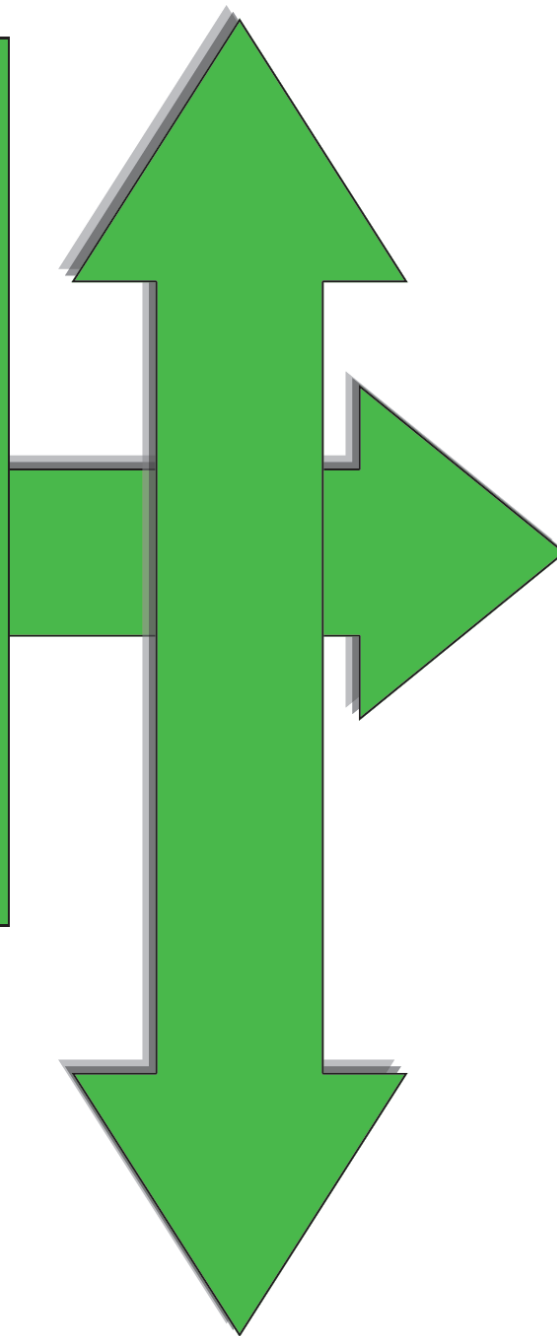


R.E.Po.T.
Rivista di
Economia e
Politica dei
Trasporti



Anno 2016, Numero 3

Rivista Scientifica della Società Italiana di
Economia dei Trasporti e della Logistica



ISSN 2282-6599



Mobilità urbana sostenibile: un' esplorazione della situazione nei capoluoghi di provincia in Italia

Adriana Monte^{1*}, Romeo Danielis¹, Lucia Rotaris¹

¹*Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche
Università degli Studi di Trieste*

Riassunto

Nell'articolo si discute il significato della mobilità urbana sostenibile e le decisioni complesse che devono essere prese al fine di definire il concetto e utilizzarlo per costruire un indice composito di mobilità sostenibile. Facendo uso dei dati esistenti prodotti dall'Istat vengono individuati sei indicatori di mobilità sostenibile a livello di capoluogo di provincia. Alcuni di questi indicatori vengono costruiti a partire dai dati dei due ultimi Censimenti della Popolazione. Viene eseguita una analisi esplorativa della situazione della mobilità sostenibile preliminare alla costruzione di un indice sintetico. A tale scopo nel lavoro viene applicata una *cluster analysis* con riferimento sia all'anno 2001 che al 2011. Vengono individuati sia al 2001 che al 2011 sei gruppi o *clusters* in cui sono raggruppate le 116 città considerate. Dall'analisi risulta che mentre nel 2001 la dimensione della città e la sua posizione geografica sembrano svolgere un ruolo, nel 2011 questo appare meno chiaro. Il risultato che appare più evidente è che la mobilità urbana è più sostenibile nelle città medio-piccole. Dal confronto tra gli anni 2001 e il 2011 sembra inoltre che nell'ultimo decennio le città di piccole-medie dimensioni siano migliorate più delle grandi città. In altre parole, le piccole città appaiono essere in grado di risolvere i loro aspetti negativi più di quanto non lo siano le grandi città.

Parole chiave: Mobilità urbana sostenibile, indicatori provinciali.

1. Introduzione

Promuovere nuovi modelli di trasporto sostenibile è un obiettivo comunemente accettato. E' importante quindi essere in grado di misurare e valutare la sostenibilità dei *trends* e delle politiche di trasporto presenti e future. Nonostante ciò non c'è una generale concordanza né sul concetto di trasporto sostenibile, né su quali indici dovrebbero essere utilizzati per misurarlo in modo appropriato ed ancor meno sulle politiche che dovrebbero essere attuate. Questo non sorprende molto considerando che i portatori di interesse sono numerosi e diversi e che gli impatti del trasporto sull'economia, sulla società e sull'ambiente sono molto complessi. La comunità scientifica ha l'importante compito di chiarire il dibattito, di proporre indicatori basati su metodi scientificamente attendibili e di fornire un'analisi politica coerente. Questo lavoro si prefigge di contribuire a tale compito.

* Autore a cui spedire la corrispondenza: Adriana Monte (adriana.monte@deams.units.it)

2. Definire la mobilità sostenibile

I termini mobilità sostenibile, trasporto sostenibile o trasporto eco-sostenibile (EST), sviluppato dall'OCSE (1996), sono termini comunemente utilizzati per fare riferimento alla necessità di migliorare la sostenibilità dei sistemi di trasporto sia a livello globale che locale. Si indicano solitamente tre pilastri su cui si fonda un sistema di trasporto sostenibile: l'economico, l'ambientale e quello sociale o, detto in altro modo, le tre E dall'inglese *Environment, Equity, and Economy*¹. Sono state proposte varie definizioni per tale concetto (Joumard e Gudmundsson, 2010, p. 292). Una prima, strettamente legata al concetto di sviluppo sostenibile, è riportata nel rapporto Brundtland:

“Il trasporto sostenibile soddisfa i bisogni di mobilità del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i medesimi bisogni.” (Zietsman e Rilett, 2002)

Una definizione più ampia, fornita da ECMT (2001), stabilisce che un sistema di trasporto eco-sostenibile è quello che:

- consente l'accesso di base, permette che le esigenze di sviluppo degli individui, delle aziende e della società vengano soddisfatte in modo sicuro e coerente con i bisogni di salute della popolazione e dell'ecosistema, promuove l'equità all'interno e tra le generazioni successive;
- è accessibile, opera in modo adeguato ed efficiente, offre la possibilità di scegliere tra varie modalità di trasporto e favorisce un'economia competitiva, nonché uno sviluppo regionale equilibrato;
- limita le emissioni e i rifiuti entro le capacità del pianeta di assorbirli, utilizza risorse rinnovabili pari o al di sotto dei loro tassi di rigenerazione e utilizza risorse non rinnovabili non oltre i loro tassi di sostituzione, riducendo al minimo l'impatto sull'uso della terra e la generazione di rumore.

Definire e misurare la sostenibilità ambientale di un sistema di trasporto richiede in primo luogo una conoscenza approfondita della complessa interazione tra l'ambiente e il sistema di trasporto (infrastrutture e operazioni di trasporto). Il *COST² action 356 “EST - Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport”* è uno dei molti contributi che si trovano in letteratura su questo tema. Esso ha identificato 49 catene causali che descrivono un'ampia varietà di impatti ambientali connessi con la costruzione, l'impiego e lo smaltimento delle componenti di un sistema di trasporto. In tale contributo si afferma che: "la chiara definizione e descrizione di ciascuna catena è il necessariamente solido fondamento per la ricerca dei corrispondenti indicatori." (Joumard e Gudmundsson, 2010, p. 14). Ovviamente tali catene riflettono le conoscenze scientifiche del momento e i fattori culturali ed economici prevalenti (ad esempio, la catena causale cambiamento climatico è emersa in tutta la sua complessità e urgenza negli ultimi anni).

¹ Hall (2006) aggiunge un ulteriore pilastro: la *governance*.

² COST – acronimo per *European COoperation in the field of Scientific and Technical Research* – è il più vecchio e il più ampio network intergovernativo europeo per la cooperazione nella ricerca. Fu costituito dalla *Ministerial Conference* nel novembre 1971 ed è attualmente utilizzato dalle comunità scientifiche di 35 Paesi europei per cooperare in progetti di ricerca comuni finanziati da fondi nazionali: si veda www.cost.esf.org.

3. Misurare la mobilità sostenibile

Uno dei principali contributi del *COST action 356* è la discussione del concetto e del ruolo degli indicatori³. In termini pratici, un indicatore ambientale misura semplicemente l'interrelazione tra il sistema di trasporto e quello ambientale. Un'interessante interpretazione, attribuita a Bourdon e Lazarfeld (1965), su come gli indicatori vengono individuati e sintetizzati è il seguente: "Il ragionamento è di tipo *multi-step*. Sia dato un concetto X. Iniziamo con la costruzione di una rappresentazione di questo concetto pieno di immagini: qui entrano in gioco la conoscenza, la sensibilità e la creatività. Il passaggio successivo specifica il concetto, dando le sue dimensioni. Durante il terzo passo, vengono scelti gli indicatori di queste dimensioni, cioè alcune caratteristiche osservabili, che mostrano queste dimensioni. Alla fine viene eseguita la sintesi ponderata di queste dimensioni e si ottiene così una misura unica, che è l'indice (Bourdon e Lazarfeld, 1965)."

L'utilità degli indicatori può essere giustificata per motivi diversi. Mitchell *et al.* (1995) identificano quattro motivi principali: 1) permettono la sintesi di numerosi dati; 2) mostrano la posizione corrente in relazione agli stati desiderabili; 3) mostrano i progressi verso le finalità e gli obiettivi; 4) comunicano lo stato corrente alle parti interessate affinché possano prendere decisioni di gestione efficaci che portino verso gli obiettivi. Viene fatta una distinzione tra indicatori che svolgono una generica funzione di misurazione e indicatori che devono essere usati per funzioni di *policy* e per prendere delle decisioni (Joumard e Gudmundsson, 2010, p. 28). Un'interessante ulteriore distinzione è tra indicatori di input, che misurano quanto è stato fatto (ad es. la lunghezza delle corsie riservate), indicatori di processo, che descrivono come il sistema di trasporto risponde agli interventi realizzati (ad es. la velocità degli autobus), e indicatori di output, che misurano il risultato di una strategia (ad es. la quota modale), (KonSULT, 2007).

Quanto esposto sottolinea l'importanza della selezione degli indicatori. Il processo di selezione di un indicatore, che deve essere reso esplicito, dovrebbe rispondere, secondo *COST action 356* a dieci criteri: validità, affidabilità, sensibilità, misurabilità, disponibilità dei dati, principi di ordine etico, trasparenza, interpretabilità, rilevanza dell'obiettivo e realizzabilità (Joumard e Gudmundsson, 2010, p. 121).

4. Verso una considerazione congiunta degli indicatori di mobilità sostenibile

Dopo aver selezionato gli indicatori, vi è l'esigenza di considerarli congiuntamente, tentando anche di costruire un indicatore aggregato o composito⁴. Come affermano Joumard e Gudmundsson (2010, p. 92) "Il bisogno di una considerazione congiunta degli indicatori deriva dal bisogno di una visione globale, sia nell'analisi di un sistema

³ Un'ampia discussione di cosa sia un indicatore viene presentata in *Proceedings of the COST action 356 EST Seminar* intitolato *Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport*.

