

Indicatori di sostenibilità della mobilità urbana. Un'applicazione all'Italia e al Friuli Venezia Giulia

ROMEO DANIELIS, ADRIANA MONTE, LUCIA ROTARIS

Abstract

Il presente lavoro descrive la costruzione di indici composti sulla sostenibilità della mobilità urbana di 116 città italiane capoluoghi di provincia. A questo scopo sono stati selezionati 16 indicatori aventi una struttura nidificata cui sono state applicate 33 combinazioni di tecniche di normalizzazione, ponderazione e aggregazione, in linea con quanto proposto da Luzzati e Gucciardi (2015). L'obiettivo è di fornire informazioni più ricche sulla mobilità sostenibile, rendendo esplicito l'impatto che le tecniche utilizzate per la costruzione degli indicatori composti producono sui valori ottenuti. I risultati sono presentati per città e per gruppi di città e si è riscontrato che generalmente le piccole città hanno prestazioni migliori in termini di mobilità sostenibile rispetto alle città medie o grandi. Viene, inoltre, fatto un approfondimento sui capoluoghi di provincia del Friuli Venezia Giulia.

1. Introduzione

Promuovere modelli di trasporto più sostenibili è un obiettivo comunemente accettato. Nonostante sia quindi importante poter misurare e valutare la sostenibilità delle tendenze e delle politiche attuali e future del trasporto, non esiste un accordo generale sul concetto di trasporto sostenibile e su quali indici dovrebbero essere utilizzati per misurarlo in modo appropriato, per non parlare delle politiche che dovrebbero essere attuate. La complessità degli impatti che il trasporto ha sull'economia, la società e l'ambiente richiede alla comunità scientifica l'importante compito di chiarire il dibattito, proporre indicatori scientificamente affidabili e fornire un'analisi economica coerente. Questo lavoro si pone in questa ottica, esaminando il ruolo degli indicatori nella definizione e nella misurazione della mobilità sostenibile e illustrando i possibili approcci per sviluppare un indice aggregato. Si analizza inoltre come si posizionano i 116 capoluoghi di provincia italiani nei ranking individuati per mezzo degli indici aggregati con un focus particolare ed ulteriore sulle province del Friuli Venezia Giulia.

L'individuazione e la selezione degli indicatori utilizzati nel lavoro sono state guidate dalla letteratura esistente e dalla disponibilità di dati. Il lavoro si concentra infatti sulla mobilità urbana sostenibile e considera pertanto indicatori che siano disponibili a livello urbano. Le città considerate sono i capoluoghi di provincia italiani al 2011 e per essi viene sviluppato un Indice Composito (CI) di mobilità urbana sostenibile. Gli indicatori di base utilizzati sono 16 e descrivono le dimensioni economiche, sociali ed ambientali della mobilità sostenibile sulle quali concorda la letteratura esistente.

La costruzione di tale indice impone una serie di scelte che riguardano non solo gli indicatori di base, ma anche il modo in cui vengono poi sintetizzati in termini di: normalizzazione degli indicatori di base, scelta dei pesi da assegnare ad ogni indicatore, scelta del tipo di operatore da utilizzare per la sintesi. Poiché ogni scelta influenza i valori ottenuti per l'indice composito, abbiamo applicato 33 combinazioni di scelte diverse per testare la robustezza dei risultati ottenuti.

Questo approccio fornisce risultati interessanti e facilmente interpretabili senza nascondere le incertezze teoriche e metodologiche legate allo sviluppo dell'indicatore sintetico.

Nel paragrafo 2 dopo un cenno a come la mobilità sostenibile possa essere definita e misurata si illustra come gli indicatori di mobilità sostenibile possano essere aggregati in una misura sintetica e come in letteratura siano stati sviluppati e utilizzati gli CI per la mobilità urbana sostenibile. Il paragrafo 3 illustra la nostra applicazione alle 116 città italiane provinciali: gli indicatori selezionati, le tecniche di normalizzazione, ponderazione e aggregazione utilizzate per la stima

del CI. La sezione 3 presenta i risultati ottenuti per le città italiane e per le città del Friuli Venezia Giulia in particolare. Seguono le conclusioni nel paragrafo 4.

2. Definire e misurare la mobilità sostenibile

La mobilità delle persone e delle merci genera anche impatti ambientali negativi e consumo di risorse energetiche, contribuendo quindi a peggiorare la qualità dell'ambiente che lasciamo alle future generazioni. L'esigenza di soddisfare i bisogni di mobilità della presente generazione senza compromettere la possibilità alle generazioni future di soddisfare i propri, ha portato allo sviluppo del concetto di mobilità sostenibile, derivato dal concetto di sviluppo sostenibile¹. In tal senso vengono utilizzati in modo intercambiabile i termini "mobilità sostenibile", "trasporto sostenibile", "trasporto ecosostenibile".

Gli aspetti (pilastri) che vengono di solito richiamati nella definizione di un sistema di trasporto sostenibile sono tre e cioè quello economico, quello ambientale e quello sociale. A questi ne viene aggiunto un quarto da Hall (2006): la *governance*. Tra le diverse definizioni proposte del concetto di trasporto sostenibile (Joumard e Gudmundsson, 2010) quella più strettamente legata al concetto di sviluppo sostenibile afferma che *'Sustainable transport meets the mobility needs of the present without compromising the ability of future generations to meet these needs.'* (Zietsman e Rilett, 2002).

Nella conferenza europea dei ministri dei trasporti (ECMT, 2001) viene invece considerata una definizione più ampia, secondo la quale un sistema di trasporto ecologicamente sostenibile:

- consente di soddisfare le esigenze di accesso e sviluppo di individui e società in modo sicuro e coerente con la salute umana e dell'ecosistema e promuove equità intra- e inter-generazionale;
- è conveniente, opera in modo equo ed efficiente, offre una scelta tra modalità di trasporto e sostiene un'economia competitiva, nonché uno sviluppo regionale equilibrato;
- limita le emissioni e i rifiuti entro la capacità del pianeta di assorbirli, utilizza risorse rinnovabili non oltre o al di sotto dei tassi di generazione, utilizza risorse non-rinnovabili non oltre o al di sotto dei tassi di generazione di loro sostituti rinnovabili, riducendo al minimo l'impatto sull'uso del suolo e la generazione di rumore.

¹ Si veda il documento "Our Common Future" del 1987, redatto dalla World Commission on Environment and Development, noto come Brundtland Report (WCED, 1987)

Definire e misurare la sostenibilità ambientale dei sistemi di trasporto richiede innanzitutto una comprensione approfondita della complessa interazione tra l'ambiente e il sistema di trasporto. Vi possono essere una molteplicità di impatti ambientali, in relazione alla costruzione, all'uso e allo smaltimento dei componenti di un sistema di trasporto: il COST action 356² identifica 49 catene causali che descrivono questa varietà di impatti ambientali. Come affermano Joumard e Gudmundsson (2010) "la chiara definizione e descrizione di ciascuna catena è la base necessaria per la ricerca dei corrispondenti indicatori". Le catene riflettono le attuali conoscenze scientifiche e i fattori culturali ed economici prevalenti (ad esempio, la catena causale del cambiamento climatico è emersa in tutta la sua complessità e urgenza negli ultimi anni).

Uno dei principali contributi dell'azione COST 356 è la discussione della nozione e del ruolo degli indicatori. In pratica, un indicatore ambientale misura solo l'interrelazione tra il trasporto e il sistema ambientale.

L'utilizzo di indicatori consente di sintetizzare masse di dati, mostrare la situazione attuale in relazione a quella desiderabile, evidenziare i progressi verso gli obiettivi prefissati, comunicare la situazione esistente alle parti interessate in modo che possano essere adottate decisioni gestionali efficaci per raggiungere gli obiettivi (Mitchell e McDonald, 1995). Alcuni indicatori svolgono funzioni generiche di misurazione, altri vengono utilizzati per formulare scelte di natura politico-economica o comunque per prendere delle decisioni in merito alla gestione delle risorse in esame (Joumard e Gudmundsson, 2010). Una distinzione tra gli indicatori è quella tra indicatori di "input", che misurano ciò che è stato fatto (ad esempio la lunghezza delle linee riservate agli autobus che sono state costruite), indicatori di "processo", che descrivono come il sistema di trasporto risponde alle politiche poste in essere (ad es. la velocità degli autobus), indicatori di "output", che misurano l'esito di una strategia (ad es. la quota modale³) (KonSULT, 2007).

La scelta degli indicatori è di cruciale importanza. Il processo di selezione dovrebbe essere esplicito e rispettare, secondo COST 356, dieci criteri: validità, affidabilità, sensibilità, misurabilità, disponibilità dei dati, preoccupazioni etiche, trasparenza, interpretabilità, rilevanza di destinazione e azione (Joumard e Gudmundsson, 2010).

Nella Tabella 1 sono riportati degli indicatori che sono stati utilizzati in alcuni studi recenti sulla mobilità sostenibile nelle aree urbane⁴.

² Si veda COST action 356 "EST - Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport, (<http://cost356.inrets.fr>).

³ Percentuale di spostamenti per modalità di trasporto.

