Case Studies of Pisticci and Corleto Perticara (Basilicata, Italy). *Geoheritage*, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00373-2>, **I.F. 2,597**;

Scorza, F., Murgante, B., Las Casas, G., Fortino, Y., & Pilogallo, A. (2019). Investigating territorial specialization in tourism sector by ecosystem services approach. In *Mediterranean Cities and Island Communities* (pp. 161-179). Springer, Cham. DOI:[https://doi.org/10.1007/978-3-319-99444-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99444-4_7);

Scorza F., Pilogallo A., Saganeiti L., Murgante B, Pontrandolfi P. Comparing territorial performances of Renewable Energy Sources' plants with integrated Ecosystem Services loss assessment: a case study from Melfi municipality sample area the in Basilicata region (Italy). *Sustainable Cities and Society*, Elsevier **(sottomesso, in attesa di pubblicazione) I.F. 4,624**

Saganeiti, L.; Favale, A.; Pilogallo, A.; Scorza, F.; Murgante, B. (2018) Assessing Urban Fragmentation at Regional Scale Using Sprinkling Indexes. *Sustainability* 2018, 10, 3274.

Martellozzo, F., Amato, F., Murgante, B., Clarke, K.C. (2018) Modelling the impact of urban growth on agriculture and natural land in Italy to 2030 *Applied Geography* 91, pp. 156-167 DOI:10.1016/j.apgeog.2017.12.004

## Rendicontazione economica

Le risorse attestate all'unità di ricerca coordinata dal Prof. Francesco Scorza sono state impegnate/utilizzate come segue:

- n. 1 Borsa di studio, assegnata con procedura concorsuale alla Dott.ssa Angela Pilogallo sul tema: **Raccolta dati territoriali, elaborazioni GIS e produzione di carte tematiche per la valutazione della crescita urbana e dei suoi effetti in termini di frammentazione territoriale secondo l'approccio dei "servizi ecosistemici" (ref. Millennium Ecosystem Assessment - MA, 2005) per la valutazione dei livelli di specializzazione del territorio lucano.**

Durata di **5 mesi**, per un importo lordo onnicomprensivo di Euro **7.300,00 € (settemilatrecento,00 euro)**

- n. 1 Borsa di studio, assegnata con procedura concorsuale al Dott. Giuseppe La Greca sul tema: **Raccolta e rappresentazione di dati territoriali; modellazione digitale di indicatori e grandezze territoriali; produzione di carte tematiche per la valutazione della crescita urbana e la rappresentazione del rango dei sistemi urbani della Regione Basilicata; valutazione di livelli di specializzazione del territorio lucano nell'offerta di servizi e attrezzature.**

Durata di **4 mesi**, per un importo lordo onnicomprensivo di Euro **5.000,00 € (cinquemila,00 euro)**

Le risorse residue sono state utilizzate per co-finanziare una borsa di dottorato di ricerca nell'ambito del bando Dottorati di ricerca XXXIV Ciclo "Ingegneria per l'Innovazione e lo Sviluppo Sostenibile" di cui è risultata vincitrice la Dott. Angela Pilogallo

(ref: <http://portale.unibas.it/site/home/didattica/dottorati-di-ricerca/articolo7227.html>)