⁴ Sharpe (2004) nota che vi sono due scuole di pensiero: a) gli aggregatori che credono che una tale statistica riassuntiva può effettivamente catturare la realtà e che sottolineare la linea di fondo è estremamente utile per raccogliere l'interesse dei media e, quindi, l'attenzione dei responsabili politici, e b) i non-aggregatori che credono ci si dovrebbe fermare una volta che è stato creato un opportuno set di indicatori. La loro obiezione chiave all'aggregazione è che vedono l'arbitrarietà del processo di ponderazione con cui le variabili sono combinate.

che in un contesto di sviluppo delle politiche”. Le alternative sarebbero: a) la selezione di uno o più indicatori ambientali in grado di rappresentare una questione più globale (es. le emissioni di CO₂ che rappresentano gli impatti ambientali di un progetto); b) l'applicazione di metodi di decisione a criteri multipli.

Sono state proposte varie tecniche di aggregazione. Nella letteratura sulla valutazione di impatto ambientale, sono stati presentati i seguenti metodi di aggregazione:

- *Life Cycle Assessment*: consiste nello stabilire una lista dei dati di input e di output per quanto riguarda il sistema studiato e nel valutare i risultati di un sistema con riguardo alla loro rilevanza ambientale. Diversi metodi sono stati sviluppati per aggregare gli indicatori di impatto ambientale. I due più comuni sono il metodo della scarsità ecologica (Frischknecht et al., 2009), e l'aggregazione in base al metodo ReCipE⁵ (Goedkoop et al., 2009).

- *Ecological footprint*: proposto da Rees e Wackernagel (1994) è oggi considerato come uno dei principali indicatori ambientali. Esso può essere definito come l'area produttiva di terra e l'acqua necessari non solo a fornire le risorse che un certo individuo, o gruppo di individui richiedono, ma che sono necessari anche per assorbire i rifiuti che l'individuo o il gruppo producono, ovunque si trovi quest'area, data la tecnologia prevalente e le pratiche di gestione delle risorse. L'unità scelta è la superficie media mondiale biologicamente produttiva, chiamata ettaro globale. Al fine di combinare le impronte ecologiche o biocapacità di diversi tipi di uso del suolo, viene utilizzato un fattore di scala.

- *Material input per Service-unit (MIPS)*: è stato sviluppato da Schmidt-Bleek (1994) per stimare l'uso di risorse dovuto ad una unità di prodotto o servizio. Si basa sul presupposto che i potenziali impatti ambientali di un prodotto possano essere valutati sulla base dell'input materiale nell'intero ciclo di vita del prodotto. Meno materie prime vengono utilizzate, meno impatti ambientali ne derivano.

Questi approcci quantificano l'impatto ambientale (biologico, chimico, risorse materiali, superficie terrestre), stimano i danni alla salute, al paesaggio, alla biodiversità, al clima senza tener conto delle preferenze dei consumatori e delle implicazioni sociali. Al contrario, l'approccio dell'economia del benessere, tipicamente utilizzato nella letteratura sull'economia ambientale, si basa sul presupposto che gli individui abbiano preferenze e che la loro utilità, o benessere, derivi dal consumo. I consumatori hanno preferenze ben definite e nell'effettuare le loro scelte di consumo si comportano coerentemente con esse al fine di aumentare il proprio benessere, la propria utilità. I beni ambientali, tuttavia, non sono soggetti, nella maggior parte dei casi, a diritti di proprietà e non vengono scambiati sui mercati. Le interazioni tra gli agenti economici mediati da questo tipo di prodotti "speciali" si svolgono al di fuori dei mercati, dando origine alle esternalità e a costi sociali. Gli economisti ambientali hanno identificato diversi tipi di valore (il valore d'uso, il valore d'opzione e il valore di esistenza) e

⁵ Secondo il metodo della scarsità ecologica, ogni carico di inquinante o quantità di una risorsa determinata nel ciclo di vita viene moltiplicato con il corrispondente eco-fattore, consentendo una ponderazione comparativa e l'aggregazione di diversi impatti ambientali. L'eco-fattore per un inquinante o una risorsa, espresso in eco-punti, è derivato secondo una formula (Frischknecht et al, 2009). La formula per la determinazione di un eco-fattore comprende: a) una caratterizzazione opzionale, che cattura la nocività relativa di una emissione inquinante o dell'estrazione di una risorsa, b) una normalizzazione, che quantifica il contributo di un'unità inquinante o di risorsa usata sul totale corrente di carico / pressione in una regione per anno; c) una fase di ponderazione, che esprime il rapporto tra l'emissione corrente inquinante o consumo di risorse e l'emissione determinata politicamente o obiettivi di consumo

metodi per la sua stima, come il prezzo edonico, la valutazione contingente, i modelli a scelta discreta, i costi di viaggio, il costo di ripristino ed il costo di protezione. L'aggregazione rispetto agli individui (aggregazione delle preferenze individuali in preferenze collettive), nel tempo (tasso di sconto sociale ed equità intergenerazionale) e la valutazione dei rischi vengono riconosciuti come aspetti problematici di questo approccio.

Un ulteriore approccio per considerare congiuntamente gli indicatori aggregandoli in un indicatore composito consiste nell'applicare un procedimento statistico basato su dati, come descritto, ad esempio, nel manuale pubblicato dall'OECD (2008). Tuttavia, lungi dall'essere neutrali e liberi da giudizi di valore, gli indicatori compositi, come sostiene il Manuale dell'OECD, "sono molto simili a modelli matematici e computazionali. Di conseguenza la loro costruzione si basa più sulla maestria del modellatore, che su regole scientifiche universalmente accettate". Diversamente dalle tecniche di aggregazione descritte in letteratura ambientale ed economica, la metodologia degli indicatori compositi non valuta in termini assoluti il livello di sostenibilità di un sistema di trasporto, espressa in termini di ettari, materiali utilizzati o di benefici netti, ma produce un indice normalizzato sulla base del quale è possibile confrontare, temporalmente o spazialmente, diversi sistemi di trasporto. Gli indicatori compositi hanno dei pro e dei contro. Tra i pro, i due più importanti sono la loro capacità: 1) di riassumere realtà complesse, multidimensionali, al fine di informare i responsabili delle decisioni e 2) di indicare le variazioni nel tempo del fenomeno studiato. Tra i contro il più importante, a nostro avviso, è che essi possono comunicare messaggi fuorvianti se mal costruiti o mal interpretati (OECD 2008, Box 1).

Come sottolineato anche nel manuale OECD 2008, opportune operazioni preliminari alla costruzione di un indicatore composito consistono nell'analisi esplorativa delle unità interessate, tramite metodi di analisi multivariata, quali ad esempio la *cluster analysis* e l'analisi fattoriale. Esse, infatti, consentono una considerazione congiunta degli indicatori ancora prima di procedere alla costruzione di indicatori sintetici. Ad esempio l'analisi fattoriale degli indicatori permette di ridurre il numero trovando una prima sintesi dei fattori più rilevanti e di eliminare le ridondanze informative, la *cluster analysis* consente di individuare gruppi di unità simili.

Quest'analisi preliminare è utile che venga eseguita prima di avventurarsi nella costruzione di un indicatore composito per stabilire l'idoneità del data set e per comprendere le implicazioni delle scelte di tipo metodologico che devono essere effettuate durante il processo di costruzione di un indicatore sintetico, come ad esempio la scelta del sistema di ponderazione e delle regole di aggregazione degli indicatori (Nardo et al., 2005).

Vari lavori affrontano tutti questi aspetti, si veda ad esempio Luzzati e Gucciardi (2015). Questi autori utilizzano la *cluster analysis* per esplorare i dati ed identificare similarità e differenze nelle performances di sostenibilità dei paesi dell'Unione Europea (EU-27). Tale approccio permette loro di comprendere meglio le ragioni delle graduatorie che costruiscono sulla base di indicatori sintetici di sostenibilità ottenuti con diversi pesi e regole di aggregazione.

In questo lavoro il nostro obiettivo non è quello di valutare il livello di mobilità sostenibile di ogni singola città, secondo le linee suggerite nella letteratura di impatto ambientale o di economia del benessere (un compito che richiederebbe una quantità enorme di dati di cui non disponiamo), ma di considerare congiuntamente gli indicatori

scelti allo scopo di individuare gruppi di città simili dal punto di vista della mobilità sostenibile, quale presupposto per la costruzione di indicatori sintetici.

La *cluster analysis*, applicata in questo contesto, consente quindi di passare “dalle n unità della popolazione osservata inizialmente ... a g gruppi omogenei (con $g \ll n$), con il vantaggio d’una notevole parsimonia nella descrizione e d’una interpretazione più semplice” (Zani e Cerioli, 2007).

L’individuazione di gruppi omogenei dei capoluoghi di provincia viene seguita dalla descrizione di ciascuno di tali gruppi, dalla identificazione cioè di profili “tipo” di capoluogo che descrivono le diverse città italiane. La nostra analisi è interessata anche al confronto temporale, per cogliere l’evoluzione della mobilità sostenibile in questi capoluoghi di provincia e nei gruppi individuati. In particolare il confronto temporale è stato condotto tra il 2001 e il 2011.

Il nostro obiettivo, infatti, è: a) raggruppare i capoluoghi di provincia italiani rispetto a indici di mobilità sostenibile; e b) analizzare se e quali cambiamenti vi sono stati negli ultimi dieci anni. Tutto ciò al fine di fornire indicazioni utili per comprendere e guidare le scelte che si devono operare nella costruzione di indicatori sintetici di mobilità sostenibile.

5. Gli indicatori scelti

L’Istituto nazionale di statistica (Istat) raccoglie e pubblica annualmente diversi indicatori relativi al trasporto urbano, con riferimento alle città capoluogo di provincia. Nella nostra analisi abbiamo utilizzato alcuni di essi e abbiamo inoltre costruito altri indicatori con dati raccolti a livello comunale in occasione dei Censimenti della Popolazione. Si tratta di informazioni relative al pendolarismo e in particolare: il mezzo utilizzato e la durata dello spostamento. Questi ultimi indicatori sono disponibili solo per gli anni del Censimento. Per questa ragione il confronto temporale è stato eseguito tra il 2001 e il 2011, gli anni degli ultimi due Censimenti.

Nel 2011 l’Italia era divisa in 116 aree provinciali, ciascuna con un capoluogo di provincia. Vengono quindi individuate un totale di 116 città capoluogo di provincia. Esse rappresentano le maggiori città italiane. Alcune sono agglomerati urbani con più di 500.000 abitanti (Roma, Milano, Napoli, Torino, Palermo e Genova), le altre sono città di dimensioni medio-piccole o piccole (alcuni capoluoghi hanno meno di 20.000 abitanti), come si può vedere nella Tavola (in Appendice).

Gli indicatori individuati sono i seguenti (Tavola in Appendice):

- 1. *ARIA*: il numero di giorni (entro un anno) di superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM_{10} , come proxy della qualità dell’aria a livello locale;
- 2. *INCID*: il numero di incidenti stradali (per 100.000 abitanti), come proxy della sicurezza dei trasporti;
- 3. *BREVI*: la quota di viaggi di durata inferiore a 15 minuti, come un proxy di accessibilità;
- 4. *PRIV*: la quota modale dell’auto privata (come guidatore) e della moto, come proxy di dipendenza dal trasporto motorizzato;
- 5. *PIEDI*: la quota modale a piedi e in bicicletta, come proxy di non-dipendenza da mezzi di trasporto motorizzati;
- 6. *PUBB*: la quota modale del trasporto autobus, tram o metropolitana, come un proxy di utilizzo del trasporto pubblico.

Gli indicatori selezionati possono essere considerati indicatori di processo (indicatore 1 e 2) o indicatori di output (indicatore 3, 4, 5, 6). Gli indicatori da 3 a 6 sono disponibili solo per gli anni di censimento 2001 e 2011 e, tenendo presente che uno dei nostri obiettivi è quello di analizzare come la classifica delle città italiane è cambiata nell'ultimo decennio, è chiaro che la scelta degli indicatori che abbiamo effettuato è stata vincolata soprattutto dalla disponibilità dei dati.

