

AMBIENTE E SOSTENIBILITÀ – UN'ANALISI MULTIDIMENSIONALE ATTRAVERSO L'USO DEI PRINCIPALI INDICI DI SINTESI

GIUSEPPE LECARDANE - Istat lecardan@istat.it

OBIETTIVI: Le conseguenze dei cambiamenti climatici, il depauperamento delle risorse idriche, l'inquinamento urbano e le altre manifestazioni di crisi ambientale coinvolgono in modo trasversale tutti i contesti in cui si esprime l'attività umana. Nel presente lavoro sono messi a confronto alcuni principali metodi statistici per la sintesi di indicatori rappresentativi dell'insieme dei fenomeni ambientali per il monitoraggio delle città italiane. I risultati hanno mostrato analogie nella sintesi di un set di indicatori elementari a livello territoriale. Uno studio multidimensionale che offre spunti di approfondimento a soggetti impegnati su politiche di sviluppo e sostenibilità ambientale nel territorio urbano..

DESCRIZIONE: La natura della multidimensionalità del fenomeno e la sua misurabilità attraverso un sistema di indicatori elementari consente la costruzione mirata di una tecnica di sintesi che, attraverso un'opportuna funzione di aggregazione, sia capace di acquisire i molteplici aspetti del fenomeno oggetto di studio. Per l'identificazione del modello di misurazione è stato seguito il modello formativo, ovvero, gli indicatori sono individuati come causa del fenomeno da misurare, non sono intercambiabili e le loro correlazioni non sono spiegate dal modello. In merito agli ultimi dati forniti da Istat sulla qualità ambientale delle nostre città italiane (Istat, 2020), sono stati selezionati e combinati un set di indicatori elementari su sette tematiche ambientali a livello delle 110 città comuni capoluogo. Questi indicatori presentano una variabilità piuttosto accentuata e poco correlati tra loro, caratteristiche idonee ai fini dell'obiettivo che si propone. Essi rappresentano la base per il procedimento di aggregazione attraverso la costruzione e la comparabilità di alcuni principali metodi di sintesi allo scopo di misurare la dimensione e la struttura dello stato dell'ambiente nelle nostre città.

Tematiche ambientali	Indicatori ambientali e polarità (+/-) - ISTAT 2020
Acqua	a1(-) Acqua fatturata per uso civile domestico pro capite (litri per abitante al giorno) a2(-) Acqua fatturata totale pro capite (litri per ab. al giorno) a3(-) Perdite sui volumi d'acqua immessi in rete (%)
Aria	b4(+/-) Centraline fisse di monitoraggio della qualità dell'aria (per 100.000 abitanti) b5(-) Indicatore sintetico di inquinamento atmosferico (valori medi superamenti dei valori soglia per le concentrazioni di PM10, PM2.5, NO2 e O3)
Energia	c6(+/-) Estensione dei pannelli solari termici installati sugli edifici dell'amministrazione comunale (m2 per 1.000 abitanti) c7(+/-) Potenza totale dei pannelli solari fotovoltaici e parte di proprietà diretta dell'amministrazione comunale (kW per 1.000 abitanti) c8(+/-) Colonnine di ricarica per auto elettriche per tipologia nei comuni (per 10 km2)
Mobilità	d9(-) Tassi di motorizzazione per autovetture per comune, (veicoli circolanti per 1.000 abitanti) d10(+/-) Autovetture elettriche circolanti per comune, (per 1.000 autovetture circolanti) d11(-) Indice del potenziale inquinante delle autovetture circolanti per comune (autovetture ad alto-medio potenziale inquinante per 100 autovetture a medio-basso potenziale inquinante)
Rifiuti urbani	e12(+/-) Raccolta dei rifiuti urbani porta a porta per le utenze domestiche nei comuni (%) e13(-) Raccolta dei rifiuti urbani stradale per le utenze domestiche nei comuni (%)
Rumore	f14(+/-) Esposti presentati dai cittadini in materia di inquinamento acustico per comune (per 100 mila abitanti)
Verde urbano	g15(+/-) Catostio alberature per comune (alberi ogni 100 abitanti) g16(+/-) Densità di verde urbano nei comuni (incidenza percentuale sulla superficie comunale) g17(+/-) Disponibilità di verde urbano nei comuni (m2 per abitante)