⁴ Per un elenco degli studi precedenti, il lettore può fare riferimento a Santos e Ribeiro (2013) e Alonso et al. (2015).

TABELLA 1. Indicatori utilizzati in alcune recenti ricerche, secondo tipo di indicatore e studio analizzato

Indicators	Type	ZS*	HV*	A*	R*
<i>Transportation Environmental Impact Indicator</i>					
Emissions of local air pollutants (CO, VOC, NOx, etc.)	output	x	x		x
GHG emissions (CO2-e)	output				x
Depletion of non-renewable resources	output				x
Public transport emissions per user	output			x	
Transport energy use per capita	output		x		
Public transport energy consumption per user	output			x	
Population exposed to noise	output				x
Land consumption for (private, public) transportation infrastructure	input		x	x	x
<i>Transportation Social Impact Indicator</i>					
Fatality of transportation per capita	output	x	x	x	x
Mortality effects of air pollutants	output				x
Transportation accessibility (network density for all transport modes)	input		x		
Public transport network density	input	x		x	
Accessibility (distance to a facility)	output				x
Transportation variety	input	x			x
Reduction of public transport fares for students and old people	policy			x	
Car thefts	process	x			
Share of journeys to work by car	output	x			
<i>Transportation Economical Impact Indicator</i>					
Employment/Population	structural	x			
Local government expenditures on transportation per GDP	policy		x		
Coverage ratio for public transport	output			x	
Cost of a monthly ticket for public transport	policy	x			
Average daily user cost over GDP per capita	output		x	x	
Car ownership costs	output				x
Cars per 1,000 inhabitants	private	x			
Average time spent in traffic	output	x	x	x	
Transport emission costs	output				x
Vehicle and general costs of accidents	output				x
<i>Planning & Land-use</i>					
Average living area (m ² per person)	structural	x			
Population density	structural	x			
<i>Total number of indicators used</i>		12	9	9	12
* ZS= Zito and Salvo (2011); HV=Haghshenas and Vaziri (2012); A=Alonso et al. (2015); R=Reisi et al. (2014)					

FONTE: Danielis et al. (2017), pag. 3

Come si vede le scelte degli indicatori nei lavori esaminati rispettano i tre pilastri che definiscono la sostenibilità (ambientale, sociale ed economico), ad essi Zito e Salvo (2011) aggiungono anche *Planning and Land-Use*. Oltre ad indicatori di input e di output, vengono utilizzati anche indicatori che dipendono da scelte politiche (sconti tariffari, spese del governo locale), o da scelte private (proprietà dell'auto). Zito e Salvo (2011) includono anche indicatori strutturali. Nella maggior parte dei casi si tratta di indicatori i cui valori sono osservati, ma Reisi et al. (2014), hanno utilizzato anche indicatori i cui valori sono stati stimati a causa della mancanza di dati e allo scopo di preservare l'indipendenza tra gli indicatori stessi, questione cruciale nell'applicazione di questa metodologia.

Nel complesso, la grande varietà di indicatori utilizzati può essere interpretata come una testimonianza dell'esistenza di problemi di natura teorica e metodologica che risultano ancora irrisolti: quali indicatori sono più appropriati per studiare la mobilità urbana sostenibile; come superare il problema della disponibilità dei dati; quali indicatori sono più adeguati rispetto alla scala territoriale studiata (agglomerati regionali, urbani, grandi e piccole città, aree statistiche locali); qual è la relazione tra gli indicatori selezionati (disponibili) ed i risultati ottenuti.

Dopo aver scelto gli indicatori, si presentano due possibilità (Sharpe, 2004): arrestarsi una volta che sia stato sviluppato un insieme adeguato di indicatori, in quanto qualsiasi processo di aggregazione comporta il rischio di introdurre arbitrarietà e implica un giudizio di valore; oppure aggregarli in una misura sintetica in grado di catturare la realtà nella sua interezza e complessità e di raccogliere l'interesse dei media e l'attenzione dei responsabili politici (Joumard e Gudmundsson, 2010).

I metodi di aggregazione utilizzati nella letteratura di impatto ambientale sono i seguenti: Life Cycle assessment (Frischknecht et al., 2009; Goedkoop et al., 2009); ecological footprint (Rees e Wackernagel, 1994), Material Input per Service-unit (Schmidt-Bleek, 1994). Una critica a questi approcci è che quantificano gli impatti ambientali senza tener conto delle preferenze dei consumatori.

L'approccio dell'economia del benessere, tipicamente utilizzato nella letteratura dell'economia ambientale, si basa invece sull'ipotesi che gli individui abbiano preferenze e la loro utilità (welfare) derivi dal consumo. I consumatori hanno preferenze ben definite e si comportano costantemente per perseguire il proprio interesse personale. I beni ambientali, però, sono nella maggior parte dei casi non soggetti a diritti di proprietà né a transazioni di mercato. L'interazione tra agenti economici, mediata da questi tipi di beni "speciali", avviene al di fuori del mercato, dando origine alle esternalità ed alle problematiche di gestione dei beni pubblici. Gli economisti dell'ambiente hanno definito diversi concetti di valore (valore di utilizzo, valore delle opzioni e valore di esistenza) e i metodi identificati per la loro stima, come il prezzo edonico, la valutazione contingente, la scelta

discreta, i costi di viaggio e il costo dei metodi di protezione. L'aggregazione delle preferenze individuali, il confronto delle preferenze nel tempo (tassi di sconto sociale e patrimonio intergenerazionale) così come l'inclusione di elementi di incertezza e di rischio sono, tuttavia, riconosciuti come aree problematiche.

Un terzo approccio consiste nell'applicare una procedura statistica guidata dai dati per ottenere un CI (OECD, 2008). Le caratteristiche importanti di un CI sono la sua capacità di riassumere realtà complesse e multidimensionali al fine di supportare i decisori e valutare il progresso nel tempo. Tali indicatori di sintesi possono però inviare messaggi di policy fuorvianti se sono erroneamente interpretati o costruiti in maniera inappropriata (OECD, 2008). Infatti, come afferma il manuale dell'OECD, i CI *"are much like mathematical or computational models, but their construction owes more to the craftsmanship of the modeller than to universally accept scientific rules for encoding"*.

Diversamente dalle tecniche di aggregazione descritte nella letteratura ambientale ed economica, la metodologia basata sui CI non valuta in termini assoluti il livello di sostenibilità di un sistema di trasporto (espresso in unità di misura fisiche o monetarie), ma produce un indice sintetico normalizzato che consente di effettuare confronti spaziali o temporali tra diversi sistemi di trasporto.

Un tema centrale della letteratura in tema di indicatori sintetici di mobilità sostenibile (si veda Zito e Salvo, 2011; Haghshenas e Vaziri, 2012; Alonso et al., 2015; Reisi et al., 2014) è quali siano i metodi più appropriati per la costruzione di un indicatore di sintesi e di come le metodologie di aggregazione influenzino i risultati. Questo è un aspetto importante soprattutto se l'obiettivo è fornire al decisore pubblico le informazioni necessarie per effettuare una scelta. Ci sono molti problemi di ricerca che hanno bisogno di essere discussi e chiariti, così come anche il modo in cui comunicare al decisore i risultati ottenuti.

Di seguito vengono richiamati la metodologia e i risultati conseguiti in Danielis et al. (2017) per un'analisi della mobilità sostenibile delle città italiane al 2011, con un approfondimento sulle città del Friuli Venezia Giulia ed un confronto con la situazione degli indicatori di base al 2001.

3. Ranking delle città italiane in termini di mobilità sostenibile

Danielis et al. (2017) hanno cercato di costruire un indicatore sintetico di mobilità sostenibile per le città italiane, in particolare per i capoluoghi di provincia in Italia al 2011. Si tratta di 116 città, che rappresentano le più grandi d'Italia, con una popolazione estremamente variabile. In alcuni casi sono agglomerati urbani piuttosto grandi con più di 250.000 abitanti (fino ad arrivare a città con oltre un milione di abitanti, come Milano e Roma), in altri invece si tratta di città di di-

mensioni medio-piccole o piccole, anche con meno di 20.000 abitanti. La variabilità della loro dimensione implica anche la variabilità nei sistemi di mobilità, per quanto riguarda: l'offerta di trasporto pubblico, la quota modale, la regolamentazione dei trasporti (aree pedonali, zone limitate di traffico, parcheggi e mezzi di trasporto) e la disponibilità di modalità di trasporto innovative (carsharing, bikesharing, scooter sharing, e-mobilità, ecc.).

Gli indicatori utilizzati sono in gran parte di fonte Istat (Istituto Nazionale di Statistica) che raccoglie e pubblica diversi indicatori relativi alla mobilità urbana, alcuni di essi sono stati raccolti in occasione dei censimenti, altri con indagini occasionali ed altri ancora con cadenza molto più ravvicinata (almeno annuale).

3.1 GLI INDICATORI UTILIZZATI

Nella Tabella 2 sono riportati gli indicatori utilizzati nel lavoro. Si tratta di 16 indicatori che cercano di descrivere le caratteristiche ambientali, sociali ed economiche dei sistemi di trasporto urbano. Naturalmente la scelta degli aspetti da considerare è condizionata dalla disponibilità di indicatori al dettaglio territoriale di nostro interesse⁵.