Gli indicatori selezionati presentano dei limiti nella misurazione della mobilità urbana sostenibile e di seguito ne indichiamo alcuni.

L'inquinamento atmosferico locale (*ARIA*) è rappresentato solo da un inquinante locale (PM_{10}), mentre il contributo al cambiamento climatico non è tenuto in considerazione.

La proxy per la sicurezza (*INCID*) è rappresentata solo da incidenti stradali: il numero di incidenti che si verificano in riferimento alle altre modalità di trasporto non è considerato, né è considerata la gravità dell'incidente.

La quota modale per i vari tipi di trasporto (*PRIV*, *PUBB* e *PIEDI*) e il numero di viaggi brevi (*BREVI*) sono ben documentati dai dati di Censimento, ma si riferiscono solo ai viaggi dei pendolari per studio o lavoro. Il numero di viaggi brevi dipende sia dalla congestione del traffico, ma anche dalla configurazione urbana e dalla localizzazione delle attività residenziali, commerciali e industriali. Inoltre, la politica dei trasporti a livello nazionale e locale influenza tutti gli indicatori di cui sopra.

6. L'analisi dei dati

I dati sono stati utilizzati per eseguire una *cluster analysis*, volta ad individuare gruppi omogenei di capoluoghi di provincia relativamente agli indicatori selezionati. Si tratta di un'analisi esplorativa che può dare prime indicazioni di come tali città si caratterizzano sotto l'aspetto della mobilità urbana sostenibile.

Preliminarmente all'applicazione della *cluster analysis* sono stati trattati gli aspetti relativi a dati mancanti e agli *outliers* imputando loro i valori osservati più "vicini". Per esempio, quando mancava l'indicatore relativo all'inquinamento atmosferico in una città, è stato assegnato al dato mancante il valore che l'indicatore assumeva in un'altra città di dimensioni simili e geograficamente vicina. Inoltre, poiché sia nel caso dell'indicatore *ARIA* che dell'indicatore *INCID* non era disponibile l'informazione relativamente al 2001, è stato usato il dato disponibile più vicino nel tempo e cioè il 2004.

Tavola 1: Minimo, massimo, media e coefficiente di variazione degli indicatori.

	Min		Max		Media		CV	
	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011
<i>INCID</i> *	68,230	55,979	1480,325	943,599	619,610	492,135	37,46%	40,90%
<i>ARIA</i> *	0	1	272	158	64,012	49,948	78,06%	80,31%
<i>PUBB</i>	0,033	0,034	0,323	0,373	0,120	0,125	47,16%	44,00%
<i>PRIV</i>	0,284	0,252	0,617	0,628	0,498	0,480	14,03%	13,88%
<i>PIEDI</i>	0,100	0,039	0,507	0,532	0,229	0,232	33,02%	31,47%
<i>BREVI</i>	0,344	0,317	0,863	0,827	0,649	0,609	16,28%	15,95%

*I valori di questo indicatore si riferiscono al 2004.

Le città sono diverse soprattutto per quanto riguarda la qualità dell'aria, che mostra il più alto valore del coefficiente di variazione ($CV=78,06\%$ al 2001 e $CV = 80,31\%$ al 2004), ma anche per la sicurezza stradale e per l'utilizzo del trasporto pubblico (Tavola **1** **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Viceversa, gli indicatori *PRIV* e *BREVI*, utilizzati come proxy della dipendenza dal trasporto motorizzato e dell'accessibilità, non sono così dispersi intorno alla media (al 2011 $CV=13,88\%$ per l'indicatore *PRIV* e $CV=15,95\%$ per l'indicatore *BREVI*). Le matrici di correlazione per i due anni (2001 e 2011) sono riportate nella Tavola e nella

Tavola in Appendice. Sia all'inizio del periodo come alla fine, ci sono due alti valori di correlazione, in particolare la variabile *PIEDI* è altamente correlata con la variabile *PRIV* ($\rho=-0,788$ al 2001 e $\rho=-0,786$ al 2011) e *BREVI* è altamente correlato con *PUBB* ($\rho=-0,812$ al 2001 e $\rho=-0,787$ al 2011). Si tratta in entrambi i casi di correlazioni negative che se nel caso di *PIEDI* e *PRIV* sono da considerarsi scontate, nel senso che laddove si utilizza maggiormente il mezzo motorizzato privato per il trasporto pendolare si va anche di meno a piedi, nel caso di *BREVI* e *PUBB* appaiono invece di non univoca interpretazione. Si può ipotizzare che i mezzi pubblici vengano più utilizzati quando gli spostamenti dei pendolari sono più lunghi in termini di distanza e quindi anche di tempo, ma si può anche ipotizzare che i mezzi pubblici impieghino più tempo per percorrere la medesima distanza e quindi per i viaggi brevi si preferiscano mezzi alternativi (motorizzati o no). Gli altri valori di correlazione sono bassi e anche il segno non è stabile, in particolare in alcuni casi in cui i valori di correlazione sono molto bassi.

7. L'individuazione di gruppi di capoluoghi di provincia con modelli simili di mobilità sostenibile

L'analisi è stata condotta con riferimento al 2001 e poi ripetuta per il 2011, utilizzando i sei indicatori precedentemente scelti. Si tratta di un'analisi esplorativa per cercare di capire le analogie tra le città sotto l'aspetto della mobilità sostenibile descritta dagli indicatori individuati.

Come risulta dalla Tavola e dalla

Tavola (in Appendice), sono presenti alcuni valori di correlazione alta tra gli indicatori utilizzati; per questa ragione abbiamo deciso di applicare l'analisi delle componenti principali (ACP) al fine di eliminare il problema dell'elevata correlazione e di utilizzare le componenti individuate per la successiva *cluster analysis*. In tale modo abbiamo superato anche il problema delle diverse unità di misura degli indicatori che, se utilizzati senza una preventiva ACP, avrebbero dovuto essere trasformati (ad esempio normalizzandoli o standardizzandoli) passando ad indicatori privi di unità di misura. Il criterio utilizzato per la scelta del numero di componenti è il criterio di Kaiser secondo cui vengono scelte le componenti con autovalori maggiori di 1 e sulla base di questo criterio sia nel 2001 che nel 2011 superano l'unità i primi due autovalori (Figura 1, in Appendice). Nel 2001 essi rappresentano il 72,3% della varianza complessiva e nel 2011 il 71,8%. In entrambi gli anni il metodo di estrazione utilizzato è stato quello delle componenti principali e il metodo di rotazione dei fattori è stato il Varimax con normalizzazione di Kaiser.

Relativamente al 2001 le due prime componenti estratte riproducono in misura diversa la variabilità della matrice. Se si esaminano le comunalità (Tavola), infatti, si

può osservare come esse riproducano molto bene la variabilità di *PUBB*, *PRIV* e *BREVI*, un po' meno la variabilità degli altri tre indicatori, le comunalità esprimono, infatti, la quota di varianza di ciascuna variabile che viene spiegata dai due fattori estratti.

La prima componente estratta spiega 36,5% della varianza totale ed è significativamente correlata con la qualità dell'aria (*ARIA*), i mezzi di trasporto pubblico (*PUBB*) e l'accessibilità (*BREVI*), mentre la seconda componente, che spiega il 35,8% della varianza, risulta correlata con la sicurezza nei trasporti (*INCID*), la dipendenza dal trasporto motorizzato privato (*PRIV*) e non motorizzato (*PIEDI*), come illustrato nella Tavola (in Appendice).

Anche per quanto riguarda il 2011, se si esaminano le comunalità (Tavola) si può osservare come le due componenti estratte al 2011 riproducano molto bene la variabilità di *PUBB*, *PRIV* e *BREVI* e *PIEDI* un po' meno la variabilità degli altri due indicatori.

La prima componente estratta al 2011 spiega 39,7% della varianza totale ed è significativamente correlata non solo con la qualità dell'aria (*ARIA*), l'uso dei mezzi di trasporto pubblico (*PUBB*) e l'accessibilità (*BREVI*), come nel 2001, ma anche con l'incidentalità (*INCID*), anche se la correlazione di questa prima componente con l'incidentalità non risulta essere così forte come con gli altri tre indicatori. La seconda componente, che spiega il 35,8% della varianza, risulta correlata con la sicurezza nei trasporti (*INCID*) e con la dipendenza dal trasporto privato motorizzato (*PRIV*) e non motorizzato (*PIEDI*), come illustrato dalla Tavola (in Appendice).

7.1 L'analisi dei clusters al 2001

Abbiamo condotto una *cluster analysis* secondo il metodo gerarchico aggregativo che, a partire dal calcolo di misure di distanza tra le unità, procede all'individuazione di un primo gruppo formato dalle unità tra loro più vicine e poi gerarchicamente, sulla base della misura di distanza utilizzata, alla formazione di altri gruppi, che vengono via via agglomerati fino a formare un unico gruppo costituito da tutte le unità esaminate (Cannavò et al., 2007). Nell'analisi è stata utilizzata la distanza euclidea al quadrato come metrica per misurare la distanza tra coppie di osservazioni e il metodo di Ward per agglomerare i *clusters*. Le osservazioni utilizzate sono i punteggi delle due componenti principali individuate per il 2001. Sulla base del dendrogramma che mostra l'agglomerazione dei *clusters* (Figura 2, in Appendice) abbiamo scelto una partizione delle unità in sei gruppi, con il 75,9% della variabilità totale della matrice dei dati che viene spiegata dalla partizione scelta ($R^2 = 0,759$) (Zani et al., 2007). Nella Tavola riportiamo i raggruppamenti delle città capoluogo in 6, 5, 4, 3 gruppi.

I sei *clusters* individuati al 2001 vengono descritti sulla base delle statistiche riportate nella Tavola 2 e dei diagrammi polari della Figura 3 (in Appendice). Per ciascun *cluster* è stato costruito un diagramma polare in cui vengono confrontati i valori medi che gli indicatori normalizzati assumono nel *cluster* considerato con quelli relativi all'intera popolazione. I sei indicatori sono stati normalizzati in modo che il valore migliore sia pari ad 1 ed il peggiore a 0. Gli indicatori che contribuiscono in modo negativo alla mobilità sostenibile (*INCID*, *ARIA* e *PRIV*) sono normalizzati in modo che il valore massimo di ogni indicatore (la peggiore performance) diventi 0 e il valore minimo (la migliore performance) diventi 1.

La Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 9 in Appendice mostrano l'evoluzione di ogni indicatore dal 2001 al 2011 nei sei raggruppamenti individuati.

Tavola 2: Descrizione dei clusters, 2001.

	Cluster 1-2001 (n=5)		Cluster 2-2001 (n=27)		Cluster 3-2001 (n=24)	
	media	s.d.	media	s.d.	media	s.d.
<i>INCID</i>	934,324	401,060	500,462	188,886	717,894	149,523
<i>ARIA</i>	163,400	85,631	49,741	36,539	102,542	44,001
<i>PUBB</i>	0,257	0,051	0,127	0,030	0,148	0,030
<i>PRIV</i>	0,451	0,094	0,472	0,043	0,508	0,032
<i>PIEDI</i>	0,202	0,091	0,244	0,043	0,216	0,035
<i>BREVI</i>	0,407	0,049	0,637	0,060	0,571	0,058

	Cluster 4-2001 (n=36)		Cluster 5-2001 (n=22)		Cluster 6-2001 (n=2)	
	media	s.d.	media	s.d.	media	s.d.
<i>INCID</i>	740,551	231,952	414,257	204,369	343,852	55,925
<i>ARIA</i>	58,394	39,475	25,282	24,873	73,000	19,799
<i>PUBB</i>	0,090	0,027	0,084	0,032	0,256	0,015
<i>PRIV</i>	0,567	0,026	0,434	0,053	0,292	0,011
<i>PIEDI</i>	0,171	0,035	0,310	0,084	0,377	0,051
<i>BREVI</i>	0,686	0,056	0,762	0,055	0,427	0,013

	valore migliore
	buono
	non buono
	valore peggiore

Di seguito riportiamo la descrizione dei gruppi individuati al 2001:

- Cluster 1-2001: è composto da 5 grandi città (Milano, Torino, Roma, Genova, Firenze), tutte capoluogo di una regione. Esso è caratterizzato oltre che da una elevata incidentalità, da una cattiva condizione dell'aria e da una cattiva accessibilità. I valori medi dei due indicatori *INCID* e *ARIA* assumono, infatti, in questo *cluster* il valore più elevato rispetto agli altri quattro raggruppamenti individuati, mentre l'indicatore *BREVI* presenta il valore medio più basso. Questo *cluster* è, invece, il migliore per quanto riguarda l'uso del trasporto pubblico. Il trasporto privato, sia motorizzato che non motorizzato, presenta dei valori al di sotto della media generale. Nel 2011 tutti gli indicatori migliorano, tranne quelli relativi al trasporto privato (*PRIV*), mentre peggiora l'accessibilità (*BREVI*) come si può vedere nelle Figura 7 e Figura 9 e nelle Tavola 4 e Tavola 6 in Appendice.