RISULTATI: Per analizzare il fenomeno dello stato dell'ambiente urbano, sono stati selezionati e confrontati 17 indicatori elementari per i 110 capoluoghi di provincia nell'anno 2020. Dall'analisi esplorativa dei dati, gli indicatori presentano una variabilità piuttosto accentuata (molti valori del coefficiente di variazione sono superiori all'unità) e poco correlati tra loro, caratteristiche idonee ai fini dell'obiettivo dell'analisi.

Media e variabilità degli indicatori ambientali. Comuni capoluogo delle province italiane. Anno 2020

	a1	a2	a3	b4	b5	c6	c7	c8	d9	d10	d11	e12	e13	f14	g15	g16	g17
M	206,9	150,8	37,3	2,7	19,4	4,4	259,3	2,4	668,1	1,5	129,0	72,0	47,0	12,2	14,8	14,0	42,7
s	37,5	27,8	15,2	2,0	19,8	18,4	261,7	5,7	69,9	0,8	18,8	34,4	40,4	20,5	14,3	14,7	61,0
CV	0,2	0,2	0,4	0,7	1,0	4,2	1,0	2,4	0,1	0,5	0,1	0,5	0,9	1,7	1,0	1,1	1,4

Matrice delle correlazioni tra gli indicatori ambientali. Comuni capoluogo delle province italiane. Anno 2020

	a1	a2	a3	b4	b5	c6	c7	c8	d9	d10	d11	e12	e13	f14	g15	g16	g17
a1	1	0,78	-0,23	-0,05	0,38	-0,01	-0,27	0,34	-0,19	0,33	-0,12	0,21	-0,10	0,05	-0,01	0,09	0,05
a2	1,00	-0,16	-0,10	0,33	-0,06	0,32	0,39	-0,16	0,23	-0,02	0,24	-0,18	0,08	-0,05	0,06	0,00	0,00
a3	1,00	0,09	-0,42	0,07	-0,02	-0,20	0,24	-0,30	0,31	-0,20	-0,01	0,07	-0,35	0,02	-0,03	-0,03	-0,03
b4	1,00	-0,09	0,09	0,15	-0,16	0,14	-0,05	0,00	0,26	-0,09	-0,12	-0,05	-0,10	0,15	-0,01	-0,01	-0,01
b5	1,00	-0,12	-0,14	0,35	-0,33	0,47	-0,51	0,13	0,10	0,04	0,38	0,07	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
c6	1,00	0,05	0,05	0,20	-0,03	0,03	-0,02	-0,04	-0,09	0,19	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
c7	1,00	-0,24	0,24	-0,20	0,05	0,02	-0,06	-0,18	-0,02	-0,17	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
c8	1,00	-0,33	0,30	-0,15	0,03	-0,12	0,08	0,10	-0,03	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07
d9	1,00	-0,27	0,27	0,20	-0,31	-0,10	-0,10	-0,24	0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
d10	1,00	-0,55	0,13	0,02	0,09	0,28	0,08	0,30	-0,02	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
d11	1,00	-0,03	-0,21	-0,07	-0,37	-0,02	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
e12	1,00	-0,42	-0,10	0,01	-0,05	0,14	-0,05	0,14	-0,05	0,14	-0,05	0,14	-0,05	0,14	-0,05	0,14	-0,05
e13	1,00	0,19	0,18	0,08	0,04	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
f14	1,00	0,07	0,32	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
g15	1,00	-0,02	0,08	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
g16	1,00	-0,11	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
g17	1,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01

Posizionamento dei comuni italiani attraverso l'analisi dei quattro metodi di sintesi