Per quanto riguarda le caratteristiche ambientali sono stati considerati tre aspetti: inquinamento (1, 2, 3), consumo di energia (4, 5) e trasporto non motorizzato (6) (Tabella 2). Non è stato incluso un indicatore del cambiamento climatico non solo per l'insufficiente disponibilità di dati, ma anche per il rischio di correlazione con gli indicatori di consumo energetico. Anche gli indicatori di consumo del territorio (Zito e Salvo, 2011) non sono stati inclusi a causa della mancanza di dati. L'inquinamento atmosferico locale viene misurato dalla concentrazione osservata dei tre principali inquinanti locali (PM_{10} , NO_2 e Ozono). Bisogna evidenziare che questi indicatori misurano la concentrazione degli inquinanti, ma non sono in grado di distinguerne la fonte, che non è solo il trasporto, ma anche ad esempio il riscaldamento domestico.

Per quanto riguarda invece le caratteristiche sociali sono stati considerati due aspetti: la sicurezza (7,8,9,10) e l'accessibilità (11,12,13). Diversamente da quanto riportato nella letteratura esaminata, la sicurezza è rappresentata da quattro indicatori, che tengono conto della frequenza e della gravità degli incidenti (Tabella 2). L'accessibilità viene misurata per mezzo di tre indicatori: la disponibilità di mezzi pubblici (decisione di politica pubblica), la disponibilità di mezzi di trasporto privato (decisione privata) e la quota di viaggi che dura meno di 15 minuti. Quest'ultimo indicatore, osservato a livello di censimento limita-

⁵ Per una dettagliata descrizione degli indicatori e delle fonti si veda Danielis et al. (2017)

tamente agli spostamenti dei pendolari, riflette l'effetto della congestione del traffico, della conformazione urbana e dell'ubicazione delle attività residenziali, commerciali e industriali.

Le caratteristiche economiche sono invece descritte da tre indicatori (14, 15, 16): il costo dei servizi di trasporto pubblico, i costi per il trasporto privato e il tempo totale utilizzato giornalmente per la mobilità. Mentre quest'ultimo indicatore viene ricavato dai censimenti, gli altri due sono stati stimati ⁶(si veda Danielis et al., 2017).

La relazione tra la mobilità sostenibile e ciascuno di questi indicatori può essere positiva (nel senso che un aumento nell'indicatore segnala un miglioramento nella sostenibilità della mobilità) o negativa (la sostenibilità della mobilità migliora se il valore dell'indicatore considerato diminuisce). L'ultima colonna della Tabella 2 riporta il segno della relazione per ciascun indicatore.

Tutti gli indicatori di inquinamento e di incidentalità (sicurezza stradale) sono negativamente legati alla sostenibilità della mobilità. Lo stesso vale per gli indicatori relativi al consumo di energia e ai costi privati e pubblici del trasporto. La quota di viaggi che dura meno di 15 minuti è considerata come migliorativa della sostenibilità della mobilità, mentre il contrario è vero per il tempo utilizzato quotidianamente per la mobilità. Si presume inoltre che la sostenibilità aumenti all'aumentare della quota dei trasporti non motorizzati (spostamenti a piedi o in bicicletta), della disponibilità di mezzi pubblici e della disponibilità di autovetture private e veicoli a motore nella misura in cui migliorano l'accessibilità.

Gli indicatori utilizzati nel complesso dovrebbero riflettere la sostenibilità della mobilità urbana risultante sia dalla caratteristica strutturale della città (dimensione, geografia, meteorologia) sia da decisioni del settore pubblico (pianificazione urbana e di trasporto, regolazione, fornitura di servizi pubblici) che da decisioni private (ubicazione residenziale e modalità di scelta).

⁶ Il costo del trasporto pubblico si basa sul numero di posti/ km dei mezzi pubblici, moltiplicato per il costo per posto e diviso per la popolazione della città. Il costo dei trasporti privati si basa sul numero di automobili e motociclette private, moltiplicato per il costo per veicolo-km e per la distanza annuale percorsa e diviso per la popolazione della città.

TABELLA 2. Descrizione degli indicatori selezionati per ciascun pilastro

N.	Nome Indicatore	Descrizione	Tipo	Segno
Ambientali				
Inquinamento	PM ₁₀	Numero di giorni (in un anno) che eccedono i limiti previsti per le polveri sottili (PM ₁₀)	output, osservato	-
	Ozono	Numero di giorni (in un anno) che eccedono i limiti previsti per l'ozono (O ₃)	output, osservato	-
	NO ₂	Media annuale dei valori registrati dalle centraline urbane sul territorio comunale di NO ₂ (µg/m ³)	output, osservato	-
Consumo di energia	Consumo_Energia_TPL	Consumo di energia da parte del trasporto pubblico (10 ³ MJ/popolazione)	output, stimato	-
	Consumo_Energia_TrPriv	Consumo di energia da parte del trasporto privato (10 ³ MJ/popolazione)	output, stimato	-
Trasporto non-motorizzato	Tr_Non_Motorizzato	Quota modale di spostamenti a piedi o in bicicletta (%)	output, osservato	+
Sociali				
Incidenti	Incidenti	Numero di incidenti stradali (n° per 10 ³ abitanti)	output, osservato	-
	Morti	Numero di morti in incidenti stradali (n° per 10 ³ abitanti)	output, osservato	-
	Feriti	Numero di persone ferite in incidenti stradali (n° per 10 ³ abitanti)	output, osservato	-
	Morti_Pedoni	Numero di pedoni morti in incidenti stradali (n° per 10 ³ abitanti)	output, osservato	-
Accessibilità	Posti_km_TPL	Posti-chilometri offerti dal trasporto pubblico (posti-km per 10 ³ abitanti)	policy, osservato	+
	Posti_km_TrPriv	Disponibilità di auto e moto (n° di veicoli per 10 ³ abitanti)	privato, osservato	+
	%Spostamenti_Brevi	Quota di spostamenti brevi, minori di 15 minuti (%)	output, osservato	+
Economici				
Costi trasporto pubblico	Costi_TPL	Costi del trasporto pubblico (10 ³ Euro per abitante)	output, osservato	-
Costi trasporto privato	Costi_TrPriv	Costi del trasporto private (10 ³ Euro per abitante)	output, osservato	-
Tempo per mobilità	Tempo_di_Viaggio	Tempo totale utilizzato giornalmente per la mobilità (minutes)	output, osservato	-

3.2 LA DESCRIZIONE DEI DATI

Nella Tabella 3 sono riportati i valori medi dei 16 indicatori utilizzati, distinti secondo la localizzazione (Nord, Centro e Sud) e la dimensione delle città, ossia piccola (con meno di 100.000 abitanti), media (dai 100.000 ai 250.000) e grande (con più di 250.000 abitanti). La dimensione della città influenza il valor medio della maggior parte degli indicatori, data la diversità dei sistemi di trasporto tra le piccole, le medie e le grandi città.

L'inquinamento atmosferico nelle piccole città è molto inferiore rispetto a quello delle grandi città, in particolare rispetto al PM_{10} ed all' NO_2 ; lo stesso dicasi per l'offerta di trasporto pubblico. Questo si riflette sul consumo di energia e sui costi del trasporto pubblico locale, che risultano più bassi nelle città più piccole, oltre che sulla quota modale (Tabella 3). Dal punto di vista della mobilità sostenibile, una grande offerta di trasporto pubblico è un vantaggio per l'inclusione sociale, per la varietà delle modalità di trasporto disponibili, per l'efficienza energetica ed ambientale, ma è uno svantaggio in termini di costi per il bilancio pubblico. Bisogna inoltre evidenziare come l'offerta di trasporto pubblico sia molto più bassa nelle città meridionali rispetto a quelle del Centro e del Nord. Al contrario, gli indicatori relativi all'incidentalità stradale trasmettono un'immagine variegata: la dimensione delle città non influisce necessariamente sulla sicurezza stradale.

In Italia i tassi di proprietà di auto e moto sono molto elevati, i più bassi si riscontrano nelle grandi città settentrionali, i più alti nelle piccole città centrali. Vi è un chiaro vantaggio delle piccole città relativamente all'accessibilità (sia in termini di percentuale di viaggi dei pendolari che richiedono meno di 15 minuti, sia in termini di tempo totale utilizzato per gli spostamenti).