- Cluster 2-2001: in esso ci sono 27 comuni, dislocati in tutta Italia, che presentano un'incidentalità più bassa rispetto alla media di tutti i capoluoghi ed una migliore condizione dell'aria, mentre gli altri indicatori relativi alle modalità di trasporto riproducono in gran parte la situazione media generale, anche se si va un po' meno in auto e un po' più a piedi. Durante i seguenti dieci anni solo tre indicatori migliorano leggermente (numero di incidenti stradali, la qualità dell'aria e la dipendenza dal trasporto motorizzato privato).

- Cluster 3-2001: include 24 città, situate principalmente nel Nord Italia, con una popolazione media pari a 142.721 abitanti per ciascuna città, la più elevata tra i sei *clusters* individuati, se si esclude il Cluster 1-2001 formato solo da grandi città (Tavola in Appendice). In questo *cluster* tutti gli indicatori presentano valori peggiori rispetto alla media nazionale, tranne l'utilizzo del trasporto pubblico (0,148 vs. 0,120). Nel decennio successivo, le prestazioni migliorano per tutte le variabili, eccetto l'accessibilità.

- Cluster 4-2001: è composto da 36 città di dimensioni minori rispetto alle città dei precedenti tre *clusters* (la popolazione residente al 2001 va da un minimo di 30.327 abitanti a Verbania ad un massimo di 185.153 a Prato). Rispetto a tutti gli altri *clusters* si caratterizza per la più alta dipendenza dal trasporto motorizzato privato e per la quota più bassa di trasporto non motorizzato. Tutto ciò si accompagna ad un uso più basso dei trasporti pubblici rispetto alla media e ad una maggiore incidentalità. L'accessibilità e la qualità dell'aria sono buone. Nel 2011 le prestazioni migliorano per tutte le variabili, eccetto che per l'accessibilità, che pur rimanendo al di sopra della media nazionale del 2011, diminuisce leggermente, seguendo in questo l'andamento medio generale.

- Cluster 5-2001: è costituito da 22 comuni localizzati soprattutto nel Sud dell'Italia (ma anche nelle montagne del Nord, come Sondrio, Bolzano, Aosta). Si tratta di città piccole o medio piccole (da 5.488 residenti a Lanusei a 147.000 a Foggia e con una dimensione media pari a 49.575 residenti). Le prestazioni degli indicatori sono molto buone in questo *cluster* (i migliori valori per quanto riguarda la bontà dell'aria e l'accessibilità e buoni per tutti gli altri indicatori), tranne che per quanto riguarda l'uso del trasporto pubblico, che presenta il valore più basso di tutti i sei *clusters*. Nel 2011 le performance di tutti gli indicatori peggiorano, eccetto che per il numero di incidenti stradali e la qualità dell'aria, che, invece, migliorano.

- Cluster 6-2001: è costituito da 2 capoluoghi di regione (Napoli e Venezia) che presentano caratteristiche particolari e molto diverse rispetto alle altre grandi città. Gli indicatori relativi a incidentalità e utilizzo del trasporto privato motorizzato e non motorizzato presentano in questo *cluster* valori migliori rispetto agli altri *clusters*. Solo la qualità dell'aria e l'accessibilità sono meno buone di quanto non lo siano a livello medio nazionale e peggiorano ulteriormente nel 2011

7.2 L'analisi dei clusters al 2011

Al fine di identificare gruppi di capoluoghi simili sotto il profilo della mobilità sostenibile al 2011 è stato utilizzato lo stesso metodo impiegato per i dati relativi al 2001. Dopo l'estrazione delle componenti principali, la *cluster analysis* è stata condotta utilizzando i punteggi delle prime due componenti, che, come già riportato, spiegano il 71,89% della varianza totale. Anche per il 2011 si è utilizzato il metodo agglomerativo, utilizzando la distanza euclidea al quadrato e il metodo di Ward.

Anche in questo caso, come nel 2001, sulla base del dendrogramma e del valore dell' R^2 vengono individuati sei *clusters* ($R^2 = 0,784$). La Tavola 3 mostra i valori medi di ciascun indicatore per *cluster* e la Tavola 7 (in Appendice) riporta la composizione dei sei gruppi. La Figura 10 mostra il comportamento di ciascun indicatore (normalizzato) nei sei *clusters* e lo confronta con i valori medi degli indicatori di tutte le città.

Nel 2011 si nota il persistere di un *cluster* (il Cluster 6-2011) costituito da due sole città, Napoli e Venezia che anche nel 2001 erano riunite in un unico *cluster* (Cluster 6-

2001). Rimane per questo gruppo la criticità relativa alla qualità dell'aria e all'accessibilità, mentre anche nel 2011 tutti gli indicatori presentano valori buoni o molto buoni.

Anche nel 2011 si individuano due *clusters* con le peggiori prestazioni degli indicatori. Si tratta del Cluster 1-2011 e del Cluster 4-2011. Quest'ultimo comprende gran parte delle città che costituivano il Cluster 4-2001. Il Cluster 1-2011, invece, presenta le medesime criticità del Cluster 1-2001, che però nel 2001 risultava costituito da 5 grandi città, mentre nel 2011 comprende oltre a queste altri 12 capoluoghi di medio grandi dimensioni, prevalentemente del Nord.

I due *clusters* migliori sono il Cluster 2-2011 e il Cluster 5-2011. Per entrambi la criticità riguarda l'indicatore *PUBB*. I capoluoghi che vengono raggruppati nel Cluster 2-2011 sono in maggioranza città che nel 2001 appartenevano al Cluster 2-2001 e lo stesso dicasi per le quattro città che compongono il Cluster 5-2011.

Tavola 3: Descrizione dei clusters, 2011.

	Cluster 1-2011 (n=17)		Cluster 2-2011 (n=26)		Cluster 3-2011 (n=28)	
	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.
<i>INCID</i>	657,112	148,124	303,280	117,172	489,376	140,207
<i>ARIA</i>	96,118	34,456	19,731	18,566	60,786	35,188
<i>PUBB</i>	0,202	0,071	0,088	0,031	0,136	0,042
<i>PRIV</i>	0,449	0,052	0,470	0,038	0,458	0,031
<i>PIEDI</i>	0,234	0,033	0,249	0,047	0,256	0,048
<i>BREVI</i>	0,470	0,079	0,701	0,065	0,573	0,059

	Cluster 4-2011 (n=39)		Cluster 5-2011 (n=4)		Cluster 6-2011 (n=2)	
	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.
<i>INCID</i>	577,931	135,776	313,681	160,679	267,451	25,666
<i>ARIA</i>	43,051	33,200	24,000	13,736	85,000	32,527
<i>PUBB</i>	0,104	0,033	0,102	0,048	0,266	0,018
<i>PRIV</i>	0,544	0,029	0,320	0,029	0,268	0,023
<i>PIEDI</i>	0,169	0,043	0,472	0,058	0,386	0,065
<i>BREVI</i>	0,634	0,053	0,707	0,045	0,418	0,010

	valore migliore
	buono
	non buono
	valore peggiore

8. Conclusioni

Nell'articolo abbiamo discusso il significato della mobilità urbana sostenibile e le decisioni complesse che devono essere prese in considerazione al fine di definire il concetto e di utilizzarlo per costruire un indice sintetico di mobilità sostenibile. Diversamente dalle tecniche di aggregazione descritte nella letteratura ambientale ed economica, gli indicatori sintetici non valutano in termini assoluti la sostenibilità di un

sistema di trasporto, ma producono un valore ordinale normalizzato sulla base del quale è possibile confrontare, temporalmente o spazialmente, diversi sistemi di trasporto.

Uno dei passaggi preliminari alla costruzione e all'utilizzo di un indicatore sintetico è l'analisi del comportamento degli indicatori elementari utilizzati per la sua costruzione, che viene tipicamente effettuata attraverso la *cluster analysis*, che consente di individuare gruppi di osservazioni simili rispetto ai diversi indicatori elementari utilizzati, e l'analisi fattoriale, che permette di trovare una prima sintesi dei fattori più rilevanti.

In particolare applicando la *cluster analysis* ai dati 2001 e 2011 relativi al livello di inquinamento atmosferico, al numero di incidenti, alla percentuale di viaggi brevi, ed alla quota modale dell'auto privata, del trasporto pubblico e degli spostamenti a piedi o in bicicletta, è stato possibile assegnare i 116 capoluoghi di provincia italiani a sei raggruppamenti o *clusters*.

Dall'analisi dei *clusters* ottenuti con dati 2001 risulta evidente come all'aumentare della dimensione delle città diminuisca la sostenibilità della mobilità urbana e come questa sia maggiore nel Sud e nelle città di montagna del Nord rispetto al resto d'Italia.

La stessa analisi condotta utilizzando i dati 2011 non permette di arrivare a conclusioni altrettanto nette per quanto attiene alla caratterizzazione dei *clusters* individuati, per quanto sembra persistere una performance peggiore delle città medio-grandi rispetto a quelle più piccole.

Confrontando i valori medi dei 6 indicatori usati per ciascun *cluster* e la composizione delle città incluse in ciascun *cluster* nel 2001 e nel 2011 è possibile concludere che le città di medio piccole dimensioni hanno migliorato la loro performance in modo più marcato rispetto alle grandi città, pur permanendo un'insoddisfacente quota modale del trasporto pubblico.

Sulla base di questi primi risultati è possibile concludere che gli interventi di politica dei trasporti finalizzati al miglioramento della sostenibilità della mobilità urbana dovrebbero essere differenziati per dimensione e localizzazione geografica delle aree di intervento. Nel caso delle realtà urbane medio-piccole, in particolare di quelle meridionali, che pure vantano un buon livello di sostenibilità della mobilità urbana, si tratterebbe di incrementare gli investimenti nei servizi di trasporto collettivo, che risultano ancora inferiori alla media nazionale; mentre nelle realtà urbane più grandi, in particolare, ma non solo, quelle del Nord Italia, sarebbe necessario agire con misure mirate soprattutto a ridurre i fenomeni di inquinamento atmosferico ed ad aumentare i livelli di sicurezza del sistema dei trasporti.

Questi primi sommari risultati, ottenuti sulla base di solo sei indicatori elementari, costituiscono la premessa per la costruzione di un indicatore sintetico che possa migliorare ulteriormente il confronto della performance della mobilità sostenibile fra le città capoluogo di provincia e della performance delle città nel tempo. A tal fine si potrebbe ulteriormente incrementare il numero degli indicatori elementari da utilizzare che, se al 2001 risultavano soddisfacenti, al 2011 appaiono in parte datati o non sufficienti a descrivere compiutamente il fenomeno oggetto di studio.