Dalla graduatoria, in base ai valori assunti dei quattro indicatori sintetici, si può osservare il posizionamento dei comuni italiani a seconda dell'entità dello stato di salute dell'ambiente urbano che diminuisce passando verso i ranghi più alti. Il posizionamento, in termini di pressione sull'ambiente urbano per le tematiche considerate, distingue in modo unitario Trento la città con la migliore performance ambientale urbana, diversamente Catania la città con il più alto impatto negativo. Nella classifica delle prime cinque città a basso impatto ambientale si distinguono, inoltre, Bolzano, Sondrio, Mantova e Bergamo, città di piccola e media ampiezza demografica del nord Italia. In fondo alla graduatoria, in presenza di una maggiore intensità di pressione ambientale, si registrano le città del sud Italia: Isernia, Napoli, Frosinone e Campobasso.

Classifica delle cinque migliori e peggiori performance ambientali - Capoluoghi di provincia. Anno 2020

Capoluoghi di provincia	MZ	MR	MPIC+	MPIC-
	N. Rank	N. Rank	N. Rank	N. Rank
Migliori performance ambientali				
Trento	0,71	1	0,50	1
Bolzano-Bozen	0,51	2	0,44	2
Sondrio	0,41	3	0,43	3
Mantova	0,36	4	0,44	4
Bergamo	0,34	5	0,43	5
Peggiori performance ambientali				
Isernia	-0,44	106	0,30	98
Napoli	-0,47	107	0,27	105
Frosinone	-0,47	108	0,30	97
Campobasso	-0,61	109	0,25	109
Catania	-0,68	110	0,21	110

Differenze di rango tra i quattro indicatori sintetici a confronto

Dall'analisi della sensibilità mediante la differenza assoluta e il coefficiente di correlazione per ranghi di Spearman, risultati più simili, ovvero, quelli con meno spostamenti possibili di posizioni dei comuni nel passaggio da un metodo ad un altro, sono quelli ottenuti nel confronto tra il metodo MR e MPIC+ e il metodo MR e MPIC- ai quali corrispondono differenze medie assolute di rango rispettivamente 5,19 e 6,36 posizioni con una forza della relazione direttamente proporzionale e prossima all'unità (0,98 e 0,96).

Differenze di rango a confronto tra i metodi di approccio utilizzati - Capoluoghi di provincia. Anno 2020

Misurazione	MZ-MR	MZ-MPIC+	MZ-MPIC-	MR-MPIC+	MR-MPIC-	MPIC+-MPIC-
Differenza media assoluta	11,60	14,35	10,44	5,19	6,36	11,29
Indice di coerenza ρ	0,89	0,83	0,91	0,98	0,96	0,89

CONCLUSIONI: Lo studio sugli aspetti multidimensionali dello stato ambientale delle nostre città attraverso il confronto di alcuni metodi di sintesi, hanno condotto ad un giudizio di convergenza dei risultati ottenuti. In altri termini, la geografia dello stato ambientale e della pressione antropica urbana evidenzia ancora una volta una configurazione alquanto sbilanciata a sfavore di gran parte delle città meridionali. All'altra estremità della distribuzione, si registrano maggiori performance ambientali soprattutto nelle piccole e medie aree urbane del Centro-Nord dove gli investimenti in progetti di sviluppo e la sensibilità su temi ambientali sono in continua crescita.

Per favorire il processo di comparazione per i dati rilevati in diverse unità di misura, si è proceduto alla normalizzazione degli indicatori elementari e, successivamente, alla standardizzazione. L'uso di scarti standardizzati nel calcolo dell'indice sintetico, permette di costruire una misura robusta e poco sensibile all'eliminazione di un singolo indicatore elementare (Mazziotta e Pareto 2013). Infine, si è proceduto all'aggregazione degli indicatori standardizzati tenendo conto della polarità o verso (positivo o negativo) della relazione tra l'indicatore e il fenomeno da misurare. Partendo da una matrice $X=(x_{ij})$ di n righe (unità statistiche) e m colonne (indicatori) i metodi di sintesi utilizzati sono i seguenti:

Metodo della media dei valori standardizzati (MZ)

$$Mz_i = \frac{\sum_{j=1}^m z_{ij}}{m} \quad Z=(z_j) \text{ matrice trasformata per l'unità } i \text{ e indicatore } j$$

con $z_{ij} = \pm \frac{(x_{ij}-M_{ij})}{S_{ij}}$ se l'indicatore j ha polarità positiva o negativa.