Le città del Friuli Venezia Giulia che rientrano nell'insieme delle città italiane considerate nell'analisi, sono i quattro capoluoghi di provincia e cioè Pordenone, Udine, Gorizia e Trieste. Mentre quest'ultima è una città di medie dimensioni, le altre tre sono di piccole dimensioni con meno di 100.000 abitanti al 2011. La dimensione si riflette sull'offerta di servizi di trasporto pubblico, più elevata a Trieste (6,2 contro una media delle città del Nord di medie dimensioni pari a 3,6) e minore nelle altre tre città (Pordenone 1,5, Udine 3,2 e Gorizia 1,2 contro una media delle città del Nord di piccole dimensioni pari a 2,1). Di conseguenza, Trieste ha più alti consumi di energia e maggiori costi dei trasporti pubblici, oltre che di quota modale di trasporto pubblico più elevata in regione. La qualità dell'aria è peggiore a Udine e Pordenone, mentre migliora a Gorizia e a Trieste, grazie anche alle loro caratteristiche geografiche e meteorologiche. La sicurezza dei trasporti è piuttosto differenziata: a Trieste tutti gli indicatori presentano valori migliori rispetto alle città del Nord di medie dimensioni, ma anche rispetto

TABELLA 3. Valori medi degli indicatori secondo dimensione della città e localizzazione, anno 2011

Indicatori	Città di grandi dimensioni				Città di medie dimensioni				Città di piccole dimensioni				TOTALE
	Totale	Nord	Centro	Sud	Totale	Nord	Centro	Sud	Totale	Nord	Centro	Sud	
	PM ₁₀	70	84	65	58	65	74	48	61	35	53	37	
Ozono	22	37	24	4	27	41	17	9	22	42	17	8	23
NO ₂	56	52	59	60	38	42	37	33	31	36	31	28	35
Consumo_Energia_TPL	1.9	2.5	2.4	1.0	1.1	1.2	0.7	1.1	0.6	0.7	0.6	0.5	0.8
Consumo_Energia_TrPriv	4.9	4.7	6.0	4.5	5.9	6.1	6.4	5.3	5.6	5.5	6.2	5.3	5.6
Tr_Non_Motorizzato	24%	23%	21%	27%	22%	25%	16%	22%	23%	28%	17%	22%	23%
Incidenti	6.05	6.87	7.59	4.47	5.63	6.29	5.59	4.39	4.70	5.29	6.41	3.55	5.07
Morti	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06
Feriti	8.09	9.22	9.76	6.12	7.69	8.33	7.70	6.48	6.69	6.90	8.83	5.64	7.09
Morti_Pedoni	1.43	1.27	1.26	1.68	1.37	1.28	1.40	1.51	1.80	1.96	2.10	1.56	1.65
Posti_km_TPL	5.8	7.7	7.2	3.1	3.1	3.6	2.1	3.1	1.7	2.1	1.8	1.3	2.4
Posti_km_TrPriv	740	672	800	777	733	717	779	732	743	732	807	726	740
%Spostamenti_Brevi	43%	40%	39%	48%	56%	53%	61%	58%	66%	62%	64%	69%	61%
Costi_TrPriv	1.0	0.9	1.2	0.9	1.2	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.3	1.1	1.1
Costi_TPL	29.0	38.7	36.2	15.6	15.7	17.8	10.6	15.3	8.5	10.5	9.0	6.7	12.2
Tempo_di_Viaggio	26	27	28	24	22	22	20	21	20	21	20	19	21
Quota modale TPL^	23%	31%	22%	16%	14%	15%	13%	12%	11%	12%	11%	9%	13%
Quota modale TrPriv^	41%	38%	46%	41%	48%	47%	54%	47%	49%	46%	54%	48%	48%

^ indicatori descrittivi non utilizzati per la costruzione dell'indicatore di sintesi

a quasi tutti i valori delle tre altre città della regione (solo a Gorizia due indicatori, Incidenti e Feriti, sono leggermente migliori); Pordenone presenta il tasso di incidenti e di feriti maggiore in regione e maggiore anche rispetto alla media delle città di piccole dimensioni del Nord; a Udine infine il tasso di mortalità dei pedoni è il più alto in regione ed è pari a 3,2 (contro un tasso medio delle piccole città del nord di 1,96). Il tempo di trasporto in tutte le quattro città è inferiore rispetto alla media nazionale riferita a città di analoghe dimensioni, mentre la quota di viaggi che dura meno di 15 minuti è in linea con la media nazionale sempre riferita a città di analoghe dimensioni.

Nelle Figure 1, 2, 3 sono rappresentati i valori normalizzati⁷ degli indicatori raggruppati nei tre pilastri (ambientale, sociale ed economico) delle quattro città del Friuli Venezia Giulia. In esse si può visualizzare la situazione rispetto ai valori che tali indicatori assumono nelle città di analoghe dimensioni (medie per Trieste e piccole per Pordenone, Udine e Gorizia) sia nel Nord che in tutta la penisola. Nella lettura dei grafici a seguire si deve tener presente che solo gli indicatori Tr_Non_Motorizzato (quota modale di spostamenti a piedi o in bicicletta), Posti_km_TPL (posti-chilometri offerti dal trasporto pubblico), Posti_km_TrPriv (disponibilità di auto e moto), %Spostamenti_Brevi (quota di spostamenti brevi) sono legati positivamente alla sostenibilità della mobilità, per cui più alto è il loro valore migliore è la mobilità sostenibile, viceversa per gli altri indicatori.

⁷ Per poterli rappresentare sullo stesso grafico gli indicatori sono stati trasformati in modo tale che il loro valore minimo sia pari 0 e il valore massimo sia pari ad 1.

FIGURA 1. Indicatori ambientali nei capoluoghi di provincia nel Friuli Venezia Giulia

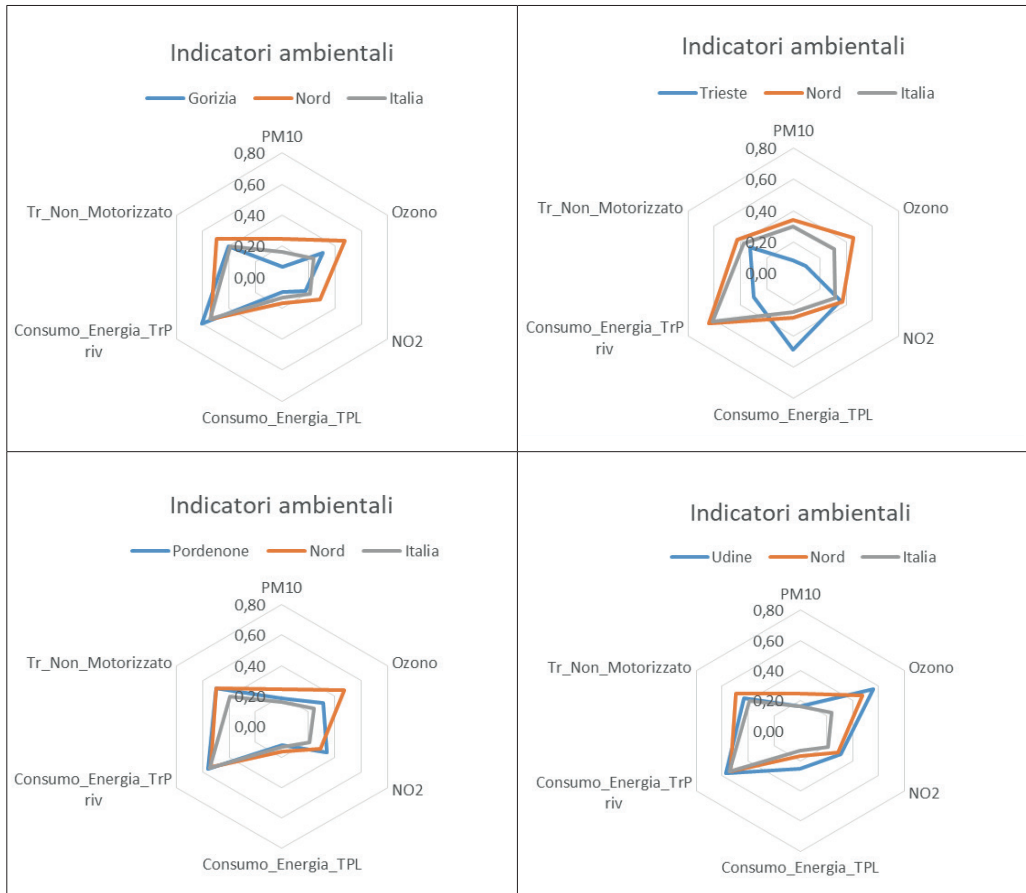


FIGURA 2. Indicatori sociali nei capoluoghi di provincia nel Friuli Venezia Giulia