Riferimenti bibliografici

Alonso, A., Monzon, A., Cascajo, R. (2015) "Comparative analysis of passenger

- transport sustainability in European cities”, *Journal of Public Transportation* vol.19, n. 2, pp. 578-592.
- Bourdon, R., Lazarfeld, R. (1965) *Le vocabulaire des sciences sociales* (Lexicon of social sciences), Mouton, Paris.
- Brundtland, G. H. (1988) *Il futuro di noi tutti. Rapporto della Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo*, Ed. Bompiani, Milano.
- Dunteman, G. H. (1989) *Principal components analysis*, vol. 69. Sage.
- ECMT (2001) “Strategy For Integrating Environment And Sustainable Development Into The Transport Policy”, adopted by the Ministers responsible for Transport and Communications at the 2340th meeting of the European Union’ Council of Ministers, Luxembourg, April 4-5, 2001.
- Frischknecht, R., Steiner, R., Jungbluth, N. (2009) “The Ecological Scarcity Method – Eco- Factors 2006. A method for impact assessment in LCA”, *Environmental studies no. 0906*, Federal Office for the Environment, Bern, 188.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R. (2009) *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*, Report I: Characterisation, Ruimte ec Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Hall, R.P. (2006). Understanding and Applying the Concept of Sustainable Development to Transportation Planning and Decision-Making in the U.S., *PhD thesis*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- Joumard, R. (2008). Definitions of indicator within the COST action 356 EST. Seminar COST 356 EST" Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport", 20 February 2008. In *12 Joumard R. & Nicolas JP*.
- Joumard, R., Gudmundsson, H. (2010) *Indicators of environmental sustainability in transport. An interdisciplinary approach to methods*, INRETS report, Recherches R282, Bron, France.
- KonSULT (2007) *Knowledgebase on Sustainable Urban Land use and Transport.- Glossary*, <http://www.konsult.leeds.ac.uk/>
- Luzzati, T., Gucciardi, G. (2015) “A non-simplistic approach to composite indicators and rankings: an illustration by comparing the sustainability of the EU Countries”, *Ecological Economics*, 113, pp. 25-38.
- Mitchell, G., May, A., McDonald, A. (1995) “PICABUE: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development”, *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2(2), pp. 104-123.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S. (2005) *Tools for composite indicators building*, European Commission, EUR 21682 EN. Joint Research Centre, Ispra, Italy
- OECD (2008), *Handbook on Constructing Composite Indicators, Methodology and User Guide*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Ramjerdi, F., Patrick, W., Rousval, B., Adolphe, L., Mancebo, S. (2008). Integrating indicators measuring the environmental sustainability of transportation projects, plans and policies into decision making. *Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport*, 65.
- Rees, W., Wackernagel, M. (1994) “Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy”, In: Janson, A.M., Hammer, M., Folke, C., Costanza, R. (Eds) *Investing in natural*

- capital: The ecological economics approach to sustainability*, Island Press, Washington DC, USA, pp. 362-390.
- Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S. (2005) “Uncertainty and Sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators”, *Journal of the Royal Statistical Society A*, 168,(2), pp. 307-323.
- Saisana, M. (2008) Developing Composite Indicators for Policy-Making: A Brief Methodological Framework and Considerations. *Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport*, 51.
- Schmidt-Bleek, F. (1994) *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – das Mass für ökologisches Wirtschaften (How much environment does mankind need? MIPS – the measure for an ecological economy)*. Birkhauser, Berlin, Boston, Basel.
- Sharpe, A. (2004) *Literature review of frameworks for macro-indicators*, Centre for the Study of Living Standards, Ottawa, No. 2004-03.
- Zani, S., Cerioli, A. (2007) *Analisi dei dati e data mining per le decisioni aziendali*, Giuffrè Editore, Milano.
- Zietsman, J., Rilett, L.R. (2002) “Sustainable Transportation: Conceptualization and Performance Measures”, *Research Report SWUTC/02/167403-1*, Texas Transportation Institute, Univ. of Texas, Austin, USA, 163 pp. 105-124.

Appendice

Tavola 4: Capoluoghi di provincia italiani per numero di residenti (2011)

Roma	2.611.397	Ferrara	132.588	Treviso	80.822	Rovigo	50.040
Milano	1.235.543	Sassari	123.677	Varese	79.654	Campobasso	48.798
Napoli	961.884	Monza	119.950	Grosseto	78.475	Frosinone	46.803
Torino	871.816	Siracusa	118.888	Caserta	75.578	Lecco	46.628
Palermo	658.078	Latina	117.746	Asti	73.874	Mantova	46.593
Genova	586.162	Pescara	117.239	Cremona	69.839	Vercelli	46.179
Bologna	370.402	Forlì	116.242	Ragusa	69.832	Rieti	46.098
Firenze	356.869	Bergamo	115.294	Cosenza	69.502	Biella	43.855
Bari	315.946	Trento	113.900	Trapani	69.177	Lodi	43.285
Catania	294.461	Vicenza	111.755	Massa	68.847	Imperia	42.230
Venezia	261.555	Terni	109.295	Pavia	68.449	Macerata	42.013
Verona	252.720	Bolzano	102.214	L'Aquila	67.196	Fermo	36.899
Messina	243.380	Novara	101.922	Potenza	66.771	Nuoro	36.682
Padova	206.284	Ancona	100.696	Viterbo	62.947	Belluno	35.595
Trieste	202.346	Piacenza	100.109	Caltanissetta	61.697	Gorizia	35.186
Taranto	200.255	Andria	99.976	Benevento	61.573	Aosta	34.144
Brescia	189.331	Udine	98.246	Savona	60.764	Vibo Valentia	33.422
Prato	185.153	Arezzo	97.965	Matera	59.750	Oristano	31.166
Reggio di Calabria	180.949	Pesaro	94.440	Crotone	58.913	Verbania	30.327
Modena	178.962	Barletta	94.122	Agrigento	58.216	Carbonia	28.885
Parma	175.536	La Spezia	92.604	Trani	55.745	Enna	27.907
Reggio nell'Emilia	162.093	Alessandria	89.613	Cuneo	54.857	Iglesias	27.688
Perugia	161.910	Catanzaro	89.523	Avellino	54.309	Isernia	21.957
Livorno	156.891	Lecce	89.492	Teramo	54.200	Sondrio	21.684
Ravenna	153.096	Pistoia	89.154	Olbia	53.079	Villacidro	14.291
Cagliari	149.937	Brindisi	88.698	Siena	52.843	Tempio Pausania	13.951
Foggia	147.481	Lucca	86.818	Chieti	51.513	Tortoli	10.716
Rimini	139.360	Pisa	85.901	Pordenone	50.499	Sanluri	8.460
Salerno	132.794	Como	81.794	Ascoli Piceno	50.081	Lanusei	5.488

Fonte: <http://dati.istat.it> Dati censuari

Tavola 5: Indicatori utilizzati nell'analisi.

<i>Aspetto</i>	<i>Descrizione Indicatore</i>	<i>Nome indicatore</i>	<i>Disponibilità</i>
Qualità dell'aria locale	Numero massimo di giorni di superamento del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM ₁₀	<i>ARIA</i>	annuale
Sicurezza dei trasporti	Numero di incidenti stradali per 100.000 abitanti	<i>INCID</i>	Annuale
Accessibilità	Percentuale di pendolari che impiegano meno di 15 minuti per raggiungere il posto di studio e/o lavoro	<i>BREVI</i>	Decennale
Dipendenza dal mezzo motorizzato	Percentuale di pendolari che utilizzano l'auto privata come guidatore o a moto	<i>PRIV</i>	Decennale
Dipendenza da mezzi non motorizzati	Percentuale di pendolari che utilizzano la bici o vanno a piedi	<i>PIEDI</i>	Decennale
Utilizzo del trasporto pubblico	Percentuale di pendolari che utilizzano l'autobus, tram o metropolitana	<i>PUBB</i>	Decennale

Tavola 6: Matrice delle correlazioni, 2001

	<i>INCID*</i>	<i>ARIA*</i>	<i>PUBB</i>	<i>PRIV</i>	<i>PIEDI</i>	<i>BREVI</i>
<i>INCID*</i>	1.000	0.398	0.071	0.409	-0.281	-0.220
<i>ARIA*</i>		1.000	0.273	0.158	-0.110	-0.449
<i>PUBB</i>			1.000	-0.397	-0.011	-0.812
<i>PRIV</i>				1.000	-0.788	0.167
<i>PIEDI</i>					1.000	0.117
<i>BREVI</i>						1.000

*I valori di questo indicatore si riferiscono al 2004

Tavola 7: Matrice delle correlazioni, 2011

	<i>INCID*</i>	<i>ARIA*</i>	<i>PUBB</i>	<i>PRIV</i>	<i>PIEDI</i>	<i>BREVI</i>
<i>INCID*</i>	1.000	0.317	0.212	0.197	-0.130	-0.336
<i>ARIA*</i>		1.000	0.379	-0.188	0.083	-0.491
<i>PUBB</i>			1.000	-0.520	0.081	-0.787
<i>PRIV</i>				1.000	-0.786	0.303
<i>PIEDI</i>					1.000	0.028
<i>BREVI</i>						1.000

*I valori di questo indicatore si riferiscono al 2004

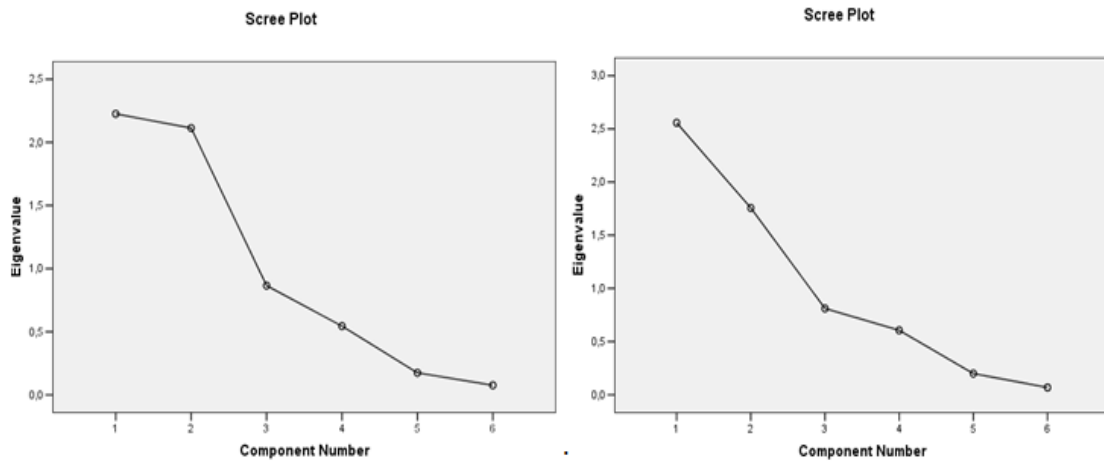


Figura 1: Scree Plot per l'analisi delle componenti principali, 2001 e 2011.