M_{ij} e S_{ij} sono rispettivamente la media aritmetica e lo scostamento quadratico medio dell'indicatore j . Il metodo consiste nella trasformazione in scarti standardizzati degli indicatori j e nella loro aggregazione con la media aritmetica.

Metodo della media degli indici relativi (MR)

$$Mr_i = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{m} \quad R=(r_j) \text{ matrice trasformata per l'unità } i \text{ e indicatore } j$$

con $r_{ij} = \begin{cases} \frac{(x_{ij}-Min_j)}{(Max_j-Min_j)} & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità positiva;} \\ \frac{(Max_j-x_{ij})}{(Max_j-Min_j)} & \text{se l'indicatore } j \text{ ha polarità negativa.} \end{cases}$

dove Min_j e Max_j minimo e massimo dell'indicatore j . Il metodo consiste nella standardizzazione con metodo min-max degli indicatori j e nella loro aggregazione con la media aritmetica.

Metodo MPI index corretto

$$MPI_{ci}^{\pm} = M_{ci} \pm S_{ci} CV_i$$
$$M_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{m} \quad S_{ci} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (r_{ij}-M_{ci})^2}{m}} \quad CV_i = \frac{S_{ci}}{M_{ci}}$$

con $r_{ij} = \begin{cases} \frac{(x_{ij}-Min_j)}{(Max_j-Min_j)} & 60 + 70 \text{ se l'indicatore } j \text{ ha polarità positiva;} \\ \frac{(Max_j-x_{ij})}{(Max_j-Min_j)} & 60 + 70 \text{ se l'indicatore } j \text{ ha polarità negativa.} \end{cases}$

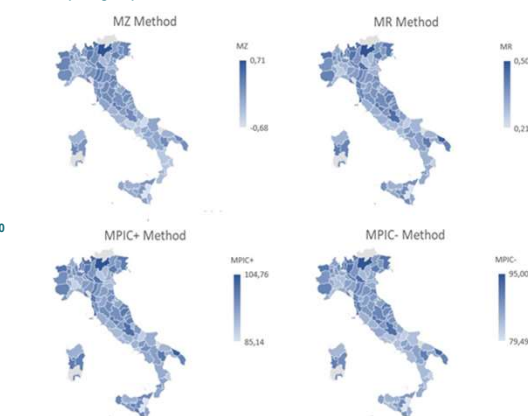
Il metodo è un indice composito non compensativo (o parzialmente compensativo) e consente la standardizzazione min-max degli indicatori j e l'aggregazione con la media aritmetica penalizzata dalla variabilità "orizzontale" degli indicatori medesimi. I valori normalizzati rientrano approssimativamente nell'intervallo (70; 130) e 100 rappresenta il valore di riferimento.

Esito analisi attraverso confronto cartografico dei quattro metodi di sintesi

L'esito dell'analisi mostra una sostanziale concordanza nei risultati, pressoché uniforme per tutti e quattro i metodi, restituendo la classica suddivisione del "trialismo" territoriale decrescente Nord, Centro e Sud Italia. Tuttavia, alcune eccezioni con buone prestazioni ambientali si presentano in alcune aree del Centro-Sud. Valori apprezzabili si registrano, infatti, in Sardegna (Nuoro e Oristano), Abruzzo (L'Aquila), Puglia (Brindisi e Lecce), Basilicata (Matera) e Sicilia (Messina).

Cartogramma degli indicatori di sintesi ottenuti dall'applicazione dei quattro metodi utilizzati.

Comuni capoluogo di provincia. Anno 2020. Le aree provinciali cromatiche si riferiscono ai capoluoghi di provincia



Differenze di rango tra i quattro indici sintetici a confronto

Anche dal confronto della relazione lineare tra i quattro indici sintetici l'esito conferma una forza maggiore con valori di r prossimi all'unità.