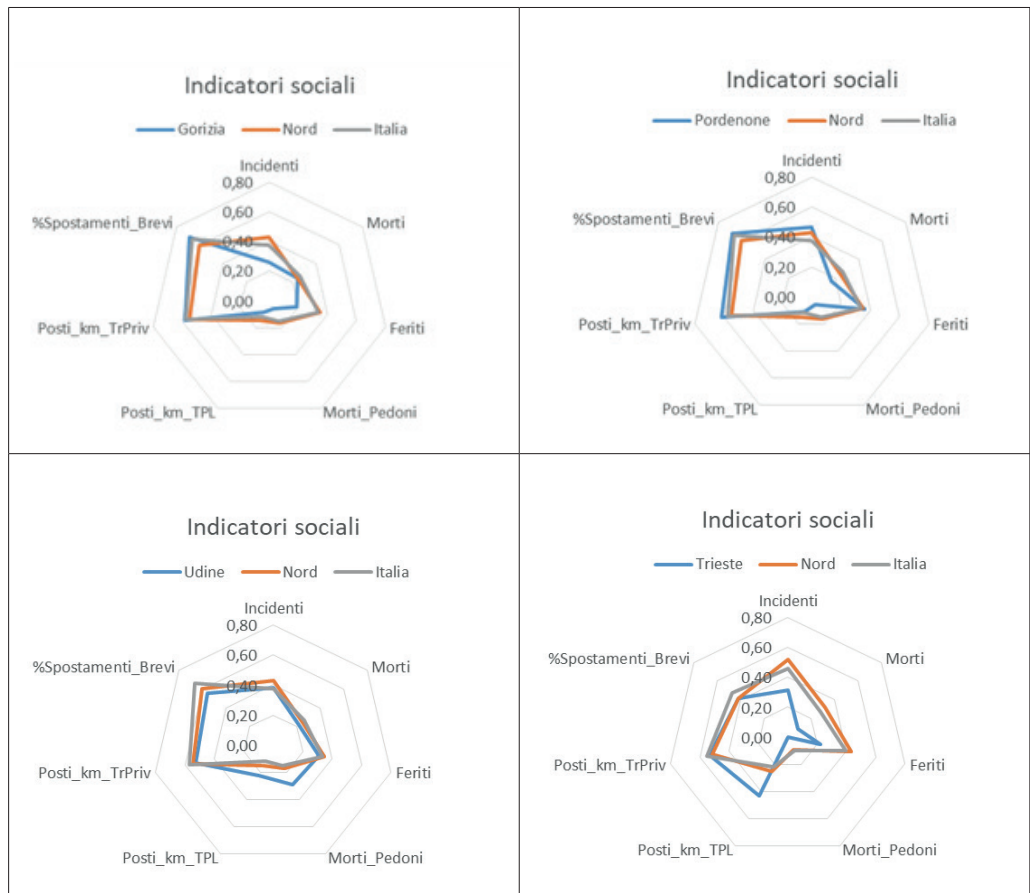
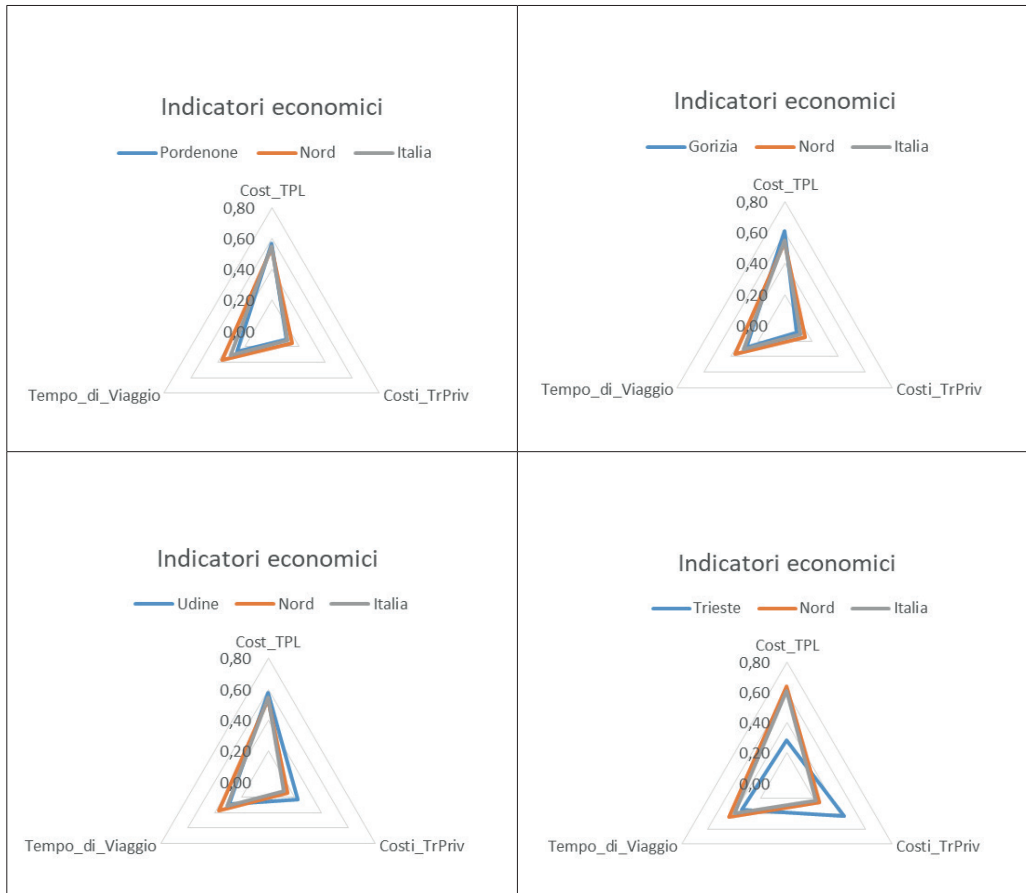


FIGURA 3. Indicatori economici nei capoluoghi di provincia nel Friuli Venezia Giulia



3.3 L'AGGREGAZIONE DEGLI INDICATORI

Le diverse tecniche di normalizzazione, ponderazione e aggregazione che si possono utilizzare per la sintesi degli indicatori elementari possono influenzare notevolmente i risultati. Per questa ragione Danielis et al. (2017), analogamente a Luzzati e Gucciardi (2015), hanno applicato diversi metodi ritenuti coerenti con il problema analizzato, arrivando così a risultati che producono graduatorie delle città differenziate. Ciò ha consentito di testare la sensibilità (robustezza) dei risultati ottenuti evitando la comunicazione di un messaggio eccessivamente semplicistico.

Per procedere alla costruzione dell'indicatore di sintesi si è prima provveduto ad un'analisi della matrice delle correlazioni tra gli indicatori. A causa della natura interdipendente degli indicatori selezionati, alcuni indicatori sono altamente correlati. Ad esempio, la disponibilità di mezzi di trasporto pubblico è correlata con il suo costo e con il consumo energetico. Allo stesso modo per quanto riguarda la sicurezza vi è una correlazione elevata tra incidenti e feriti. La matrice delle correlazioni dei 16 indicatori presenta tuttavia solo il 4,2% di valori molto elevati. Negli altri casi si tratta di valori di correlazione molto bassi (minori di 0,5) e solo in un altro 4,2% le correlazioni assumono valori tra 0,6 e 0,7.

Il primo passo è stato procedere alla normalizzazione degli indicatori, dal momento che essi presentano unità di misura e ordini di grandezza diversi. A tal fine sono state utilizzate 5 diverse tecniche, tutte coerenti con il quadro teorico e nessuna escludibile a priori. Esse sono riportate nella Tabella 4 e sono le stesse proposte in Luzzati et al. (2015): 1) *Borda Count*, che è un punteggio di classifica inverso; 2) *Z-score*, che tra -1 e 1 comprende il 95% della distribuzione; 3) *Min-max*, che riscalda linearmente i dati dando 0 al valore peggiore e 1 al migliore; 4) *Distance from the leader*, che calcola la distanza relativa dalla città più performante; 5) *Distance from the average*, che è il rapporto tra il valore dell'indicatore e la media (la prestazione media ottiene 1).

L'applicazione di queste procedure richiede di definire se un indicatore dia un contributo positivo o negativo al CI, ossia se ciascun indicatore sia positivamente o negativamente legato alla mobilità sostenibile (si veda Tabella 3).

Il secondo passo è consistito nella scelta del sistema di pesi da utilizzare. La ponderazione implica definire la relazione tra il singolo indicatore e l'indicatore sintetico. Esistono tre possibilità (Reisi et al., 2014). Gli indicatori potrebbero: a) determinare in modo indipendente e uguale il CI (spesso denominato Equal Weighting, EW); b) avere un impatto diverso (importanza) sul CI che dovrebbe essere determinato ad esperti; c) essere parte di un gruppo di indicatori correlati che descrivono la stessa dimensione di sostenibilità (Componenti Principali, Analisi fattoriale).

TABELLA 4. Tecniche di normalizzazione utilizzate

Name	Rule	Range
Borda Count	$I_c^q = 1 - \frac{R_c^q - 1}{n}$	(0;1]
Z-score	$I_c^q = \frac{x_c^q - \bar{x}^q}{\sigma^q}$	95% of the distribution $\in [-1; 1]$
Min-max	$I_c^q = \frac{x_c^q - \min(x^q)}{\max(x^q) - \min(x^q)}$	[0;1]
Distance from the leader	$I_c^q = \frac{x_c^q}{\max(x^q)}$	[0;1]
Distance from the average	$I_c^q = \frac{x_c^q}{\bar{x}^q}$	>0

Where

I_c^q is the normalised indicator for variable q and Country c ,
 R is the rank, \bar{x} the average, s the standard deviation, min and max the minimum and the maximum values, of the indicator q across countries.

Fonte: Luzzati e Gucciardi, 2015, pag. 27

Data la struttura nidificata degli indicatori (ognuno dei tre pilastri individuati viene infatti descritto da un numero diverso di indicatori, si veda la Tabella 1), l'applicazione del metodo EW si traduce in una struttura di ponderazione che attribuisce peso uguale ai tre pilastri, non ai singoli indicatori⁸.