Tavola 8: Comunalità, 2001

	Initial	Extraction
<i>INCID</i>	1	0,513
<i>ARIA</i>	1	0,508
<i>PUBB</i>	1	0,828
<i>PRIV</i>	1	0,932
<i>PIEDI</i>	1	0,693
<i>BREVI</i>	1	0,865

Tavola 9: Matrice delle componenti ruotate 2001 (Varimax)

	Componenti	
	1	2
<i>INCID</i>	0,318	0,641
<i>ARIA</i>	0,611	0,366
<i>PUBB</i>	0,887	-0,206
<i>PRIV</i>	-0,259	0,930
<i>PIEDI</i>	-0,024	-0,832
<i>BREVI</i>	-0,930	-0,029

Tavola 10: Comunalità, 2011

	Initial	Extraction
<i>INCID</i>	1	0,496
<i>ARIA</i>	1	0,494
<i>PUBB</i>	1	0,765
<i>PRIV</i>	1	0,953
<i>PIEDI</i>	1	0,789
<i>BREVI</i>	1	0,815

Tavola 11: Matrice delle componenti ruotate 2011 (Varimax)

	Componenti	
	1	2
<i>INCID</i>	0,568	0,417
<i>ARIA</i>	0,702	-0,037
<i>PUB</i>	0,824	-0,292
<i>PRIV</i>	-0,280	0,935
<i>PIEDI</i>	-0,033	-0,888
<i>BREVI</i>	-0,900	0,075

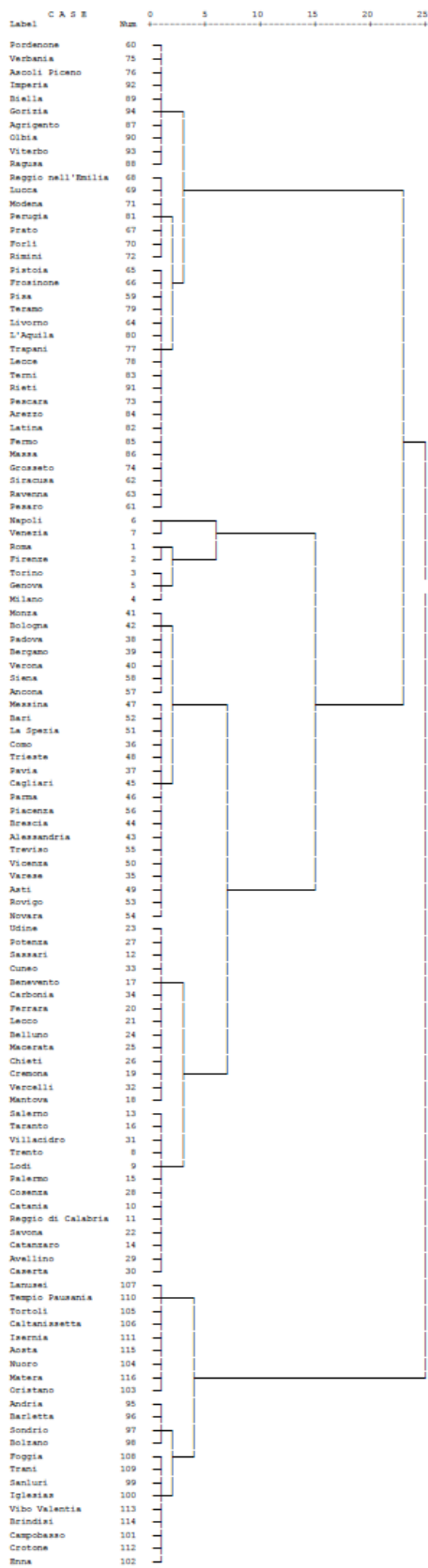


Figura 2: Dendrogramma, 2001

Tavola 12: Struttura dei clusters, 2001

	6 clusters	5 clusters	4 clusters
Firenze, Genova, Milano, Roma, Torino	1	1	1
Avellino, Belluno, Benevento, Carbonia, Caserta, Catania, Catanzaro, Chieti, Cosenza, Cremona, Cuneo, Ferrara, Lecco, Lodi, Macerata, Mantova, Palermo, Potenza, Reggio di Calabria, Salerno, Sassari, Savona, Taranto, Trento, Udine, Vercelli, Villacidro	2	2	2
Alessandria, Ancona, Asti, Bari, Bergamo, Bologna, Brescia, Cagliari, Como, La Spezia, Messina, Monza, Novara, Padova, Parma, Pavia, Piacenza, Rovigo, Siena, Treviso, Trieste, Varese, Verona, Vicenza	3	3	2
Agrigento, Arezzo, Ascoli Piceno, Biella, Fermo, Forlì, Frosinone, Gorizia, Grosseto, Imperia, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Lucca, Massa, Modena, Olbia, Perugia, Pesaro, Pescara, Pisa, Pistoia, Pordenone, Prato, Ragusa, Ravenna, Reggio nell'Emilia, Rieti, Rimini, Siracusa, Teramo, Terni, Trapani, Verbania, Viterbo	4	4	3
Andria, Aosta, Barletta, Bolzano, Brindisi, Caltanissetta, Campobasso, Crotona, Enna, Foggia, Iglesias, Isernia, Lanusei, Matera, Nuoro, Oristano, Sanluri, Sondrio, Tempio Pausania, Tortolì, Trani, Vibo Valentia	5	5	4
Napoli, Venezia	6	1	1

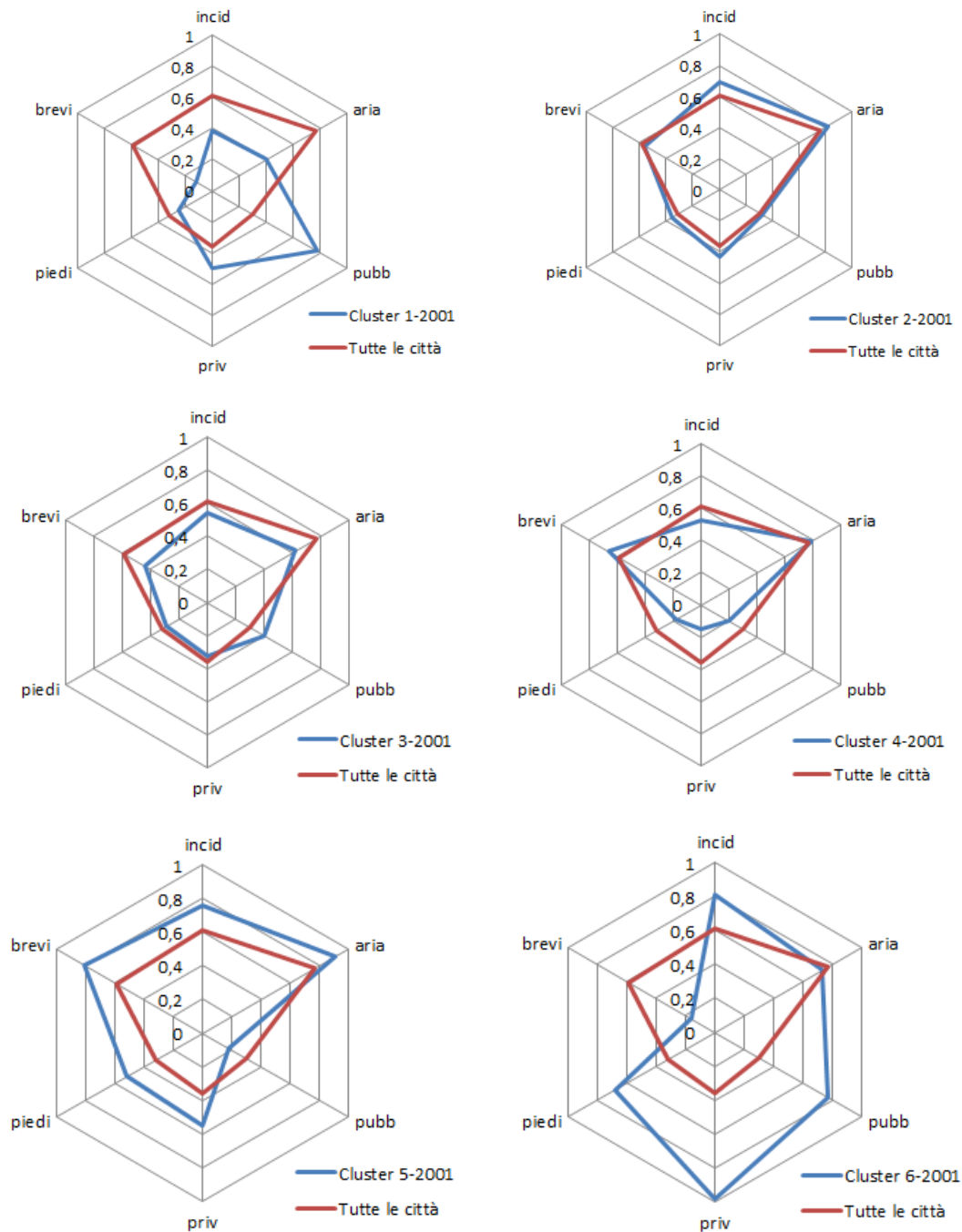


Figura 3: Confronto tra valori medi per cluster e valori medi generali di ciascun indicatore, 2001

Tavola 1: Indicatore INCID, minimo massimo e media nel 2001, 2011 e loro variazioni percentuali per ciascun cluster 2001

	Minimo			Massimo			Media		
	2001	2011	var.%	2001	2011	var.%	2001	2011	var.%
<i>Cluster 1</i>	522,77	410,06	-21,56	1336,53	939,18	-29,73	934,32	731,10	-21,75
<i>Cluster 2</i>	68,23	55,98	-17,96	998,99	732,34	-26,69	500,46	405,72	-18,93
<i>Cluster 3</i>	469,58	360,34	-23,26	1095,46	932,40	-14,88	717,89	575,62	-19,82
<i>Cluster 4</i>	376,09	343,89	-8,56	1480,33	943,60	-36,26	740,55	591,49	-20,13
<i>Cluster 5</i>	100,85	82,74	-17,96	971,22	537,11	-44,70	414,26	310,64	-25,01
<i>Cluster 6</i>	304,31	249,30	-18,08	383,40	285,60	-25,51	343,85	267,45	-22,22

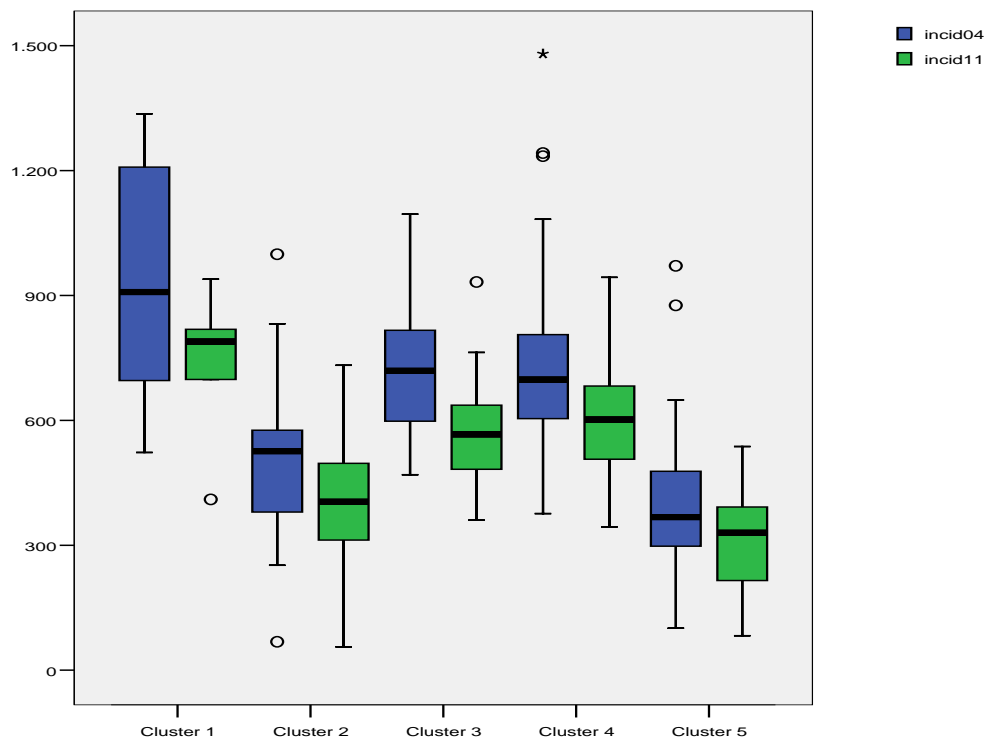


Figura 4: Indicatore INCID, confronto boxplot 2001-2011 per ciascun cluster individuato nel 2001.

Nota: escluso il Cluster 6 (n=2).