In alternativa, i pesi da attribuire a ciascun indicatore o gruppi di indicatori potrebbero essere definiti secondo il parere di esperti. Anche se è una pratica comune fare affidamento su esperti o opinioni dei decisori, Reisi et al. (2014, p. 293) sostengono che questo metodo si consiglia solo quando meno di 10 indicatori devono essere confrontati. Per ridurre in parte la soggettività di questo approccio il secondo insieme di pesi applicato da Danielis et al. (2017) è tratto dalla letteratura (derivata da meta-analisi o studi europei) ed è applicato solo per indicatori relativamente omogenei. Se non esiste alcun studio affidabile in letteratura o se non è possibile effettuare un confronto tra indicatori o gruppi di indicatori, viene applicato il metodo EW.

Infine, data la presenza di alcuni valori elevati dei coefficienti di correlazione tra gli indicatori, i pesi sono stati determinati ricorrendo all'analisi delle componenti principali, che consente al ricercatore di spiegare la maggior parte della varianza totale dei dati attraverso variabili non correlate che sono combinazioni lineari delle variabili originali. I pesi utilizzati per tali combinazioni lineari vengono determinati in modo che la prima variabile ottenuta (prima componente principale) spieghi la quota maggiore di varianza totale, la seconda il massimo

⁸ Si veda per una descrizione ed un'analisi più approfondita dei sistemi di pesi utilizzati Danielis et al. (2017).

della variabilità residua e così via (si veda Delvecchio, 1995). Tuttavia, Jiang e Shen (2013) mettono in guardia contro un uso acritico di tale metodo, trovando che genera pesi problematici per alcuni indicatori e assegna un peso ridotto alle prestazioni ambientali delle città. L'analisi delle componenti principali è stata applicata tenendo conto della struttura nidificata degli indicatori e quindi a ciascun sottogruppo di indicatori, come proposto da Reisi et al. (2014) e Shiau et al. (2015).

Per quanto riguarda l'aggregazione degli indicatori sono stati utilizzati i tre diversi operatori di sintesi⁹ riportati nella Tabella 5; ciascuno di essi è stato calcolato utilizzando i tre diversi sistemi di ponderazione e tutto è stato applicato agli indicatori normalizzati secondo ciascuno dei metodi indicati in Tabella 4.

TABELLA 5. Formule di aggregazione utilizzate

Name	Rule
Linear	$CI_c = \sum_{q=1}^Q w^q I_c^q$
Geometric	$CI_c = \prod_{q=1}^Q (I_c^q)^{w_q}$
Concave	$CI_c = \sum_{q=1}^Q w_q (I_c^q - h e^{-k I_c^q})$

Where I_c^q is the normalised indicator for variable q and Region c , w the weight, h and k parameters.

Fonte: Luzzati e Gucciardi, 2015, pag. 28

Nel lavoro vengono così calcolati per ogni città 33 diversi indici composti, ognuno dei quali sintetizza la condizione della mobilità sostenibile urbana. Ciascun indice permette di assegnare un punteggio a ciascuna città e quindi una posizione in una graduatoria: alla miglior *performance* viene assegnato il valore 1 ed alla peggiore il valore 116. Tale approccio consente di prescindere dal valore effettivo dell'indice sintetico cogliendo solo la posizione di ciascuna città, indipendentemente da quanto sia migliore o peggiore il valore dell'indice e dalla distanza in termini di indicatore tra i sistemi di mobilità sostenibile di una città rispetto ad un'altra. L'interesse è capire se almeno la posizione nella graduatoria tenda ad essere mantenuta anche se vengono modificate le tecniche di normalizzazione, i pesi e operatore di sintesi. In tal modo vengono ottenute 33 graduatorie, che vengono messe a confronto

⁹ Si veda Danielis et al. (2017) e Luzzati e Gucciardi (2015).

3.4 RISULTATI

I risultati a livello di città sono illustrati nelle Figure 4, 5 e 6 che riportano i boxplot delle graduatorie per ciascuna delle 116 città ordinate secondo il valore mediano delle posizioni nelle graduatorie.

Le città di piccole dimensioni come Sondrio, Barletta, Oristano, Andria, Nuoro, Aosta, situate sia a nord che a sud e nelle isole, appaiono ai primi posti.

Bolzano, città nota per la sua consapevolezza ambientale, è al posto più alto tra le città di medie dimensioni. Napoli è la città al posto più alto fra quelle di grandi dimensioni (con più di 250.000 abitanti), mentre Milano e Roma si collocano nella parte bassa della classifica. Analizzando l'intervallo tra la posizione più bassa e quella più alta di ciascuna città, sembra che le città nelle posizioni più elevate della classifica mantengano la loro alta posizione relativa indipendentemente dalla combinazione delle metodologie utilizzate. Ad esempio, la posizione media (ranking medio) di Sondrio è la terza, ma la posizione di questa città varia dalla prima alla undicesima.

FIGURA 4. Graduatorie dei capoluoghi di provincia al 2011 (parte 1)

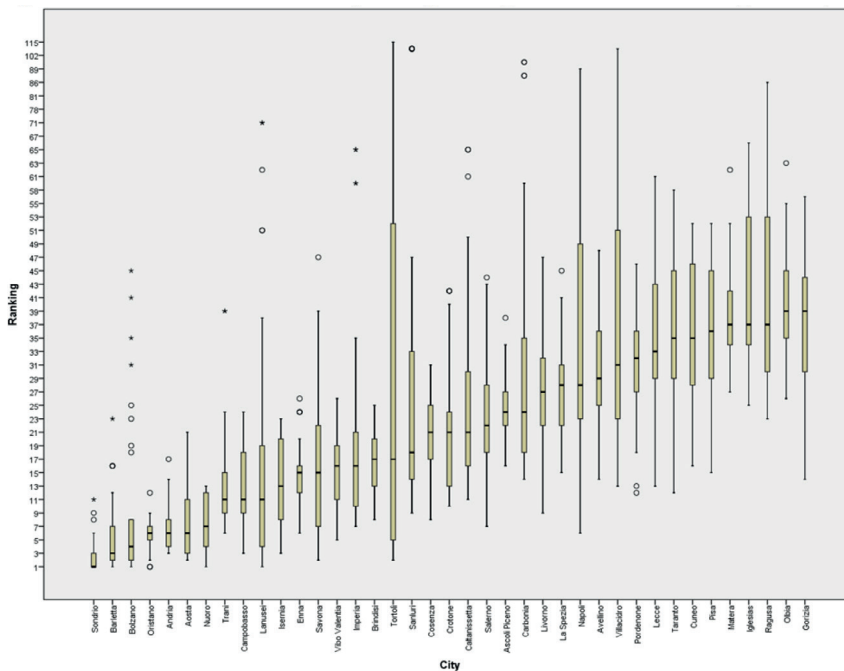


FIGURA 5. Graduatorie dei capoluoghi di provincia al 2011 (parte 1)

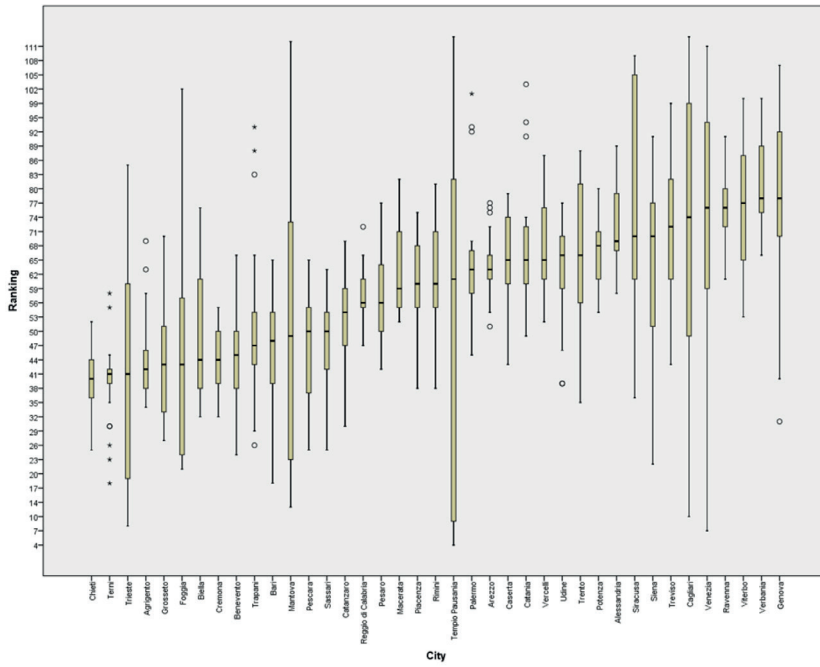


FIGURA 6. Graduatorie dei capoluoghi di provincia al 2011 (parte 1)

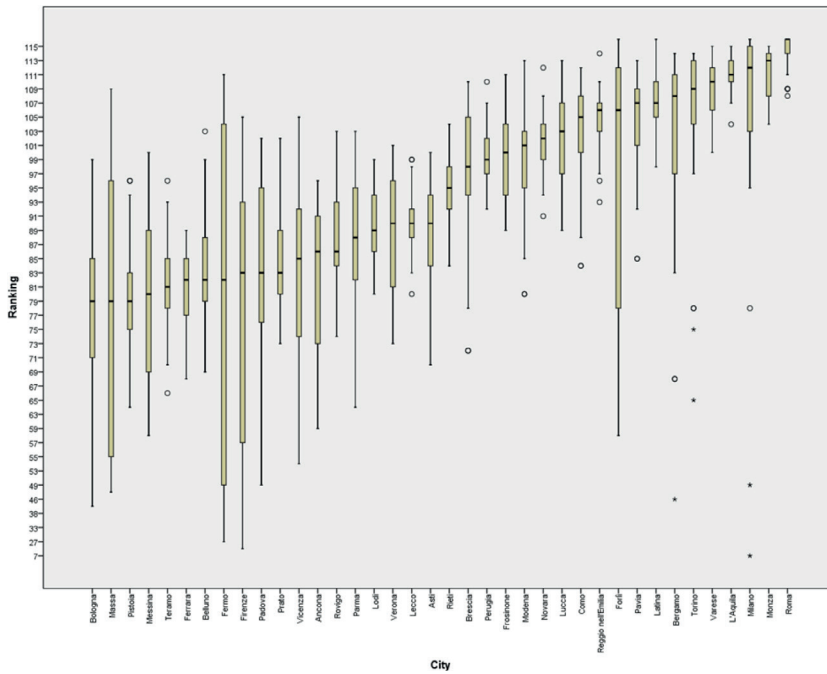
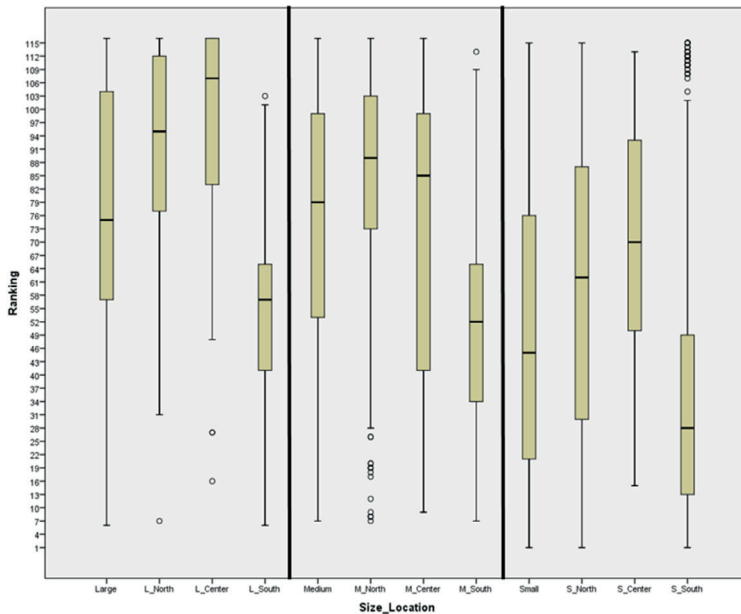


FIGURA 7. Boxplot delle graduatorie per dimensione delle città e loro localizzazione geografica



La posizione media di Bolzano, invece, è la decima, ma la sua classifica va dalla prima alla 45^a posizione.

Un caso estremo di un intervallo molto ampio per una grande città è Milano la cui posizione media in graduatoria è il 105° posto, ma il ranking di Milano oscilla dal 7° al 116° posto. Ciò dimostra che in alcuni casi i risultati sono molto sensibili ai metodi utilizzati. Tale affermazione viene confermata anche dai risultati ottenuti dall'applicazione di un test Anova che porta a respingere l'ipotesi nulla della neutralità delle tecniche utilizzate (Danielis et al., 2017). Questa appare essere una buona ragione per riportare simultaneamente i risultati relativi a tutte e 33 le graduatorie costruite.

Come si vede dalla Figura 7 le piccole città occupano posizioni mediane nelle classifiche che sono migliori rispetto a quelle delle città di medie e grandi dimensioni. Ciò è dovuto a indicatori di qualità dell'aria migliore, consumi energetici e costi di trasporto più bassi a causa della minore offerta di servizi di trasporto pubblico, livelli di sicurezza quasi equivalenti e, in particolare, una quota più alta di viaggi brevi e, di conseguenza, meno tempo totale dedicato al trasporto (per maggiori dettagli si veda la Tabella 3).

Confrontando le città per posizione geografica, le città del sud hanno risultati migliori rispetto a quelli delle città del centro e del nord, in quanto hanno una migliore qualità dell'aria, un minor numero di incidenti stradali, costi e tempi di trasporto pubblico più bassi (Tabella 3). La qualità dell'aria migliore delle città meridionali, grandi e piccole, potrebbe essere dovuta alle condizioni meteorologiche favorevoli (giorni nebbiosi meno frequenti, bassi livelli di umidità, più vento, ecc.), ma bisogna anche ricordare che il numero di stazioni di monitoraggio è stato sviluppato prima nelle regioni settentrionali rispetto a quelle meridionali¹⁰.

Se si considerano le quattro città della regione Friuli Venezia Giulia la situazione migliore si presenta per Pordenone, seguita da Gorizia. Si tratta delle città che in regione sulla base degli indicatori e delle metodologie utilizzate presentano un grado di sostenibilità maggiore. Sono anche le due città di dimensione demografica minore, cui generalmente corrisponde anche in altri ambiti territoriali una maggiore sostenibilità della mobilità. Trieste è la città più popolosa della regione e l'influenza della dimensione demografica sulla mobilità e quindi sugli indicatori è ben evidenziata nella Figura 8 in cui sono riportati i grafici radar che consentono un confronto immediato degli indicatori tra le città della regione. Come si vede Trieste presenta delle caratteristiche sostanzialmente diverse sia dal punto di vista ambientale, che sociale ed economico. In particolare gli indicatori di inquinamento sono migliori, grazie soprattutto alle sue condizioni meteorologiche, diverse sia rispetto a Udine che a Pordenone. Inoltre si caratterizza per una elevata presenza di trasporto pubblico locale, che ha delle ricadute importanti su molti indicatori ambientali, come la quota di spostamenti non motorizzati e la tipologia di consumi di energia, sociali (con i valori migliori degli indicatori di sicurezza stradale, contro una quota più bassa di spostamenti sotto i 15 minuti), ed economici.

Nella Figura 9 si nota che l'intervallo entro il quale oscillano le posizioni assunte all'interno delle singole graduatorie da Trieste è più grande rispetto a quello relativo alle altre tre città della regione, ma lo è anche rispetto a molte altre città italiane, il che significa che la combinazione delle tecniche utilizzate influenza in modo significativo la sua performance. Questo aspetto si può cogliere anche da come si distribuiscono le frequenze tra le classi di ranking. Tale distribuzione risulta essere molto più dispersa per Trieste rispetto a Udine, Gorizia e Pordenone, segnalando una maggiore incertezza sui risultati rispetto a quelli ottenuti per le altre tre città della regione.

La Figura 9 consente di comunicare in modo completo e adeguato i risultati ottenuti con l'approccio utilizzato. Essa illustra, ad esempio, la frequenza con cui

¹⁰ Per un focus sulle 10 maggiori città italiane (Bari, Bologna, Catania, Firenze, Genova, Milano, Napoli, Palermo, Roma, Torino) si veda Danielis et al., 2017.

FIGURA 8. Confronto dei capoluoghi di provincia del Friuli Venezia Giulia rispetto agli indicatori utilizzati

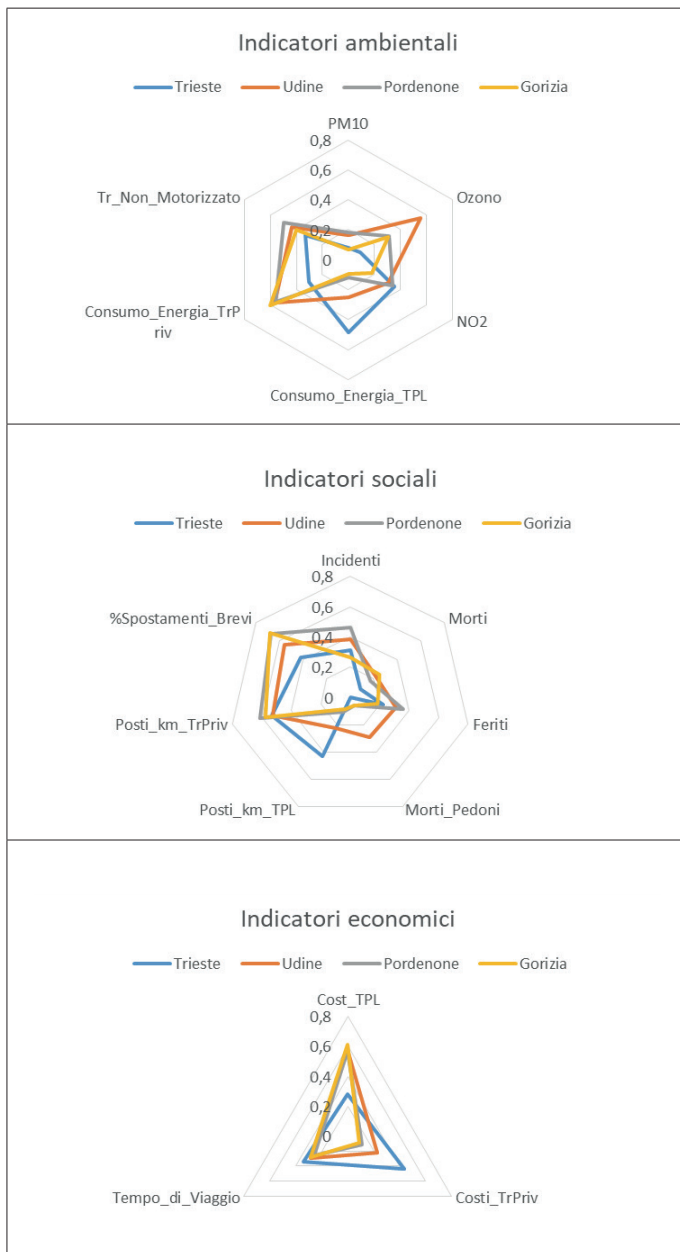


FIGURA 9. Frequenze delle posizioni in graduatoria dei 4 capoluoghi di provincia del Friuli Venezia Giulia secondo classe di ranking