Tavola 2: Indicatore ARIA, minimo massimo e media nel 2001, 2011 e loro variazioni percentuali per ciascun cluster 2001

	Minimo			Massimo			Media		
	2001	2011	var. %	2001	2011	var %	2001	2011	var. %
Cluster 1	32,00	13,00	-59,38	272,00	158,00	-41,91	163,40	86,20	-47,25
Cluster 2	2,40	2,00	-16,67	136,00	109,00	-19,85	49,74	45,59	-8,34
Cluster 3	14,00	4,00	-71,43	165,00	129,00	-21,82	102,54	82,96	-19,10
Cluster 4	3,60	2,00	-44,44	153,00	139,00	-9,15	58,39	44,61	-23,60
Cluster 5	0,00	1,00		75,00	55,00	-26,67	25,28	16,59	-34,38
Cluster 6	59,00	62,00	5,08	87,00	108,00	24,14	73,00	85,00	16,44

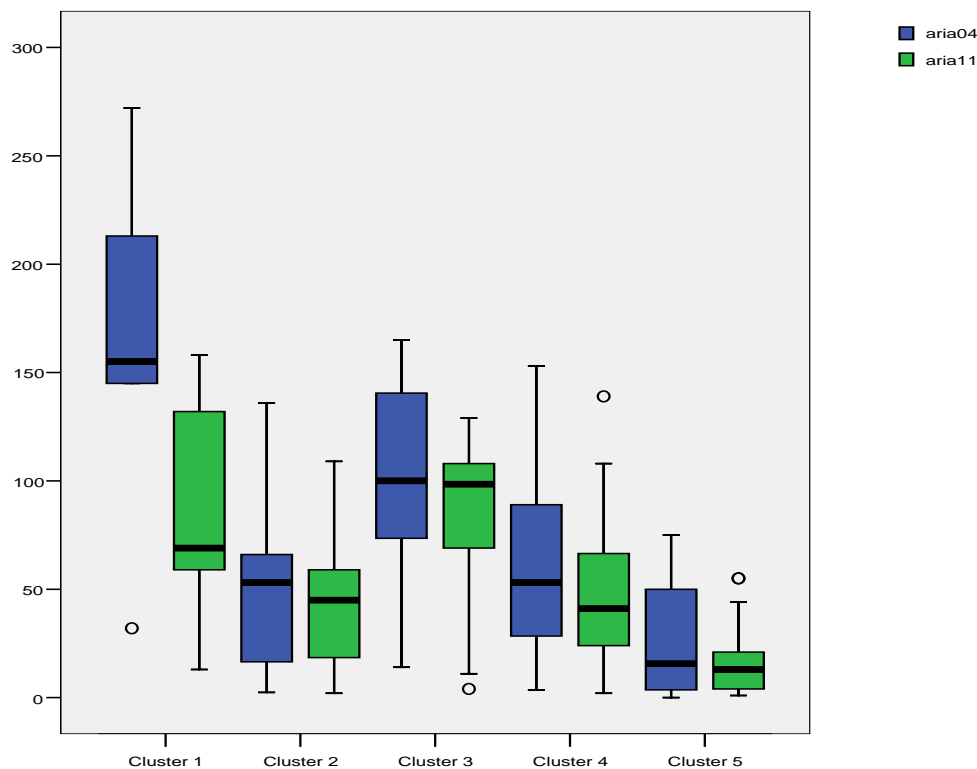


Figura 5: Indicatore ARIA, confronto boxplot 2001-2011 per ciascun cluster individuato nel 2001.

Nota: escluso il Cluster 6 (n=2).

Tavola 3: Indicatore PUBB, minimo massimo e media nel 2001, 2011 e loro variazioni percentuali per ciascun cluster 2001

	Minimo			Massimo			Media		
	2001	2011	var.%	2001	2011	var%	2001	2011	var.%
<i>Cluster 1</i>	0,16	0,18	10,64	0,32	0,37	15,54	0,26	0,29	11,53
<i>Cluster 2</i>	0,07	0,08	8,68	0,19	0,22	14,75	0,13	0,12	-1,95
<i>Cluster 3</i>	0,10	0,11	6,56	0,22	0,26	14,42	0,15	0,16	8,87
<i>Cluster 4</i>	0,03	0,03	3,32	0,14	0,15	6,06	0,09	0,10	7,49
<i>Cluster 5</i>	0,03	0,03	3,38	0,14	0,16	15,36	0,08	0,08	-0,62
<i>Cluster 6</i>	0,25	0,25	3,08	0,27	0,28	4,44	0,26	0,27	3,79

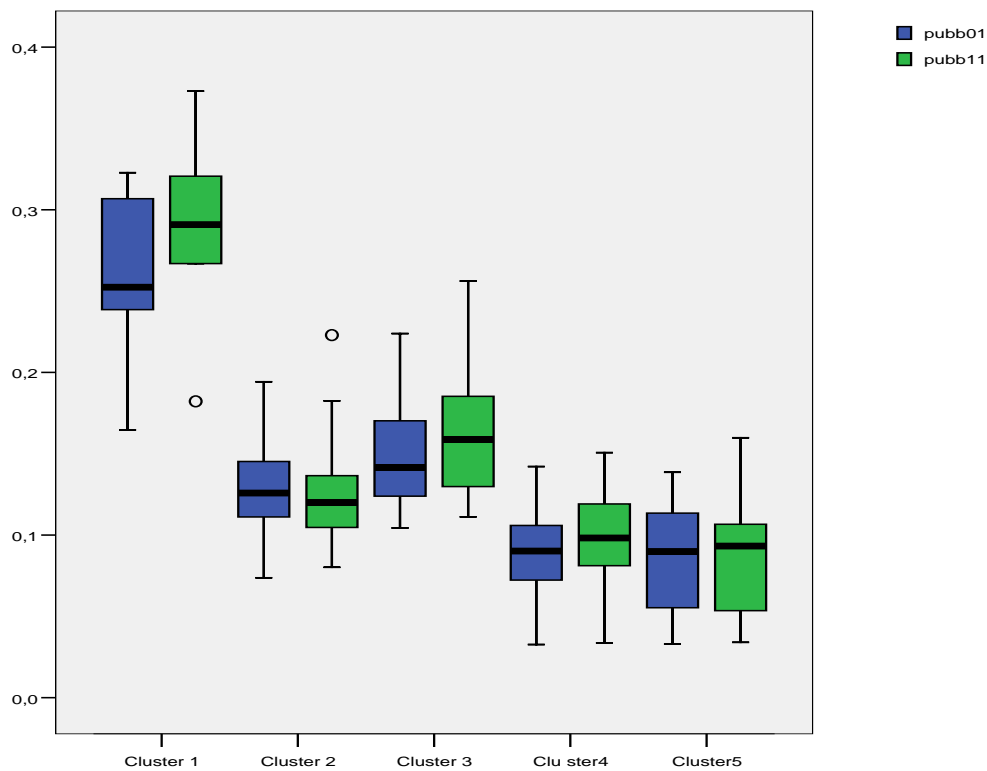


Figura 6: Indicatore PUBB, confronto boxplot 2001-2011 per ciascun cluster individuato nel 2001.

Nota: escluso il Cluster 6 (n=2).

Tavola 4: Indicatore PRIV, minimo massimo e media nel 2001, 2011 e loro variazioni percentuali per ciascun cluster 2001

	Minimo			Massimo			Media		
	2001	2011	var.%	2001	2011	var%	2001	2011	var.%
<i>Cluster 1</i>	0,37	0,30	-19,92	0,54	0,47	-13,93	0,45	0,40	-11,83
<i>Cluster 2</i>	0,39	0,38	-2,55	0,54	0,54	-0,03	0,47	0,47	-0,99
<i>Cluster 3</i>	0,44	0,43	-3,33	0,56	0,52	-6,35	0,51	0,47	-7,49
<i>Cluster 4</i>	0,49	0,48	-3,85	0,62	0,63	1,82	0,57	0,54	-4,30
<i>Cluster 5</i>	0,34	0,28	-17,53	0,51	0,51	0,98	0,43	0,44	2,22
<i>Cluster 6</i>	0,28	0,25	-11,38	0,30	0,28	-5,04	0,29	0,27	-8,13

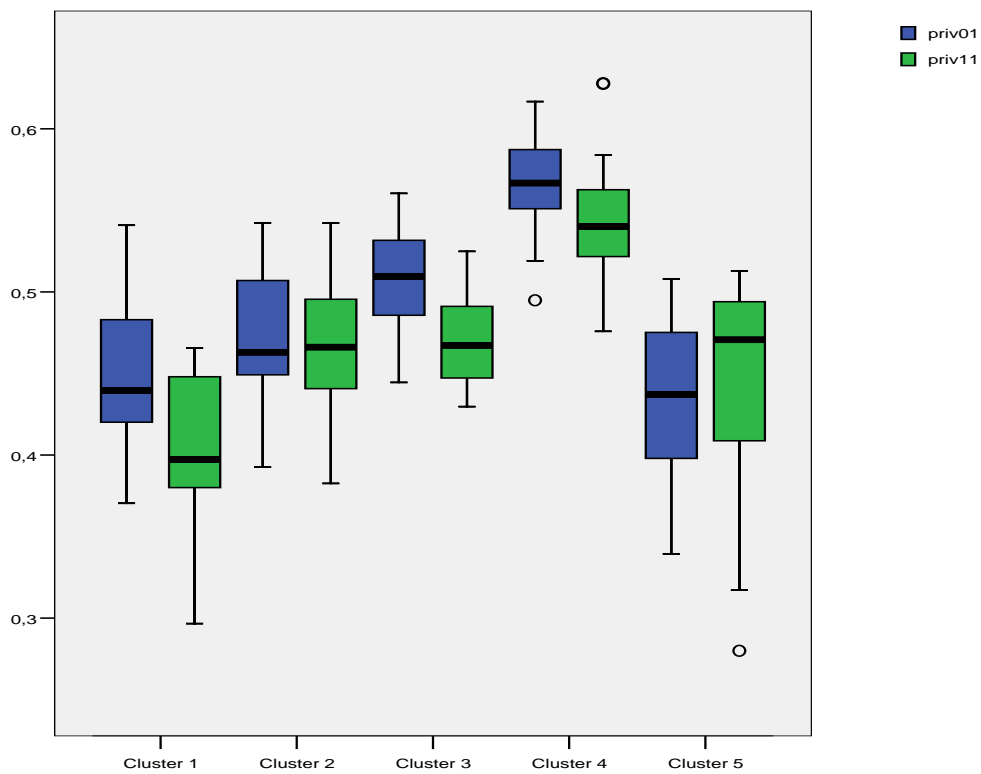


Figura 7: Indicatore PRIV, confronto boxplot 2001-2011 per ciascun cluster individuato nel 2001.

Nota: escluso il Cluster 6 (n=2).

Tavola 5: Indicatore PIEDI, minimo massimo e media nel 2001, 2011 e loro variazioni percentuali per ciascun cluster 2001

	Minimo			Massimo			Media		
	2001	2011	var. %	2001	2011	var %	2001	2011	var. %
<i>Cluster 1</i>	0,15	0,15	-0,73	0,23	0,27	15,49	0,20	0,22	11,41
<i>Cluster 2</i>	0,17	0,13	-21,65	0,32	0,36	10,71	0,24	0,24	-0,37
<i>Cluster 3</i>	0,14	0,14	2,41	0,29	0,30	4,92	0,22	0,24	9,19
<i>Cluster 4</i>	0,10	0,04	-61,38	0,26	0,29	9,84	0,17	0,18	3,49
<i>Cluster 5</i>	0,18	0,17	-5,51	0,51	0,53	5,02	0,31	0,29	-6,88
<i>Cluster 6</i>	0,34	0,34	-0,34	0,41	0,43	4,56	0,38	0,39	2,34

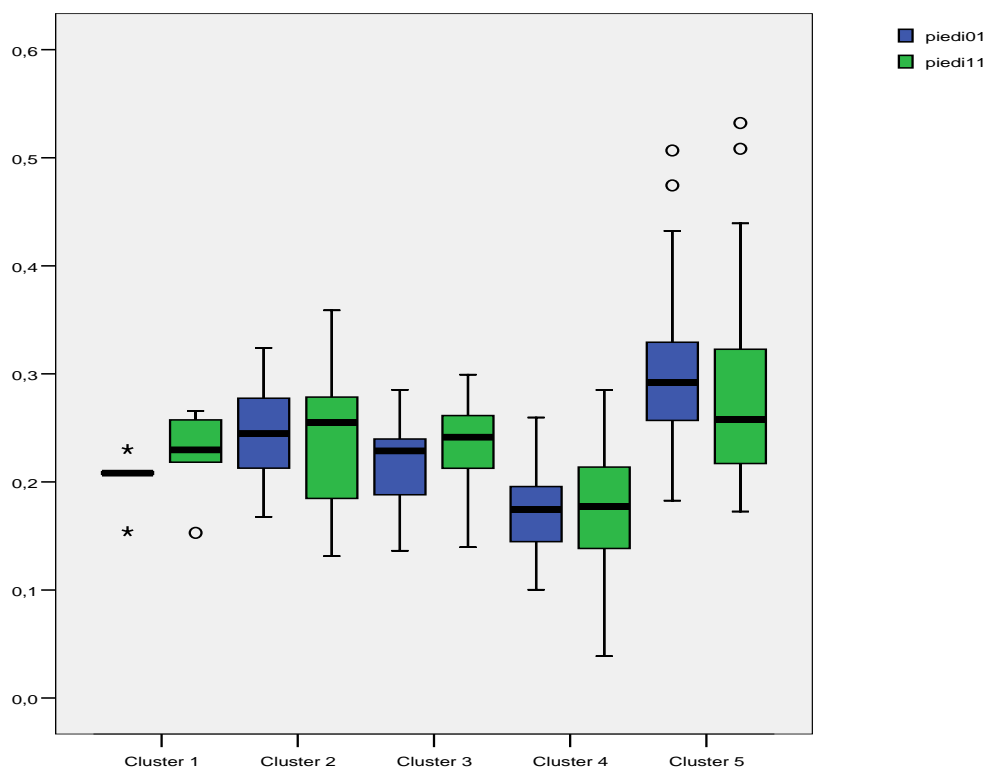


Figura 8: Indicatore PIEDI, confronto boxplot 2001-2011 per ciascun cluster individuato nel 2001.

Nota: escluso il Cluster 6 (n=2).

Tavola 6: Indicatore BREVI, minimo massimo e media nel 2001, 2011 e loro variazioni percentuali per ciascun cluster 2001

	Minimo			Massimo			Media		
	2001	2011	var. %	2001	2011	var. %	2001	2011	var. %
<i>Cluster 1</i>	0,34	0,32	-7,97	0,50	0,47	-6,21	0,41	0,38	-5,65
<i>Cluster 2</i>	0,52	0,47	-8,88	0,73	0,70	-4,65	0,64	0,60	-5,48
<i>Cluster 3</i>	0,43	0,40	-6,37	0,66	0,62	-5,09	0,57	0,53	-6,45
<i>Cluster 4</i>	0,60	0,52	-12,78	0,80	0,74	-7,15	0,69	0,64	-7,06
<i>Cluster 5</i>	0,66	0,61	-6,19	0,86	0,83	-4,19	0,76	0,72	-5,19
<i>Cluster 6</i>	0,42	0,41	-1,60	0,44	0,43	-2,42	0,43	0,42	-2,02

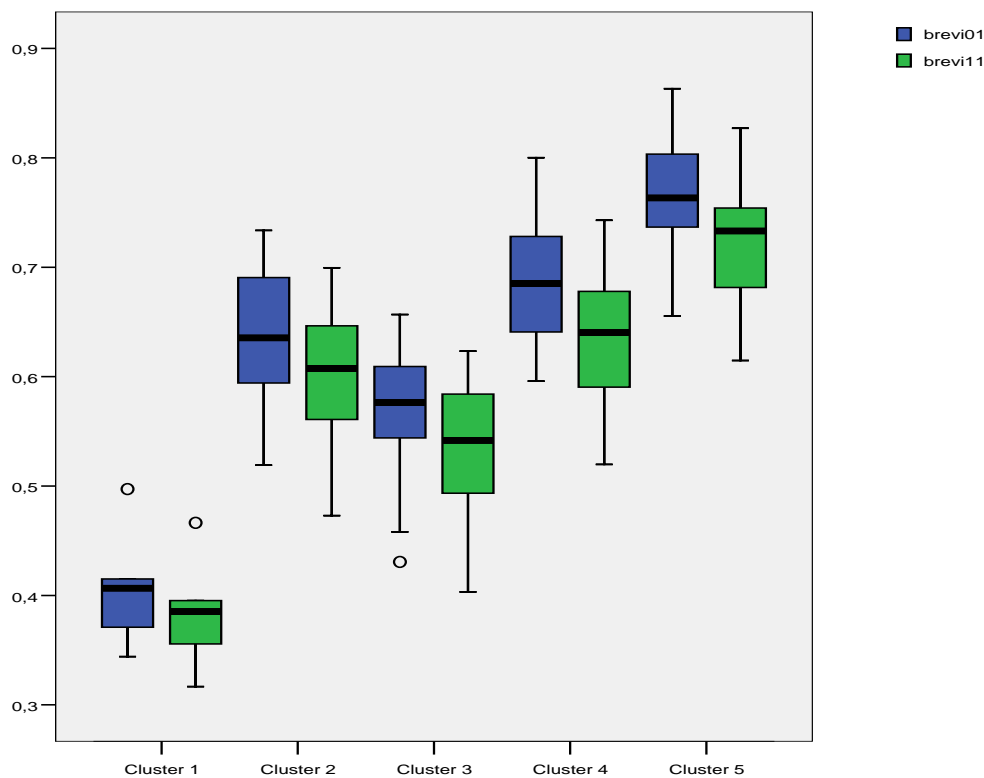


Figura 9: Indicatore BREVI, confronto boxplot 2001-2011 per ciascun cluster individuato nel 2001.

Nota: escluso il Cluster 6 (n=2).

Tavola 7 Struttura dei clusters, 2011

	6 cluster	5 clusters	4 clusters
Alessandria, Bergamo, Bologna, Brescia, Cagliari, Como, Firenze, Genova, Milano, Monza, Padova, Parma, Pavia, Roma, Torino, Varese, Verona	1	1	1
Aosta, Avellino, Brindisi, Caltanissetta, Campobasso, Carbonia, Caserta, Cosenza, Crotone, Cuneo, Enna, Foggia, Gorizia, Iglesias, Isernia, Lanusei, Matera, Nuoro, Oristano, Sanluri, Tempio Pausania, Tortolì, Trani, Vercelli, Vibo Valentia, Villacidro	5	5	4
Asti, Bari, Benevento, Catania, Catanzaro, Cremona, Ferrara, La Spezia, Lecco, Lodi, Mantova, Messina, Novara, Palermo, Piacenza, Pisa, Pordenone, Reggio di Calabria, Rovigo, Salerno, Sassari, Savona, Taranto, Trento, Treviso, Trieste, Udine, Vicenza	3	3	1
Agrigento, Ancona, Arezzo, Ascoli Piceno, Belluno, Biella, Chieti, Fermo, Forlì, Frosinone, Grosseto, Imperia, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Lucca, Macerata, Massa, Modena, Olbia, Perugia, Pesaro, Pescara, Pistoia, Potenza, Prato, Ragusa, Ravenna, Reggio nell'Emilia, Rieti, Rimini, Siena, Siracusa, Teramo, Terni, Trapani, Verbania, Viterbo	4	4	3
Andria, Barletta, Bolzano, Sondrio	6	2	2
Napoli, Venezia	2	2	2

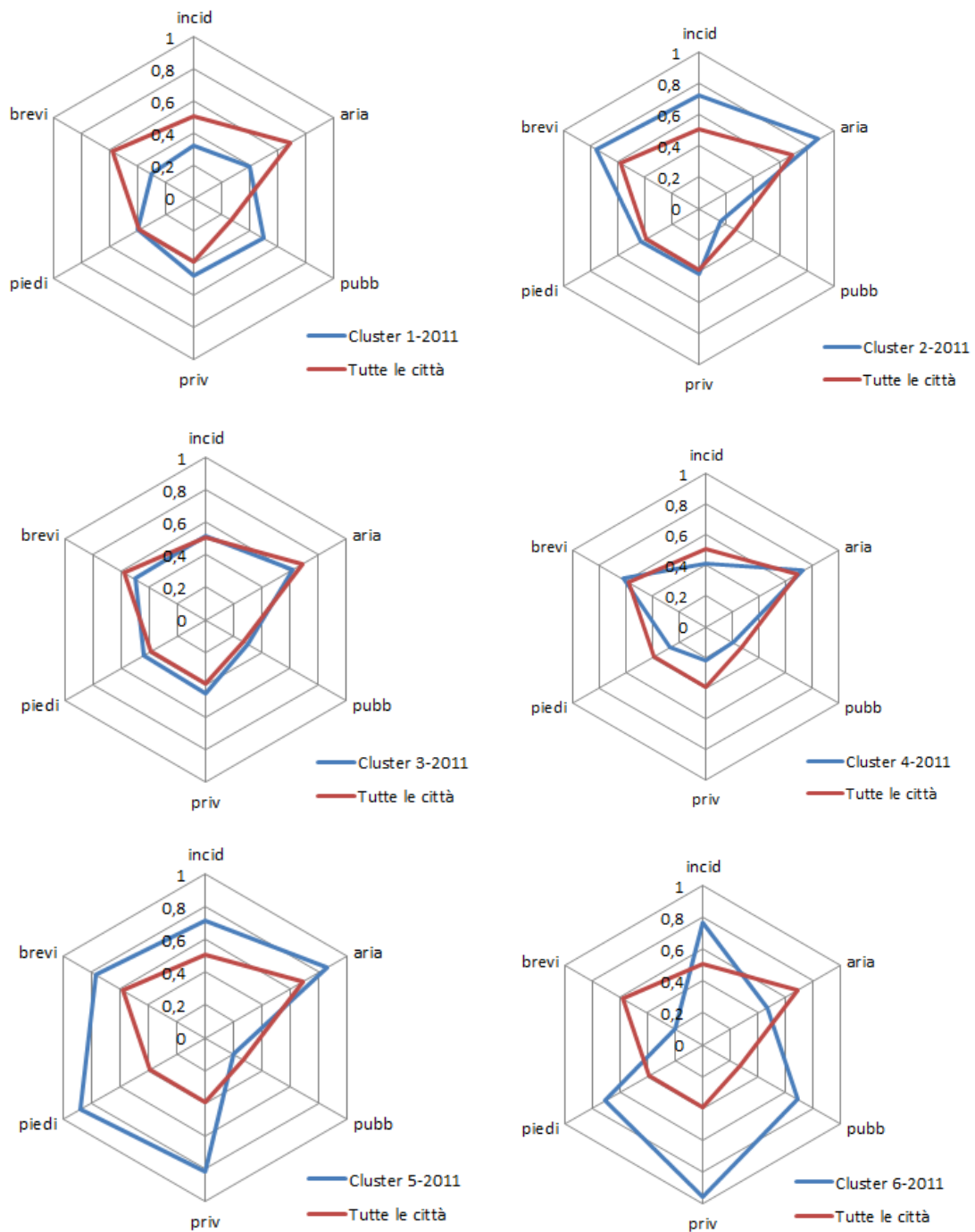


Figura 10: Confronto tra valori medi per cluster e valori medi generali di ciascun indicatore, 2011