Ranking da	a	Pordenone	Udine	Gorizia	Trieste	Legenda	
1	12	0,03	0,00	0,00	0,12		0%
13	24	0,18	0,00	0,09	0,21	1%	10%
25	36	0,55	0,00	0,33	0,03	11%	20%
37	48	0,24	0,12	0,55	0,24	21%	30%
49	60	0,00	0,21	0,03	0,18	31%	40%
61	72	0,00	0,52	0,00	0,23	41%	50%
73	84	0,00	0,15	0,00	0,15	51%	60%
85	96	0,00	0,00	0,00	0,06	61%	70%
97	108	0,00	0,00	0,00	0,00		
109	116	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Media	32	63	37	41		
	Max	46	77	57	85		
	Min	12	39	14	8		
	St.Dev.	9	10	9	22		

una città ottiene una posizione nella graduatoria. Ad esempio, Pordenone si posiziona il 55% delle volte tra il 25° e il 36° posto in graduatoria e il 24% delle volte tra il 37° e il 48°. Non si trova mai al di sotto della 48° posizione; il posizionamento è entro il 24° posto nel 20% dei casi. Sempre nella Figura 9 si possono leggere anche i valori minimi e massimi della graduatoria e il valor medio assunto da ciascun capoluogo del Friuli Venezia Giulia. Anche in regione, come in generale nel resto del Paese, le città di dimensioni minori presentano sempre posizioni migliori nelle 33 graduatorie individuate.

4. Conclusioni

Lo sviluppo di un indice di mobilità sostenibile è un compito complesso tanto dal punto di vista teorico che metodologico. Il concetto di mobilità sostenibile, analogamente a quello di sviluppo economico sostenibile, si basa su tre pilastri: quello economico, quello sociale e quello ambientale. Gli indicatori svolgono un ruolo cruciale nel concettualizzare, misurare e guidare la mobilità sostenibile. Una grande varietà di indicatori di input, di processo e di output sono stati sviluppati nello studio della mobilità sostenibile. Al fine di ridurre la molteplicità dell'insieme degli indicatori, possono essere sviluppate misure fisiche, economiche o statistiche aggregate. Tutti gli approcci hanno dei pro e dei contro come discusso in letteratura. Un numero sempre maggiore di studi segue l'approccio dello sviluppo di indicatori sintetici di mobilità sostenibile, che a seconda delle

modalità di sintesi utilizzate possono produrre risultati diversi. Le diverse scelte relative alla normalizzazione, ai sistemi di ponderazione e agli operatori di sintesi, influenzano in misura anche rilevante i risultati ottenibili. Rivedendo questa letteratura abbiamo sottolineato che sono disponibili diverse tecniche e che c'è bisogno di capire come la scelta della tecnica (solo apparentemente un problema tecnico) influenza i risultati. Al fine di evitare di dare un messaggio eccessivamente semplicistico e di provare la robustezza dei risultati sono state applicate diverse modalità di normalizzazione, di ponderazione e di sintesi degli indicatori, come proposto da Luzzati e Gucciardi (2015).

La scelta degli indicatori e la completezza dei dati sono fondamentali per la qualità dei risultati ottenuti. E' stato selezionato un insieme di 16 indicatori nidificati, coerenti con il quadro teorico per lo studio della mobilità sostenibile di 116 città italiane. Tali indicatori descrivono caratteristiche ambientali, sociali ed economiche dei sistemi di trasporto urbano. Due di essi riflettono politiche e decisioni private. La maggior parte degli indicatori sono osservati, ma quattro indicatori sono stimati. Applicando diverse tecniche di normalizzazione di pesatura e di aggregazione per ciascuna città esaminata sono stati ricavati 33 indici composti di sostenibilità sulla base dei quali sono state stilate altrettante classifiche delle città prese in esame

I risultati non vengono presentati come misura singola, ma come distribuzioni di frequenza delle graduatorie ottenute per ciascuna città. Anche se le tecniche utilizzate per la loro costruzione hanno un effetto significativo sui valori ottenuti (test Anova), i risultati suggeriscono che le piccole città, situate al nord, nel sud e nelle isole, tendono ad occupare le posizioni migliori nelle graduatorie. Bolzano è la città nella posizione migliore tra le città di media grandezza e Napoli lo è tra le grandi città, mentre Milano e Roma si posizionano nei posti più bassi delle graduatorie.

Focalizzando l'analisi sulle quattro città capoluogo di provincia della regione Friuli Venezia Giulia emerge come mediamente Pordenone e Gorizia presentino livelli di sostenibilità migliori di Trieste e Udine, ma come la distribuzione dei risultati ottenuti sia molto più dispersa e dipendente dalle tecniche di costruzione degli indici composti per la città di Trieste che per le altre tre città. La diversa dimensione urbana e la differenza nella disponibilità di servizi di trasporto pubblico, oltre che la posizione geografica e le condizioni meteorologiche sembrano giocare un ruolo rilevante nel differenziare la situazione di Trieste rispetto alle altre tre città.

La combinazione di tecniche multiple e la produzione di classi di distribuzione di frequenze, invece delle stime puntuali, offre ai lettori un insieme di informazioni più ricche, permettendo comunque di effettuare un confronto tra le città selezionate.

Bibliografia

- Alonso, A., Monzón, A., Cascajo, R. (2015). Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities. *Ecological Indicators*, 48, 578-592.
- Danielis, R., Rotaris, L., Monte, A. (2017). Composite indicators of sustainable urban mobility: Estimating the rankings frequency distribution combining multiple methodologies. *International Journal of Sustainable Transportation*, published on line: 19 Sep 2017, <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1377789>
- Delvecchio F. (1995). *Scale di misura e indicatori sociali*, Cacucci Editore, Bari.
- 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 harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level – Report I: Characterization*, Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. Retrieved from: <http://lcia-recipe.net>
- Haghshenas, H., Vaziri, M. (2012). Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Ecological Indicators*, 15(1), 115-121.
- 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.
- Jiang, Y., Shen, J. (2013). Weighting for what? A comparison of two weighting methods for measuring urban competitiveness. *Habitat International*, 38, 167-174.
- Joumard, R., Gudmundsson, H. (2010). *Indicators of environmental sustainability in transport. An interdisciplinary approach to methods*, INRETS.
- KonSULT. (2007). *The Knowledgebase on Sustainable Urban Land use and Transport- Glossary*. Retrieved from: www.socscinet.com/transport/konsult/public/level1/l1_gloss.htm
- 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, 25-38.
- Mitchell, G., May, A., McDonald, A. (1995). PICABUE: A Methodological framework for the Development of Indicators of Sustainable development, *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 1, 97-109.
- OECD. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators, Methodology and User Guide*. Retrieved from: <http://>

www.oecd.org/std/leading-indicators/42495745.pdf

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, 362-390.

Reisi, M., Aye, L., Rajabifard, A., Ngo, T. (2014). Transport sustainability index: Melbourne case study. *Ecological Indicators*, 43, 288-296.

Rusich, A., Danielis, R. (2015). Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various

automotive technologies in Italy. *Research in Transportation Economics*, 50, 3-16.

Santos, A.S., Ribeiro, S.K. (2013). The use of sustainability indicators in urban passenger transport during the decision-making process: the case of Rio de Janeiro, Brazil. *Current Opinion on Environmental Sustainability*, 5 (2), 251-260.

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. ISBN 3-7643-2959-9.

Sharpe, A. (2004). *Literature review of frameworks for macro-indicators* (No. 2004-03). Ottawa:

Centre for the Study of Living Standards.

Shiau, T. A., Huang, M. W., Lin, W. Y. (2015). Developing an indicator system for measuring Taiwan's transport sustainability. *International Journal of Sustainable Transportation*, 9(2), 81-92.

Zietsman, J., Rilett, L. R. (2002). *Sustainable transportation: Conceptualization and performance measures*, No. SWUTC/02/167403-1. Southwest University Transportation Center, Texas Transportation Institute, Texas A & M University.

Zito, P., Salvo, G. (2011). Toward an urban transport sustainability index: an European comparison. *European Transport Research Review*, 3(4), 179-195.